

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SALAK  
(*Salacca zalacca*) SEBAGAI KOMPOSIT  
KARBON AKTIF TERAKTIVASI KOH-KITOSAN  
UNTUK ADSORPSI ION LOGAM  $\text{Fe}^{3+}$**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
dalam Ilmu Kimia**



**OLEH:**

**SULISTYANINGSIH**

**NIM: 1908036014**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UIN WALISONGO SEMARANG  
TAHUN 2023**

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SALAK  
(*Salacca zalacca*) SEBAGAI KOMPOSIT  
KARBON AKTIF TERAKTIVASI KOH-KITOSAN  
UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Fe<sup>3+</sup>**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
dalam Ilmu Kimia**

**OLEH:  
SULISTYANINGSIH  
NIM: 1908036014**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UIN WALISONGO SEMARANG  
TAHUN 2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sulistyaningsih

NIM : 1908036014

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SALAK (*Salacca zalacca*)  
SEBAGAI KOMPOSIT KARBON AKTIF TERAKTIVASI KOH-  
KITOSAN UNTUK ADSORPSI ION LOGAM  $Fe^{3+}$**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,  
kecuali bagian tertentu yang dirujuk dari sumbernya.



## PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Pemanfaatan Limbah Kulit Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Komposit Karbon Aktif Teraktivasi KOH-Kitosan untuk Adsorpsi Ion Logam Fe<sup>3+</sup>**

Penulis : Sulistyaningsih

NIM : 1908036014

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqasyah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu kimia.

## DEWAN PENGUJI

Ketua sidang

**Dyah Fitasari, M.Si**

**NIP. 198501022019032017**

Sekretaris sidang

**Kholidah, M.Si**

**NIP. 198508112019032008**

Pengujian I

**Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si**

**NIP. 197407162009122001**

Pengujian II

**Anissa Adiweni Putri, M.Sc**

**NIP. 198504052011012015**

Pembimbing I

**Dyah Fitasari, M.Si**

**NIP. 198501022019032017**

Pembimbing II

**Kustomo, M.Si**

**NIP. 198802262019031007**



## NOTA DINAS

Semarang, 20 Juni 2023

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains Teknologi

UIN Walisongo

Di Semarang

*Assalamualaikum wr.wb.*

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Pemanfaatan Limbah Kulit Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Komposit Karbon Aktif Teraktivasi KOH-Kitosan untuk Adsorpsi Ion Logam  $Fe^{3+}$**

Nama : Sulistyaningsih

NIM : 1908036014

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

*Wassalamualaikum wr.wb.*

Pembimbing I



**Dyah Fitasari, M.Si**

NIP. 198501022019032017

## NOTA DINAS

Semarang, 20 Juni 2023

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains Teknologi

UIN Walisongo

Di Semarang

*Assalamualaikum wr.wb.*

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Pemanfaatan Limbah Kulit Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Komposit Karbon Aktif Teraktivasi KOH-Kitosan untuk Adsorpsi Ion Logam  $Fe^{3+}$**

Nama : Sulistyaningsih

NIM : 1908036014

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

*Wassalamualaikum wr.wb.*

Pembimbing II



**Kustomo, S.Pd, M.Sc**

NIP. 198802262019031007

## ABSTRAK

**Judul : Pemanfaatan Limbah Kulit Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Komposit Karbon Aktif Teraktivasi KOH-Kitosan untuk Adsorpsi Ion Logam  $Fe^{3+}$**

**Nama : Sulistyaningsih**

**NIM : 1908036014**

Ion logam  $Fe^{3+}$  di dalam air bersifat berbahaya apabila konsentrasinya melebihi batas yang ditentukan oleh *WHO* (*World Health Organization*) yaitu tidak lebih dari 0,3 mg/L. Pengolahan limbah  $Fe^{3+}$  di dalam air dapat ditangani dengan metode adsorpsi, salah satunya menggunakan komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi ion logam  $Fe^{3+}$  menggunakan komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan (KTK). Hasil karakterisasi KTK menggunakan FT-IR mengindikasikan adanya gugus yang berperan penting dalam adsorpsi yaitu gugus O-H dan NH. Karakterisasi menggunakan SAA BET memperlihatkan luas permukaan yang dimiliki KTK sebesar 0,925 m<sup>2</sup>/g. Isoterm adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> KTK mengikuti grafik isoterm adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> tipe IV dalam bentuk tipe H4. KTK secara optimum mengadsorpsi ion logam  $Fe^{3+}$  konsentrasi 20 ppm terjadi pada pH 3 dan dalam waktu 15 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,392 mg/g yang mengikuti model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua.

**Kata Kunci:** *Adsorpsi, Kulit salak teraktivasi KOH-Kitosan, Komposit, Ion Logam  $Fe^{3+}$*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun serta menyelesaikan skripsi ini tanpa ada halangan suatu apapun. Shalawat serta salam tetap tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat, serta para pengikutnya.

Rasa syukur penulis ucapkan sekali lagi kepada Allah SWT yang selalu memberikan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “Pemanfaatan Limbah Kulit Salak (*Salacca zalacca*) sebagai komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan untuk Adsorpsi Ion Logam  $Fe^{3+}$ ”. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains ilmu kimia di UIN Walisongo Semarang, Fakultas Sains dan Teknologi. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dukungan, serta doa. oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Imam Taufik, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Dr. H. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.

3. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T, M.Pd selaku Ketua Jurusan Kimia
4. Dyah Fitasari, M.Si selaku dosen pembimbing I yang sudah membimbing penulis dengan sangat baik dan sabar, memberikan kritik, saran, serta masukan selama menyusun hingga menyelesaikan skripsi.
5. Kustomo S.Pd., M.Sc selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing, memberikan masukan, dan motivasi, serta memberikan arahan dengan sangat baik kepada penulis sehingga penulis sangat terbantu dalam penyusunan skripsi.
6. Segenap Dosen, Pegawai, dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
7. Kedua orang tua tersayang dan tercinta, Bapak Eko Saparto dan Ibu Rasmiah yang setiap hari mendoakan penulis, memberikan nasihat, semangat, motivasi, dan memberikan segalanya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
8. Kakak tersayang dan terbaik bagi penulis, Sri Sulistiyo Handayani yang tiada henti memberikan semangat, dukungan, motivasi, memberikan contoh dan pengalaman terbaiknya untuk penulis.

9. Adik tercinta penulis, Siti Aisah yang selalu memberikan semangat dan menjadi adik terbaik bagi penulis.
10. Sahabat terbaik penulis dari awal kuliah dan insyaallah sampai selamanya (Nisfakh Tri Oktafiani, Tara Bintang Aghnia, Fatiyya Azzamuna) yang telah memberikan semangat, dukungan, dan telah menghibur penulis untuk menyelesaikan skripsi.
11. Teman-teman kelas Kimia A dan teman-teman seperjuangan Kimia 2019 yang senantiasa memberikan semangat satu sama lain.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan susunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan Mahasiswa Program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang khususnya dan bagi rekan-rekan pembaca umumnya serta bermanfaat untuk kepentingan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Semarang, 20 Juni 2023

Penulis



Sulistyarningsih

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>NOTA DINAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>NOTA DINAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	8
C. Tujuan Penelitian.....	8
D. Manfaat Penelitian .....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>10</b>
A. Salak ( <i>Salacca zalacca</i> ).....	10
B. Karbon aktif .....	12
C. Kitosan .....	16
D. Komposit .....	18
E. Adsorpsi.....	19
F. Kinetika Adsorpsi .....	23
G. Ion Logam Fe <sup>3+</sup> .....	24
H. Karakterisasi.....	26

1. FT-IR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> ) .....	26
2. SAA ( <i>Surface Area Analyzer</i> ) .....	28
3. AAS ( <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> ) .....	34
I. Kajian Pustaka.....	36
J. Hipotesis.....	39
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>41</b>
A. Alat dan Bahan.....	41
1. Alat.....	41
2. Bahan.....	41
B. Cara Kerja.....	41
1. Preparasi Karbon Kulit Salak.....	41
2. Uji Kualitas Karbon Kulit Salak dan Karbon Aktif Kulit Salak Teraktivasi.....	42
3. Aktivasi Karbon Kulit Salak.....	44
4. Komposit Karbon Aktif Kulit Salak Teraktivasi KOH-Kitosan .....	45
5. Pembuatan Limbah Artifisial Fe <sup>3+</sup> .....	46
6. Penentuan pH Optimum Adsorben Komposit Karbon Aktif Teraktivai KOH -Kitosan.....	47
7. Penentuan Waktu Optimum Adsorben Komposit Karbon Aktif Teraktivai KOH -Kitosan .....	48
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
A. Preparasi Karbon dari Kulit Salak .....	49
B. Sintesis Karbon dari Kulit Salak .....	49
C. Sintesis Komposit Karbon Aktif Kulit Salak Teraktivasi KOH-Kitosan .....	53
D. Uji Kualitas Karbon Aktif.....	56

1. Uji kadar air .....	56
2. Uji kadar abu .....	58
E. Karakterisasi.....	60
1. FT-IR ( <i>Fourier Transform Infra Red</i> ) .....	61
2. SAA ( <i>Surface Area Analyzer</i> ) .....	64
F. Uji Adsorpsi.....	72
1. Penentuan pH Optimum .....	73
2. Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	76
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>83</b>
A. Kesimpulan.....	83
B. Saran .....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>85</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>105</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>144</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Kandungan kulit salak.....	11
<b>Tabel 2. 2</b> Syarat mutu karbon aktif SNI 06.3730:1995.....	13
<b>Tabel 2. 3</b> Klasifikasi pori pada karbon aktif.....	14
<b>Tabel 4. 1</b> Uji kadar air.....	57
<b>Tabel 4. 2</b> Uji kadar abu.....	58
<b>Tabel 4. 3</b> Uji kadar zat mudah menguap.....	59
<b>Tabel 4. 4</b> Uji kadar karbon tetap.....	60
<b>Tabel 4. 5</b> Interpretasi data hasil FT-IR.....	62
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil analisis menggunakan SAA BET.....	65
<b>Tabel 4. 7</b> Uji adsorpsi awal sampel KTA, KTAK, KTK.....	73
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil data optimasi pH .....	74
<b>Tabel 4. 9</b> Pengaruh waktu kontak terhadap persen adsorpsi.....	77
<b>Tabel 4. 10</b> Parameter kinetika adsorpsi pseudo orde dua .....	81

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Buah salak .....	11
<b>Gambar 2. 2</b>	Struktur karbon aktif.....	13
<b>Gambar 2. 3</b>	Karbon aktif bentuk serbuk.....	15
<b>Gambar 2. 4</b>	Karbon aktif bentuk granular.....	15
<b>Gambar 2. 5</b>	Karbon aktif bentuk pellet.....	16
<b>Gambar 2. 6</b>	Struktur dari: a) Kitin. b) Kitosan).....	17
<b>Gambar 2. 7</b>	Proses adsorpsi pada karbon aktif: perpindahan molekul dari adsorbat ke adsorben.....	20
<b>Gambar 2. 8</b>	Grafik total konsentrasi spesies $Fe^{3+}$ terhadap pH .....	25
<b>Gambar 2. 9</b>	Isoterm adsorpsi-desorpsi $N_2$ .....	30
<b>Gambar 2. 10</b>	Hysteresis <i>loop</i> .....	33
<b>Gambar 2. 11</b>	Cara Kerja Instrumentasi AAS.....	35
<b>Gambar 4. 1</b>	Kulit salak sebelum dikarbonisasi.....	50
<b>Gambar 4. 2</b>	Kulit salak sesudah dikarbonisasi.....	50
<b>Gambar 4. 3</b>	Mekanisme pembentukan ikatan hidrogen dengan gugus amino.....	55
<b>Gambar 4. 4</b>	Spektrum FT-IR kitosan, KTA, KATK, KTK.....	61
<b>Gambar 4. 5</b>	Isoterm adsorpsi-desorpsi $N_2$ KTK, KATK, dan KTA.....	65
<b>Gambar 4. 6</b>	Pengaruh variasi pH terhadap % $Fe^{3+}$ teradsorpsi.....	71
<b>Gambar 4. 7</b>	Grafik pengaruh waktu kontak terhadap % $Fe^{3+}$ yang teradsorpsi.....	75
<b>Gambar 4. 8</b>	Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi.....	79
<b>Gambar 4. 9</b>	Kinetika adsorpsi pseudo orde satu .....	80
<b>Gambar 4. 10</b>	Kinetika adsorpsi pseudo orde dua .....	81

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Skema Penelitian Komposit Karbon Aktif Teraktivasi KOH-Kitosan.....	105
<b>Lampiran 2</b> Diagram Alir Penelitian .....	106
<b>Lampiran 3</b> Data Hasil Percobaan.....	110
<b>Lampiran 4</b> Perhitungan Analisis Data .....	111
<b>Lampiran 5</b> Dokumentasi Penelitian.....	128
<b>Lampiran 6</b> Hasil Karakterisasi Penelitian .....	131

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Air merupakan salah satu komponen lingkungan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Manusia memiliki ketergantungan terhadap air, karena air sudah menjadi kebutuhan utama seperti kebutuhan untuk mandi, mencuci, memasak dan minum (Warlina, 2004). Kebutuhan air diharapkan berbanding lurus dengan kualitas air yang ada di permukaan. Mengingat perkembangan industri terutama pada sektor penambangan logam dan peleburan logam yang terus bergerak semakin pesat dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kualitas air. Menurunnya kualitas air disebabkan karena adanya kandungan bahan beracun dan berbahaya yang dihasilkan berupa sisa bahan dari kegiatan perindustrian yang disebut dengan limbah (Astari and Utami, 2018). Limbah menjadi sumber pencemar air karena limbah tidak diolah terlebih dahulu sebelum tahap pembuangan. Kualitas air menjadi menurun dan mengalami perubahan fisik seperti warna, bau, dan rasa air yang dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup (Handayani, 2010). Limbah memiliki kandungan berbahaya dan beracun yang dapat merusak

fungsi organ tubuh apabila sampai masuk ke dalam tubuh dengan kadar berlebih (Zulyani, 2022). Peringatan mengenai dampak dari pencemaran air yang merusak lingkungan telah dijelaskan dalam firman Allah tertuang Qs. Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “telah tampak kerusakan di darat dan di laut yang disebabkan oleh perbuatan tangan manusia: Allah SWT menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Al-Quran dan terjemahnya, 2019).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa tindakan manusia juga berkontribusi terhadap kerusakan di alam, meskipun bencana yang terjadi merupakan kehendak dari Allah SWT, manusia juga memiliki tanggung jawab untuk menjaga lingkungan dan tidak merusak bumi. Salah satu kerusakan bumi yaitu terjadinya pencemaran air yang disebabkan oleh limbah (Merliyana, 2017). Contoh limbah berupa logam berat yang ada di Semarang yaitu ion logam Zn, Fe, dan Mn karena adanya pabrik pengelolaan baja dan banyak terdapat limbah besi tua. Limbah yang mengandung ion logam  $Fe^{3+}$  merupakan limbah ion logam tertinggi di antara ion logam Zn dan Mn yang menyebabkan pencemaran air (Syarifuddin, 2022).

Ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  merupakan bentuk konversi dari ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang secara alami teroksidasi oleh oksigen molekuler ( $\text{O}_2$ ) yang terlarut dalam air, sehingga ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  sering ditemukan di dalam air dibandingkan dengan ion logam  $\text{Fe}^{2+}$ . Kandungan Ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  bisa saja berasal dari buangan industri yang melalui korosi pipa-pipa air mineral yang telah mengalami perubahan karena air tersebut mengandung padatan larut yang bersifat menghantarkan listrik (Kurniawan, Kasmiyatun and Soebiyono, 2020). Pencemaran air di Semarang didominasi oleh kadar ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  yang telah melebihi ambang batas. Kadar ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  yang melampaui ambang batas ditentukan berdasarkan *WHO (World Health Organization)*. Batas yang ditetapkan untuk ion logam berat  $\text{Fe}^{3+}$  yaitu tidak lebih dari 0,3 mg/L (*World Health Organization, 2003*). Ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  bersifat toksik, apabila ion logam ini masuk ke dalam tubuh dengan dosis berlebih, maka akan menyebabkan beberapa gangguan seperti keracunan (muntah), diare, diabetes, hepatitis, kerusakan hati, sirosis ginjal, sakit liver, kerusakan usus, kanker, gangguan penyerapan vitamin dan mineral (Herliyanto, Budianta and Hermansyah, 2014).

Metode yang digunakan untuk menangani permasalahan pencemaran air yang disebabkan oleh ion logam berat bisa dilakukan dengan cara pengendapan, osmosis balik, ultrafiltrasi dan masih banyak lagi. Metode tersebut terdapat kekurangan yaitu dari segi biaya yang mahal dan waktu yang relatif lama menjadi faktor yang dipertimbangkan dalam mengurangi permasalahan pencemaran air (Yahaya and Don, 2014). Oleh karena itu, perlu adanya suatu metode yang lebih efektif dan ekonomis sehingga pencemaran lingkungan dapat teratasi dengan baik, salah satunya adalah adsorpsi yang memanfaatkan karbon aktif sebagai adsorbennya (Safitri, 2020).

Karbon aktif adalah material padatan berpori dengan kandungan karbon sebesar 85 – 95% (Prayogatama and Kurniawan, 2022). Karbon yang memiliki struktur amorf ini terdiri dari atom-atom C yang terikat secara kovalen membentuk kisi heksagonal datar, setiap sudut kisi terdapat satu atom C dan memiliki luas permukaan antara 300 – 3500 m<sup>2</sup>/g, oleh karena itu karbon aktif memiliki kemampuan untuk bertindak sebagai adsorben (Hartanto and Ratnawati, 2010). Karbon aktif dapat dibuat menggunakan bahan-bahan limbah organik yang

mengandung karbon seperti kayu, tulang binatang, biji, dan kulit buah (Zamzanie, 2020).

Kulit buah salak (*Salacca zalacca*) merupakan limbah organik padat yang masih belum dimanfaatkan dengan baik oleh masyarakat. Kandungan selulosa sebesar 18,0 mg/g yang dimiliki kulit salak berpotensi sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Karbon aktif dari kulit salak diperoleh melalui proses karbonisasi dan aktivasi sehingga memiliki kemampuan sebagai adsorben untuk mengikat adsorbat karena terdapat gugus OH pada struktur kimia selulosa (Shinta and Indah, 2012).

Karbon aktif kulit salak dalam penelitian ini dimanfaatkan sebagai komposit karbon aktif yang telah diaktivasi menggunakan KOH. Aktivator KOH dipilih karena kelebihanya dalam memperluas permukaan dengan pori-pori yang cenderung berukuran mikropor. Selain itu, kelebihan dari penggunaan senyawa ini adalah produk samping yang dihasilkan berupa tar lebih sedikit dibandingkan dengan aktivator lain seperti  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ , dan  $K_2CO_3$  (Utama, Kristianto and Andreas, 2016). Karbon aktif teraktivasi KOH dimanfaatkan sebagai komposit karbon aktif dengan penambahan kitosan. Karbon aktif berperan sebagai *filler* dan kitosan sebagai *matriks*-nya. Kitosan mengandung gugus amina pada cincinnya yang

berfungsi sebagai sisi kelat untuk menjerap ion logam berat yang terdapat dalam limbah cair (Schmuhl, Krieg and Keizer, 2001). Modifikasi karbon aktif dengan kitosan memudahkan transfer massa dan membuka sisi aktif ikatan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi ion logam dalam limbah cair. Karbon aktif berperan sebagai pendukung fisik yang dapat meningkatkan keadaan dapat masuk dari sisi ikatan ion logam, sehingga adsorben yang dibuat dalam penelitian ini dapat digunakan untuk menurunkan kadar ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  dalam limbah cair. Penambahan kitosan diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi kimia pada karbon kulit salak yang telah diaktivasi dengan KOH untuk adsorpsi ion logam  $\text{Fe}^{3+}$ .

Fadilah *et al* (2017) telah melakukan penelitian yang menunjukkan bahwa sintesis komposit *beads* dari arang aktif tempurung kelapa teraktivasi  $\text{ZnCl}_2$  dan kitosan menghasilkan luas permukaan dari arang aktif sebesar  $19,595 \text{ m}^2/\text{g}$ , kitosan *beads*  $3,826 \text{ m}^2/\text{g}$ , dan komposit *beads*  $1,041 \text{ m}^2/\text{g}$ . Hasil uji adsorpsi kitosan *beads* dan komposit *beads* untuk menurunkan ion  $\text{Cu(II)}$  menunjukkan optimasi terjadi pada pH 5 dengan waktu kontak optimum selama 120 menit. Kapasitas adsorpsi ion  $\text{Cu(II)}$  arang aktif  $1,064 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ , kitosan *beads*

$5,663 \times 10^{-4}$  mol/g dan komposit *beads*  $5,960 \times 10^{-4}$  mol/g. Penambahan karbon aktif pada kitosan juga diberikan pada karbon aktif dari bahan baku kulit durian yang menghasilkan rata-rata diameter pori  $5,21 \mu\text{m}$  untuk menyerap Fe(II) dengan kapasitas adsorpsi sebesar 16,60 mg/g (Anggraini, 2015). Penelitian juga telah dilakukan dengan membuat komposit karbon aktif dari cangkang buah karet dan kitosan untuk menyerap ion logam Fe(II) dengan waktu optimum adsorpsi 25 menit dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,1236 mg/g (Arifin *et al.*, 2018). Efektivitas kombinasi kitosan dan ampas kopi yang digunakan untuk menurunkan konsentrasi arsen pada limbah cair (Nurhidayanti, Ilyas and Suwazan, 2021).

Uraian yang telah dikemukakan menjadi latar belakang penelitian yang akan dilakukan dalam memanfaatkan karbon aktif kulit salak sebagai komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan, untuk mengurangi kadar ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  dengan mempelajari pengaruh pH dan waktu kontak optimum antara komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan dengan adsorbat.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, maka masalah dalam penelitian ini dapat di rumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dari komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan?
2. Bagaimana pengaruh pH dan waktu kontak optimum terhadap kemampuan komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan dalam mengadsorpsi ion logam  $Fe^{3+}$ ?
3. Bagaimana kinetika adsorpsi pada penyerapan ion logam  $Fe^{3+}$  menggunakan komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik karbon aktif kulit salak menjadi komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan
2. Untuk mengetahui pengaruh pH dan waktu kontak optimum terhadap kemampuan komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan dalam mengadsorpsi ion logam  $Fe^{3+}$

3. Untuk menentukan kinetika adsorpsi pada penyerapan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  menggunakan karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai pembuatan komposit karbon aktif teraktivasi KOH untuk menurunkan kadar ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  dengan mempelajari pH dan waktu kontak yang optimum antara komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan dengan adsorbat.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Salak (*Salacca zalacca*)

Salak merupakan salah satu buah asli Indonesia dengan tampilan luarnya yang unik karena kulitnya yang mirip seperti sisik *reptile* dengan susunan yang teratur dan bentuk buahnya yang menyerupai telur (Girsang *et al.*, 2015). Menurut Anugrahwati *et al* (2021), tanaman salak termasuk perdu dengan ciri-ciri batangnya yang menjulang ke atas, bercabang dengan dipenuhi duri, daun menyirip yang memiliki tekstur kasar serta buahnya yang beragam mulai dari warna hitam hingga coklat kekuningan. Tanaman salak dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Suskendriyati *et al.*, 2000) :

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Sub divisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Pricipes</i>
Familia	: <i>Palmae</i>
Genus	: <i>Salacca</i>
Sinonim	: <i>Salacca zalacca</i>



**Gambar 2. 1** Buah salak (Ikmalia, 2020)

Gambar 2.1 merupakan gambar buah salak. Buah salak yang umumnya dikonsumsi oleh masyarakat memiliki persentase sekitar 56-65% dari keseluruhan bobot buah. Kulit salak memiliki persentase sekitar 10-14% dari total bobot buah salak (Divinus, 2016), limbah kulit salak juga memiliki manfaat yang besar yaitu sebagai adsorben untuk mengurangi kadar ion logam berat karena adanya selulosa di dalam kulit salak. Tabel 2.1 merupakan tabel pemaparan data kandungan kulit salak.

**Tabel 2.1** Kandungan Kulit Salak

Komponen	Kandungan
Protein	0,565%
Lemak	0,0 g
Air	74,67 %
Karbohidrat	3,8 g
Selulosa	18,0 mg/g

(Rahmadini, 2016)

## B. Karbon aktif

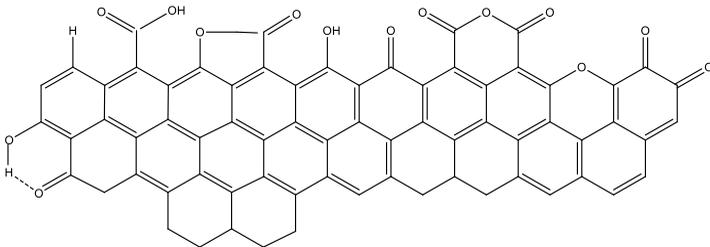
Karbon aktif adalah suatu padatan berpori yang memiliki kandungan karbon sekitar 85 – 95% (Wagner and Jula, 2018). Struktur karbon aktif bersifat *amorf* dan dapat diproduksi melalui perlakuan khusus terhadap bahan-bahan yang mengandung karbon, dengan tujuan untuk mencapai kemampuan adsorpsi yang tinggi. Proses pembuatan karbon aktif melibatkan pemanasan bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi (Khofiyanda *et al.*, 2009). Limbah organik seperti kulit kacang, padi, kayu, jerami, dan serabut kelapa merupakan salah satu hasil pertanian yang dapat diolah menjadi karbon aktif dan telah menjadi subjek penelitian yang telah diteliti secara menyeluruh menggunakan berbagai metode penelitian (Lartey, Acquah and Nketia, 1999). Daya serap karbon aktif dari limbah organik sangat tinggi yaitu mencapai 25 – 1000% dari berat karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang bervariasi, berkisar antara 300 – 2000 m<sup>2</sup>/g dan rata-rata diameter pori 10 – 1000 Å (Masriatini and Fatimura, 2018). Syarat mutu karbon aktif berdasarkan SNI 06.3730:1995 ditampilkan pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.2.** Syarat Mutu Karbon Aktif SNI 06.3730:1995

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Kadar air	%	Max. 4,5	Max. 15
2	Kadar abu	%	Max. 2,5	Max. 10
3	Kadar zat mudah menguap	%	Max. 15	Max. 25
4	Kadar karbon tetap	%	Min.80	Min. 65
5	Daya serap terhadap larutan I <sub>2</sub>	mg/g	Min. 750	Min. 750

Sumber: (Mangkurat, Nurdiana and Budiando, 2019)

Karbon aktif mengandung sebagian kecil oksigen dan hidrogen yang terikat dengan berbagai gugus kimiawi seperti gugus eter, kuinon, fenol, karboksil, dan lakton. Terbentuknya molekul senyawa tersebut disebabkan oleh interaksi kimia antara radikal bebas dengan permukaan karbon aktif (Ikmalia, 2020). Struktur karbon aktif disajikan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2. 2** Struktur karbon aktif (Shafeeyan *et al.*, 2010)

Proses karbonisasi dan aktivasi memiliki pengaruh terhadap luas permukaan, dimensi, dan distribusi pori

pada karbon. *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)* telah mengklasifikasikan ukuran pori menjadi 3 kategori, disajikan dalam **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.3** Klasifikasi Pori pada Karbon Aktif

Jenis pori	Ukuran pori
Mikropori	< 2 nm
Mesopori	2 – 50 nm
Makropori	> 50 nm

(Putranto, Asikin and Kusumaningrum, 2015)

Proses dalam menghasilkan karbon aktif membutuhkan dua tahapan yang umum dilakukan, yaitu tahap karbonisasi dan tahap aktivasi. Tahapan karbonisasi berkaitan dengan penguapan yang terjadi saat komponen terlepas dari karbon sehingga struktur pori-pori mulai terbentuk dan akan meningkat dengan adanya aktivasi. Tahapan aktivasi menyebabkan terbukanya struktur pori-pori kecil yang telah terbentuk (Pujiyanto, 2010). Menurut Ibrahim (2014), Karbon aktif dibagi menjadi tiga jenis dilihat dari jenis bentuknya yaitu:

a) Bentuk serbuk

Karbon aktif berbentuk serbuk memiliki ukuran < 0,18 mm. Karbon aktif berbentuk serbuk umumnya diaplikasikan dalam fasa cair dan gas. Beberapa

contoh pengapikasiannya di industri seperti industri farmasi, pengolahan air minum, pemurnian glukosa dan lain-lain. Berikut merupakan gambar karbon aktif berbentuk serbuk yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3.**



**Gambar 2. 3** karbon aktif bentuk serbuk (Ibrahim, 2014)

b) Bentuk granular

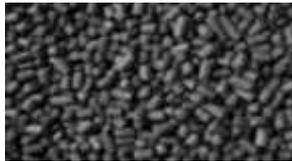
Karbon aktif bentuk granular dikenal sebagai karbon aktif dengan bentuk yang tidak seragam dan memiliki ukuran 0,2-5 mm. Jenis karbon aktif ini digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Contoh penggunaannya meliputi pemurnian emas, pengolahan air limbah dan air tanah, serta pemurnian pelarut. Karbon aktif bentuk granular disajikan pada **Gambar 2.4.**



**Gambar 2. 4** karbon aktif bentuk granular (Ibrahim, 2014)

c) Bentuk *pellet*

Karbon aktif berbentuk *pellet* memiliki ukuran diameter 0,8-5 mm. Aplikasi dari karbon aktif jenis granular umumnya digunakan dalam fasa gas karena memiliki tekanan yang rendah, kekuatan mekanik tinggi, dan kadar abu rendah. Karbon aktif bentuk *pellet* disajikan pada **Gambar 2.5**.

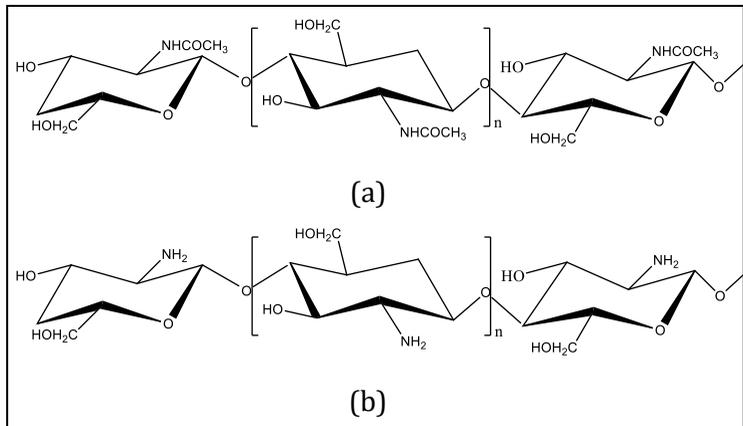


**Gambar 2. 5** karbon aktif bentuk *pellet* (Ibrahim, 2014)

**C. Kitosan**

Kitosan adalah polisakarida linier yang terdiri dari monomer glukosamin yang dihubungkan oleh (1-4) ikatan  $\beta$ -glikosidik. Kitosan diperoleh melalui proses deasetilasi kitin dan memiliki rumus molekul  $[C_6H_{11}NO_4]_n$  dengan bobot  $2,5 \times 10^{-5}$  Dalton (Wiyarsi and Priyambodo, 2012). Struktur kitin dan kitosan ditunjukkan pada **Gambar 2.6**. Struktur kimia kitosan sama dengan struktur kimia yang dimiliki oleh kitin, perbedaan kitin dengan kitosan terletak pada struktur kimianya. Kitin memiliki gugus asetil ( $-CH_2 - CO$ ) yang terletak pada atom karbon kedua di setiap cincin molekul kitin, sedangkan pada kitosan terdapat gugus amina

( $-\text{NH}_2$ ). Gugus amina pada kitosan relatif lebih banyak dibandingkan pada kitin, sehingga kitosan lebih bersifat basa dan lebih nukleofilik. Gugus amina dan hidroksil merupakan struktur dominan pada kitosan sangat efektif dalam mengikat ion-ion logam berat. Kemampuan kitosan untuk menyerap ion logam berat juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, kadar garam dan lain-lain (Rahayu *et al.*, 2020).



**Gambar 2. 6** Struktur dari: a) Kitin. b) Kitosan (Aziz, Muhammad, Bill Gufran, Pitoyo and Suhandi, 2017)

Kitosan bersifat kationik, non-toksik, dan *biodegradable*. Kitosan memiliki sifat tidak larut dalam air dan beberapa pelarut organik seperti dimetilsulfoksida (DMSO), dimetilformamida (DMF), pelarut alkohol organik, dan piridin. Kitosan dapat larut dalam asam organik/mineral encer melalui protonasi

gugus amino bebas ( $\text{NH}_2 \rightarrow \text{NH}_3^+$ ) pada pH di bawah 6,5. Kitosan mampu larut dengan baik dalam pelarut berupa asam format, asam asetat, dan asam glutamat. Parameter lain yang dapat mempengaruhi sifat kitosan yaitu berat molekul (BM) dan derajat deasetilasi. Kelarutan kitosan menurun dengan bertambahnya berat molekul, sedangkan aktivitas kitosan mengalami peningkatan dengan derajat deasetilasi yang juga meningkat karena semakin besar derajat deasetilasi (DD), maka semakin banyak gugus asetil yang diubah menjadi situs aktif  $\text{NH}_2$  dalam kitosan (Wiyarsi and Priyambodo, 2012).

#### **D. Komposit**

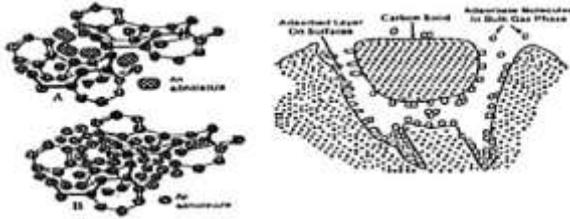
Komposit merupakan material baru yang terbentuk dari penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, tujuannya adalah untuk menciptakan material baru dengan sifat yang lebih baik dari material asli. Peningkatan sifat dari material baru dapat berupa sifat individu bahan seperti struktur, kekuatan, stabilitas sifat baik secara fisika maupun secara kimiawi yang memiliki kualitas lebih baik (Reknosari, Wirawan and Koesnarpadi, 2021).

Komposit terdiri dari dua fasa yaitu bahan penguat (*matriks*) dan bahan pengisi (*filler*). Bahan pengisi berfungsi sebagai penahan dan penentu karakteristik

yang bekerja pada komposit, sedangkan matriks merupakan bahan yang paling dominan berfungsi sebagai pelindung dan pengikat bahan pengisi. Komposit memiliki struktur yang kuat dan beratnya cukup ringan (Sri Utari and Fia Kartika, 2020). Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas ikatan antara *matriks* dan *filler* adalah ukuran partikel, bentuk partikel, rapat jenis yang digunakan, komposisi material, kecepatan waktu pencampuran, dan pemanasan (Mahnusah, 2015).

#### **E. Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan suatu proses pemisahan yang melibatkan suatu adsorbat (fluida) dengan adsorben (penjerap). Adsorbat akan berpindah ke permukaan adsorben yang merupakan zat padat berpori disebabkan karena adanya ketidakseimbangan gaya tarik atom pada permukaan padatan. Akibatnya, area padat pada molekul cairan menyebar di dekat permukaan (fase terjerap) (Siswarni, Ranita and Safitri, 2017). Gambaran mengenai proses adsorpsi pada adsorben karbon aktif tertera pada **Gambar 2.7**. Tahapan yang paling lambat dalam proses adsorpsi adalah difusi yaitu semua laju adsorpsi dikendalikan oleh laju difusi molekul-molekul solut dalam pori-pori kapiler dari partikel adsorben (Angelina, 2014).



**Gambar 2. 7** Proses adsorpsi pada karbon aktif: perpindahan molekul dari adsorbat ke adsorben (Manocha, 2015)

Berdasarkan kekuatan interaksinya, adsorpsi dibagi menjadi 2 tipe yaitu:

1. Fisisorpsi (adsorpsi fisik)

Interaksi antar molekul pada adsorpsi fisisorpsi relatif lemah karena tidak disertai perubahan kimia melainkan hanya perubahan fisik. Fisisorpsi tergantung dari sifat-sifat fisika yang dimiliki adsorbat. Jumlah zat yang terjerap dalam adsorpsi fisik akan relatif kecil seiring dengan kenaikan temperatur (Wijayanti, 2016).

2. Kemisorpsi (adsorpsi secara kimia)

Adsorpsi secara kimia dapat terjadi jika molekul zat adsorbat dengan molekul adsorben berinteraksi secara kimiawi dengan melibatkan pertukaran elektron antara keduanya. Laju adsorpsi dipengaruhi oleh energi aktivasi. Adsorpsi fisik dapat terjadi pada suhu rendah, sedangkan adsorpsi kimia lebih

mungkin terjadi pada suhu yang lebih tinggi (Shafirinia, Wardana and Oktiawan, 2016).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain (Widjajanti, Tutik and Utomo, 2011):

1. Luas permukaan

Ukuran partikel dapat mempengaruhi kecepatan adsorpsi, semakin kecil ukuran partikel maka kecepatan adsorpsi dapat meningkat. Oleh karena itu, karbon berbentuk serbuk akan memiliki luas permukaan yang lebih besar dan dapat meningkatkan kecepatan adsorpsi dibandingkan dengan karbon yang berbentuk granular.

2. Karakteristik adsorben

Karakteristik adsorben merupakan hal yang penting dalam adsorpsi karena dapat memberikan pengaruh terhadap kecepatan dan juga kapasitas adsorpsi baik secara fisik maupun kimia. Karakteristik yang dimaksud yaitu ukuran pori. Jika ukuran pori lebih besar dari ukuran adsorbat, maka jumlah adsorbat yang diserap akan lebih banyak. Karakteristik karbon aktif memiliki pengaruh pada bahan baku yang digunakan, sehingga pemilihan bahan baku dalam pembuatan adsorben perlu diperhatikan.

### 3. Karakteristik adsorbat

Karakteristik yang berpengaruh dalam proses adsorpsi yaitu kelarutan, ukuran molekul adsorbat, dan polaritas adsorbat. Faktor penentu dalam kesetimbangan adsorpsi biasanya terjadi pada zat terlarut, karena larutan mempunyai sifat hidrofilik (mudah larut dalam air) sehingga lebih mudah diadsorpsi daripada larutan yang bersifat hidrofobik (sukar larut dalam air).

### 4. pH

Kadar pH dalam larutan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap beberapa aspek penting dalam adsorpsi termasuk kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsional pada adsorben, serta kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi.

### 5. Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi adsorpsi. Peningkatan temperatur akan diikuti dengan peningkatan adsorpsi, dan sebaliknya apabila temperatur menurun, maka tingkat adsorpsi ikut menurun.

### 6. Ukuran molekul adsorbat

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh ukuran molekul yang terserap. Ukuran adsorben dan ukuran pori

mempengaruhi tingkat adsorpsi, karena semakin besar diameter pori dan semakin kecilnya diameter adsorbat, maka tingkat adsorpsinya semakin besar.

#### 7. Waktu kontak

Waktu kontak memungkinkan proses adsorpsi berlangsung lebih efektif, apabila waktu kontak yang diberikan semakin lama dalam proses adsorpsi.

### F. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi digunakan untuk menentukan konstanta dari adsorpsi (Maihendra, 2013) dan juga digunakan untuk mengetahui lamanya proses adsorpsi. Model kinetika adsorpsi yang sering digunakan yaitu persamaan *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua (Setiyani, 2020).

#### 1. *Pseudo* orde satu

Persamaan *pseudo* orde satu digunakan untuk mengadsorpsi zat terlarut dari larutan. Persamaan 2.1 merupakan persamaan *pseudo* orde satu, dituliskan sebagai berikut (Maihendra, 2013):

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303}(t) \dots\dots (2.1)$$

Dengan  $q_e$  dan  $q_t$  adalah kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  dan pada waktu kesetimbangan,  $k_1$  adalah konstanta laju kesetimbangan pada orde satu (1/menit).

## 2. *Pseudo* orde dua

Model kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua digunakan pada sistem adsorpsi larutan pada permukaan adsorben padat. Persamaan *pseudo* orde dua dituliskan dalam Persamaan 2.2 (Riyanto, Raharjianti and Aminu, 2020).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \dots \dots \dots (2.2)$$

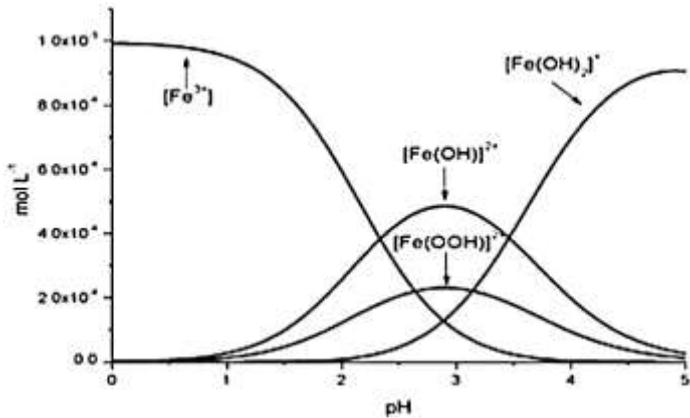
Dengan  $q_e$  dan  $q_t$  adalah kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  dan pada waktu kesetimbangan,  $k_2$  adalah konstanta laju kesetimbangan pada orde kedua (g/mg menit).

### G. Ion Logam $Fe^{3+}$

Besi (Fe) merupakan salah satu logam berat yang keberadaanya mudah ditemukan bahkan secara alamiah ada di lingkungan. Umumnya, Fe di dalam air berbentuk butir koloidal sebagai ion logam  $Fe^{2+}$  (ferro) dan ion logam  $Fe^{3+}$  (ferri) yang tersuspensi berukuran  $<1 \mu m$ . Ion logam  $Fe^{3+}$  dalam air menyebabkan warna kekuningan dan menimbulkan karat pada material yang mengandung logam (Ghosh, Solanki and Purkait, 2008).

Besi termasuk logam transisi dengan nomor atom 26, memiliki berat atom 55,845 g/mol, titik leleh  $1.538^\circ C$ , dan titik didih  $2.861^\circ C$ . Besi yang murni adalah logam berwarna putih perak, mengkilap, melebur pada suhu

1535°C. Kandungan rendah oksidasi besi seperti Fe(II) lebih umum ditemukan dalam air tanah daripada bentuk Fe(III) karena air tanah tidak terpapar oleh oksigen dari atmosfer. Konsentrasi total atau jumlah maksimal ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  dalam air dipengaruhi oleh kondisi pH (Erlina Fadri, 2018). **Gambar 2.8** menunjukkan grafik total konsentrasi spesies  $\text{Fe}^{3+}$  terhadap pH.  $\text{Fe}^{2+}$  ketika mengalami oksidasi oleh oksigen dari atmosfer akan mengalami perubahan menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  yang dapat menyebabkan air menjadi keruh.



**Gambar 2. 8** Grafik total konsentrasi spesies  $\text{Fe}^{3+}$  terhadap pH (Ponce, 2014)

Menurut A. Ibrahim (2016), konsentrasi  $\text{Fe}^{3+}$  yang tinggi dapat menimbulkan dampak sebagai berikut:

### 1. Gangguan Teknis

Sifat besi yang korosif terhadap pipa berupa endapan besi dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran pipa dan dapat menimbulkan noda pada kloset, wastafel, bak mandi, dan peralatan lainnya.

### 2. Gangguan Fisik

Besi yang terlarut dalam air menyebabkan perubahan warna, bau, dan rasa tidak enak pada air apabila konsentrasi besi yang terlarut  $>1,0$  mg/L.

### 3. Gangguan Kesehatan

Logam  $Fe^{3+}$  bersifat toksik, apabila logam ini masuk ke dalam tubuh dengan dosis berlebih, maka akan menyebabkan beberapa gangguan seperti keracunan (muntah), diare, diabetes, hepatitis, kerusakan hati, sirosis ginjal, sakit liver, kerusakan usus, kanker, gangguan penyerapan vitamin dan mineral (Herliyanto, Budianta and Hermansyah, 2014).

## H. Karakterisasi

### 1. FT-IR (*Fourier Transform Infrared*)

Spektrofometer inframerah (IR) adalah suatu alat yang berfungsi untuk menganalisa gugus fungsional yang terdapat pada sampel (Aliefuddin, 2019). Prinsip dasar spektroskopi FTIR adalah menyerap

cahaya dengan panjang gelombang tertentu untuk mengetahui ada tidaknya gugus fungsi pada senyawa (sampel) yang diuji (Rahmawati, 2021).

Sulistiyani & Huda (2017) menyatakan bahwa metode dalam menggunakan FT-IR cukup sederhana, karena preparasi sampel mudah dan dapat digunakan dalam berbagai fase (padat, cair, atau gas). Metode tersebut didasarkan pada perbedaan penyerapan radiasi infra merah oleh molekul-molekul dalam material, jika frekuensi radiasi sesuai dengan frekuensi getaran, momen dipol di rubah selama vibrasi dari molekul dan terjadi adsorpsi pada material. Instrumen FT-IR dapat digunakan untuk memprediksi struktur senyawa. Semua gugus fungsi dalam senyawa organik memiliki bilangan gelombang serapan spesifik di daerah tertentu, sehingga setiap senyawa memiliki panjang gelombang yang unik. Daerah ini disebut jenis gugus fungsi dalam senyawa. Analisis menggunakan instrumen ini menunjukkan kesamaan (kualitatif) dari produk hasil sintetik dengan senyawa induk (secara kualitatif).

## 2. SAA (*Surface Area Analyzer*)

SAA (*Surface Area Analyzer*) merupakan alat karakterisasi untuk menganalisis sifat-sifat material seperti luas permukaan, ukuran pori, distribusi pori dan isotherm adsorpsi gas pada material berpori. Prinsip kerja SAA melibatkan siklus adsorpsi dan desorpsi isothermal, sampel serbuk berinteraksi dengan gas N<sub>2</sub> pada suhu tertentu. Setiap siklus adsorpsi dan desorpsi menghasilkan perubahan data tekanan proses. Hubungan antara hukum gas ideal PV=NRT digunakan untuk menghitung volume gas ketika volume nitrogen telah diketahui. Sensor tekanan digunakan untuk memperoleh data tekanan proses berbeda (Rosyid *et al.*, 2012). Metode BET (Brunauer-Emmet-Teller) biasanya digunakan untuk menghitung luas permukaan spesifik dengan asumsi permukaan pori berbentuk silinder, kemudian dialiri molekul gas nitrogen secara merata hingga memenuhi bidang. Berikut persamaan perhitungan luas permukaan menggunakan metode BET dituliskan dalam Persamaan 2.5 (Zulichatun *et al.*, 2015):

$$\frac{1}{W\left(\frac{P_0}{P}-1\right)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \times \frac{P_0}{P} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan  $P$  adalah tekanan kesetimbangan adsorpsi,  $P_0$  adalah tekanan jenuh adsorpsi,  $W$  adalah berat gas yang diserap pada tekanan kesetimbangan  $P$ ,  $W_m$  adalah berat gas yang diserap sebagai lapisan tunggal,  $C$  adalah tetapan energi adsorpsi,  $\frac{P}{P_0}$  adalah tekanan relative adsorpsi.

Berat gas nitrogen yang membentuk lapisan tipis (monolayer) dapat diperoleh dari *slope* ( $s$ ) dan *intercept* ( $i$ ) pada grafik BET dari Persamaan 2.5 didapatkan Persamaan 2.6 dan Persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$\text{Slope } (s) = \frac{C-1}{W_m C} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Intercept } (i) = \frac{1}{W_m C} \dots\dots\dots(2.7)$$

Persamaan 2.6 dan 2.7 digabungkan untuk menghitung berat gas nitrogen yang dapat membentuk lapisan monolayer, sehingga diperoleh Persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$W_m = \frac{1}{s+i} \dots\dots\dots(2.8)$$

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2.8 digunakan untuk menghitung luas permukaan total dari cuplikan, sehingga diperoleh Persamaan 2.9 sebagai berikut:

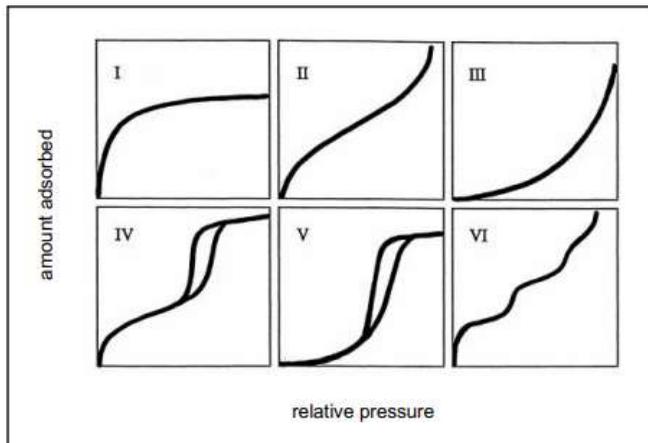
$$S_t = \frac{W_m \cdot N_a \cdot c_s}{M} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan  $N$  adalah bilangan Avogadro ( $6,203 \times 10^{23}$  molekul/mol),  $M$  adalah berat molekul gas nitrogen,  $W_m$  adalah berat gas nitrogen (g),  $A_{cs} =$  Cross sectional area for nitrogen ( $10,2 \text{ \AA}$ ).

Luas permukaan spesifik ditentukan dari luas muka total ( $S_t$ ) dibagi berat cuplikan, ( $b_c$ ) sehingga diperoleh Persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$S = \frac{S_t}{b_c} = \dots\dots\dots(2.10)$$

Data analisis setelah perhitungan luas permukaan dapat menentukan tipe grafik isotermal adsorpsi-desorpsi dalam fisisorpsi. Tipe-tipe isoterm adsorpsi-desorpsi yang sesuai *IUPAC* ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2. 9** Isoterm adsorpsi-desorpsi  $N_2$  (Astuti, 2018)

Menurut Thommes *et al* (2015), tipe-tipe isoterm adsorpsi-desorpsi terbagi menjadi 6 tipe yaitu:

a. Tipe I

Isoterm tipe I merupakan tipe isoterm adsorpsi-desorpsi untuk bahan mikropori dengan khas terdapat cekungan ke sumbu  $P/P_0$  dan jumlah yang diserap mendekati nilai batas. Penyerapan terbatas diatur oleh volume mikropori yang dapat diakses daripada luas permukaan internal. Pengisian  $P/P_0$  sangat rendah karena interaksi adsorben-adsorpsi yang ditingkatkan dalam mikropori sempit.

b. Tipe II

Tipe II diberikan oleh fisisorpsi sebagian besar gas pada adsorben nonpori atau makropori dengan bentuk adsorpsi monolayer-multilayer tak terbatas hingga  $P/P_0$  tinggi. Titik awal dari bagian tengah hampir linear biasanya untuk adsorpsi monolayer, sedangkan adsorpsi multilayer timbul ketika  $P/P_0=1$ .

c. Tipe III

Tipe III tidak memiliki titik awal sehingga tidak ada informasi mengenai lapisan monolayer. Interaksi antara adsorben dan adsorbat pada tipe

III cenderung lemah, dan molekul teradsorpsi pada posisi yang paling menguntungkan pada permukaan padatan non-pori atau makropori. Tekanan penyerapan ( $P/P_0=1$ ) terbatas pada tekanan saturasi.

d. Tipe IV

Tipe IV diberikan untuk adsorben yang memiliki mesopori dengan lebar lebih kecil dan mikropori yang dominan. Isoterm adsorpsi-desorpsi tipe IV juga diberikan untuk adsorben mesopori berbentuk kerucut dan silindris tertutup pada ujung runcing. Ciri khas isoterm adsorpsi-desorpsi tipe IV yaitu dataran saturasi akhir dengan panjang variabel yang direduksi dengan titik belok.

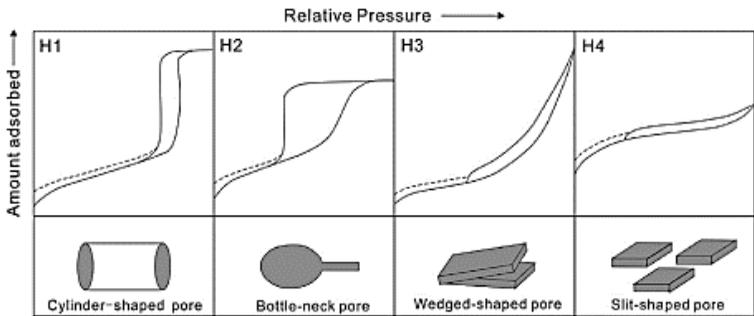
e. Tipe V

Tipe V memiliki rentang  $P/P_0$  rendah dengan interaksi adsorben-adsorbat relatif lemah. Tekanan  $P/P_0$  yang lebih tinggi diikuti dengan pengisian pori.

f. Tipe VI

Tipe VI mewakili adsorpsi lapis demi lapis pada permukaan tidak berpori yang sangat seragam.

Analisis menggunakan adsorpsi-desorpsi  $N_2$  pada material padatan terutama padatan mesopori, dapat memunculkan karakteristik yang khas. Karakteristik yang khas ditandai dengan terbentuknya *hysteresis loop* yang dapat mempresentasikan bentuk pori yang telah terbentuk (Sotomayor *et al.*, 2018). **Gambar 2.10** menunjukkan empat bentuk *hysteresis loop* yang sesuai dengan IUPAC.



**Gambar 2. 10** *Hysteresis loop* (Yang *et al.*, 2016)

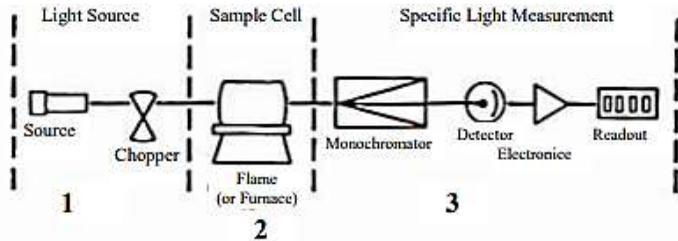
Menurut Astuti (2018), *hysteresis loop* dalam pola adsorpsi mengindikasikan terjadinya kapiler di dalam mesopori, tipe *hysteresis loop* berhubungan dengan karakteristik struktur porositas di dalam mesopori. Terdapat empat tipe klasifikasi *hysteresis loop* yaitu:

- a. Tipe H1, cabang *loop parallel* sehingga mendekati vertikal dengan distribusi pori ukuran pori yang sangat sempit.

- b. Tipe H2 biasanya terjadi pada adsorben yang memiliki pori dengan bentuk leher sempit namun memiliki ruang yang luas di dalamnya.
- c. Tipe H3, memperlihatkan adsorben dengan bentuk pori slit.
- d. Tipe H4, umumnya terjadi karena adanya mikropori yang dominan dan sering ditemukan pada adsorben mikro-mesopori.

### 3. AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*)

AAS merupakan instrumen untuk analisis kuantitatif unsur logam *trace* dan *ultra-trace*. Kisaran panjang gelombang AAS adalah 200-300 nm. Keuntungan metode AAS adalah lebih spesifik terhadap ion logam yang teradsorpsi dan tidak bergantung pada sumber emisi (Noriyanti, 2012). Hasil analisis instrumen ini mempresentasikan total keseluruhan kadar ion logam dalam suatu sampel dengan tidak bergantung pada bentuk molekul dari ion logam yang dianalisis (Manuhutu, 2009).



**Gambar 2. 11** Cara kerja instrumentasi AAS

(Djunaidi, 2018)

**Gambar 2.11** merupakan gambaran prinsip dasar dari AAS yang melibatkan interaksi antara sampel dan radiasi elektromagnetik, ketika energi diserap oleh atom yang mengalami transisi elektronik dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Proses yang terjadi ketika menganalisis dengan penyerapan menggunakan spektrofotometer atom berarti bahwa energi radiasi akan diserap oleh atom dalam keadaan dasar. Penyerapan radiasi oleh atom pada panjang gelombang tertentu bergantung pada sifat atom itu sendiri (Kartikasari, 2016).

AAS merupakan metode yang efektif untuk menganalisis unsur-unsur dalam sampel dengan konsentrasi rendah. AAS bekerja dengan menguapkan larutan sampel dan mengkonversi ion logam di dalamnya menjadi atom bebas, atau menyerap radiasi dari sumber cahaya. Sumber

cahaya ini berasal dari lampu katoda (*hollow cathode lamp*) yang mengandung unsur yang ingin dianalisis. Penyerapan radiasi diukur pada panjang gelombang tertentu yang spesifik untuk setiap jenis ion logamnya (Lajja, 2021).

## **I. Kajian Pustaka**

Anugrahwati *et al* (2021) telah melakukan penelitian yang bertujuan menjadikan kulit salak sebagai adsorben teraktivasi KOH untuk menyerap ion logam Pb(II). Hasil analisa yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa waktu yang paling optimum untuk melakukan proses adsorpsi ion logam Pb(II) adalah 15 menit, dengan kapasitas penyerapan 90%. Kinetika adsorpsi mengikuti *pseudo* orde dua, sedangkan isoterm adsorpsinya sesuai dengan persamaan Langmuir.

Purwiandono (2022) telah melakukan penelitian penelitian untuk mengetahui aktivitas adsorpsi dan isoterm adsorpsi biosorben kulit buah salak terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Cu(II). Aplikasi biosorben dilakukan pada variasi waktu 30, 60, 90 dan 120 menit. Hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa waktu adsorpsi optimal adalah waktu interaksi 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biosorben tanpa aktivasi terjadi melalui interaksi kemisorpsi (isoterm Langmuir),

sedangkan biosorben yang teraktivasi terjadi melalui interaksi fisisorpsi (isoterm Freundlich).

Suwazan & Nurhidayanti (2022) telah melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan efektivitas dari biosorben alami yang terbuat dari biosorben campuran antara kitosan dan karbon aktif dari ampas teh untuk menurunkan konsentrasi Pb. Hasil karakterisasi menggunakan FT-IR menunjukkan gugus -OH yang berperan dalam proses adsorpsi, sedangkan hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan peningkatan kualitas struktur pori dan unsur dari kitosan yang disintesis dengan ampas teh. Biosorben yang dibuat menghasilkan efektivitas tinggi untuk menghilangkan kadar Pb sebesar 90,6% dan konsentrasi ion logam Pb menurun hingga 0,1mg/L.

Kustomo *et al* (2022) telah melakukan penelitian dengan membuat arang aktif dari kulit matoa untuk menjerap Cd(II), kulit buah matoa diaktivasi oleh asam nitrat. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu kadar air arang aktif kulit matoa lebih rendah 3,92 % dari baku mutu SNI 06.3730:1995 dengan batas maksimalnya adalah 15%. Penyerapan yodium sebesar 507,64 mg/g dengan batas minimum 750 mg/g, dan kadar abu sebesar 1,17% dengan batas maksimum 10%. Pada Pada pH 9,

arang aktif mengadsorpsi ion logam Cd(II) secara efektif, dengan waktu kontak 40 menit dan konsentrasi 20 ppm. Arang aktif kulit buah matoa yang diaktivasi asam nitrat memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 59,75 mg/ g. Kinetika adsorpsi dengan aktivasi asam nitrat mengikuti model *pseudo* orde dua, dan mekanisme adsorpsinya mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir dengan  $K_L = -0,01108$ ,  $Q_{max} = -33,4448$ , dan  $R^2 = 0,9608$ .

de Freitas *et al* (2021) telah melakukan penelitian yang menunjukkan penggunaan bahan adsorben yang terbuat dari karbon aktif kayu pinus dan film komposit kitosan untuk menghilangkan polutan yaitu pewarna merah netral dari air limbah. Variasi waktu yang digunakan adalah 1 dan jam dengan suhu 600 dan 750°C. Hasil terbaik yang diperoleh yaitu pada suhu 750°C dengan waktu selama 2 jam memberikan peningkatan adsorpsi sekitar 87% dan efisiensi penghilangan pewarna merah netral sebesar 43%.

Putra *et al* (2022) telah melakukan penelitian dengan tujuan untuk sintesis silika dari abu sekam padi yang dimodifikasi dengan kitosan dan digunakan untuk mengurangi kadar ion besi dalam air permukaan. Hasil karakteristik menggunakan FT-IR pada penelitian ini yaitu terdapat gugus NH pada puncak

1559,61  $cm^{-1}$ . Konsentrasi adsorpsi ion logam Fe sebesar 0,742 ppm dengan %Fe yang teradsorpsi sebesar 64,838%.

Berdasarkan yang telah dikemukakan, adsorben dapat dibuat dari karbon aktif yang dari berbagai limbah organik seperti ampas teh, kulit matoa, kulit salak, dan daun bambu. Penambahan kitosan mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi kimia dalam mengurangi ion logam di dalam air. Beberapa peneliti menyatakan kemampuan komposit karbon aktif-kitosan dalam menyerap ion logam berat seperti Pb, Cu(II), Cd(II), Fe, bahkan zat pewarna dengan proses adsorpsi dan berbagai variasi yang dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit menggunakan kulit salak teraktivasi KOH yang ditambahkan dengan kitosan untuk mengadsorpsi ion logam  $Fe^{3+}$  dengan melakukan variasi pH dan waktu kontak untuk mengetahui kapasitas adsorpsinya kemudian ditentukan kinetika adsorpsinya.

## **J. Hipotesis**

Karbon aktif dari kulit salak dimungkinkan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik apabila diaktivasi dengan KOH dan dimodifikasi menjadi bentuk komposit dengan kitosan. Hal ini dikarenakan adanya perlakuan

aktivasi pada karbon aktif kulit salak menggunakan KOH dapat memperluas permukaan karbon aktif kulit salak dan penambahan kitosan pada karbon aktif kulit salak dapat menambah gugus fungsional seperti gugus amina dan gugus OH sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan dalam menyerap ion logam  $Fe^{3+}$ . Kondisi adsorpsi secara optimal diharapkan diperoleh dari parameter keadaan pH dan waktu kontak.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Alat dan Bahan**

##### **1. Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah pipet tetes, kaca arloji, cawan porselein, erlenmeyer, desikator, ayakan 100 *mesh*, kertas saring, pH meter, neraca analitik, blender, *magnetic stirrer*, *furnace*, oven, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) merk *Thermo Scientific*, SAA BET merk *Quantachrome TouchWin v1.22*, FTIR merk *Bruker Alpha 2*.

##### **2. Bahan**

Bahan yang digunakan meliputi: kulit salak yang diambil dari daerah kabupaten Banjarnegara, serbuk kitosan kualitas *grade A* (Pharmaceuthical), asam asetat 3%, KOH 20% (Merck), HCl 1 M (Merck), NaOH 1 M dengan *grade pro analyst* buatan Merck, HNO<sub>3</sub> 65% (Merck), serbuk FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (Merck), akuades.

#### **B. Cara Kerja**

##### **1. Preparasi Karbon Kulit Salak**

Pembuatan karbon kulit salak dilakukan dengan mencuci kulit salak terlebih dahulu kemudian dipotong kecil-kecil lalu dikeringkan selama 3 hari.

Kulit salak yang telah kering dikarbonisasi ke dalam *furnace* pada suhu 300°C selama 1 jam hingga menjadi serbuk karbon (Hartanto and Ratnawati, 2010), lalu serbuk karbon didinginkan dalam desikator selama  $\pm 30$  menit kemudian ditimbang dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh (Alfiaturrahma and Hendriyanto, 2018).

## 2. Uji Kualitas Karbon Kulit Salak dan Karbon Aktif Kulit Salak Teraktivasi

Uji kualitas karbon tanpa aktivasi dilakukan berdasarkan SNI 06.3730:1995 meliputi (Ariyani, Cahaya and Mujiyanti, 2018):

### a. Uji kadar air

Penentuan kadar air dilakukan dengan mengeringkan sampel karbon sebanyak 1,00 g pada suhu 105°C selama 3 jam, kemudian didinginkan dan ditimbang hingga beratnya konstan, kemudian kadar air di hitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$\text{Rumus kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\% \dots\dots(3.1)$$

Dengan  $W_1$  adalah cawan kosong (g),  $W_2$  adalah cawan + sampel sebelum dipanaskan (g),  $W_3$  adalah cawan + sampel sesudah dipanaskan (g).

b. Uji kadar abu

Penentuan kadar abu dilakukan dengan menempatkan sampel sebanyak 1,00 g ke dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 3 jam lalu didinginkan dan ditimbang hingga beratnya konstan, kemudian kadar abu di hitung menggunakan Persamaan 3.2.

$$\text{Rumus kadar abu} = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100\% \dots\dots(3.2)$$

Dengan  $W_1$  adalah cawan + sampel sebelum dikarbonisasi (g),  $W_2$  adalah cawan + sampel sesudah dikarbonisasi (g),  $W_3$  adalah berat sampel karbon aktif (g).

c. Uji kadar zat mudah menguap

Penentuan kadar zat mudah menguap dilakukan dengan memanaskan cawan berisi karbon kulit salak menggunakan *furnace* pada suhu 950°C selama 6 menit, setelah itu didinginkan dan ditimbang. Kadar zat mudah menguap dihitung menggunakan Persamaan 3.3.

$$\text{Kadar zat mudah menguap} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\% - \% \text{kadar air} \dots\dots (3.3)$$

Dengan  $W_1$  adalah cawan kosong (g),  $W_2$  adalah cawan + sampel sebelum dipanaskan (g),  $W_3$  adalah cawan + sampel sesudah dipanaskan (g).

d. Uji kadar karbon tetap

Penentuan kadar karbon tetap dilakukan dengan mengurangi nilai hasil pejumlahan kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap dari seratus persen. Perhitungan kadar karbon tetap menggunakan Persamaan 3.4.

Kadar karbon tetap =  $100\% - (\text{kadar air} + \text{kadar abu} + \text{kadar zat mudah menguap})$  (3.4)

Karbon kulit salak dan karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH yang telah di uji kualitasnya, kemudian dianalisis menggunakan FTIR dan SAA BET (de Freitas *et al.*, 2021)

### 3. Aktivasi Karbon Kulit Salak

Tahap aktivasi dilakukan dengan merendam karbon kulit salak dalam larutan KOH 20% dengan rasio antara karbon aktif dan aktivator sebesar 1:4 (b/v), waktu kontak selama 20 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, kemudian karbon yang telah teraktivasi masing-masing disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Karbon teraktivasi selanjutnya dikarbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu 300°C selama 1 jam, kemudian karbon teraktivasi dicuci dengan HCl dan akuades

hingga pH air netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C sampai beratnya konstan (Utama, Kristianto and Andreas, 2016; Safitri, 2020).

#### **4. Komposit Karbon Aktif Kulit Salak Teraktivasi KOH-Kitosan**

Komposit karbon aktif-kitosan dibuat dengan melarutkan 4 g kitosan ke dalam 100 mL asam asetat 3% (m/v) dengan pengadukan selama 7 jam, kemudian ditambahkan 4 g karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH ke dalam campuran dan diaduk selama 1 jam hingga homogen membentuk gel berwarna hitam. Gel yang terbentuk dituangkan ke dalam cawan petri berdiameter 10 cm dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sampai pelarut menguap dan terbentuk film (komposit). Komposit yang terbentuk direndam dengan larutan NaOH 1 M selama 24 jam lalu komposit dicuci menggunakan akuades hingga netral, kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam, setelah itu komposit yang telah kering digerus sehingga menjadi serbuk komposit karbon aktif-kitosan, kemudian dianalisis menggunakan FTIR dan SAA BET (de Freitas *et al.*, 2021).

## 5. Pembuatan Limbah Artifisial $Fe^{3+}$

Limbah artifisial  $Fe^{3+}$  merupakan limbah yang dibuat dengan cara melarutkan senyawa  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  ke dalam akuades. Konsentrasi limbah artifisial yang dibutuhkan pada penelitian ini sebesar 20 ppm (20 mg/L). Proses pembuatan limbah ion logam  $Fe^{3+}$  artifisial dilakukan dengan membuat larutan induk  $Fe^{3+}$  1000 ppm terlebih dahulu kemudian larutan induk diawetkan menggunakan  $HNO_3$ . Larutan induk  $Fe^{3+}$  digunakan untuk membuat larutan standar dengan pengenceran menjadi 20 ppm.

### a. Larutan Induk $Fe^{3+}$ 1000 ppm

Sejumlah 4,8253 g serbuk  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  ditimbang dan dilarutkan menggunakan akuades dalam gelas beaker, kemudian dipindahkan ke dalam labu takar 1000 mL, lalu diencerkan sampai tanda batas dan dihomogenkan (Rambe, 2018). Massa serbuk  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9.

$$\text{Massa} = \text{mol } Fe^{3+} \cdot Mr \text{ } FeCl_3 \cdot 6H_2O \dots\dots(3.9)$$

### b. Pembuatan larutan standar $Fe^{3+}$ 20 ppm

Sebanyak 20 mL larutan induk  $Fe^{3+}$  1000 ppm dimasukkan dalam labu takar 1000 mL, lalu

diencerkan dengan akuades sampai garis tanda dan dihomogenkan (Khaira, 2014).

## **6. Penentuan pH Optimum Adsorben Komposit**

### **Karbon Aktif Teraktivasi KOH -Kitosan**

Penentuan pH optimum adsorben komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan dilakukan dengan menggunakan larutan standar ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  20 ppm yang ditambahkan HCl 1 M atau NaOH 1 M sampai dengan pH yang diinginkan (1, 2, 3, 4, dan 5) (Safitri, 2020). Kemampuan adsorpsi komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan untuk menyerap ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  pada penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan 0,1 g komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan dengan 25 mL larutan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  20 mg/L di erlenmeyer dengan variasi pH 1, 2, 3, 4, dan 5. Campuran dalam erlemeyer diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit, kemudian disaring dan dianalisis menggunakan AAS (Setyawan, Wardani and Kusumastuti, 2018). Penentuan pH optimum juga dilakukan pada sampel karbon kulit salak sebelum diaktivasi dan sesudah diaktivasi untuk memastikan apakah ada peningkatan kemampuan adsorpsi kimia yang lebih baik untuk komposit karbon aktif

teraktivasi KOH-kitosan (setelah dimodifikasi dengan kitosan).

## **7. Penentuan Waktu Optimum Adsorben Komposit Karbon Aktif Teraktivai KOH -Kitosan**

Penentuan waktu optimum komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan dilakukan dengan menggunakan variasi waktu adsorpsi selama 5, 10, 15, 30, dan 60 menit menggunakan 25 mL larutan ion logam  $Fe^{3+}$  dengan pH optimum, kemudian ditambahkan 0,1 g komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan, diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya diukur absorbansinya menggunakan AAS. Penentuan waktu kontak optimum juga dilakukan pada sampel karbon kulit salak sebelum diaktivasi dan sesudah diaktivasi untuk memastikan apakah ada peningkatan kemampuan adsorpsi kimia yang lebih baik untuk komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan (setelah dimodifikasi dengan kitosan). Selanjutnya, kinetika adsorpsi dapat ditentukan dengan membuat kurva kinetika adsorpsi dari hasil variasi waktu yang telah ditentukan (Siswarni, Ranita and Safitri, 2017). Penentuan kinetika adsorpsi menggunakan Persamaan 2.1 dan 2.2.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Preparasi Karbon dari Kulit Salak

Pembuatan karbon dari kulit salak menggunakan bahan baku kulit salak yang berasal dari daerah Kabupaten Banjarnegara. Selulosa kulit salak akan dimanfaatkan sebagai adsorben dalam penelitian ini. Tahapan awal yaitu preparasi karbon dari kulit salak yang dilakukan dengan membersihkan kulit salak terlebih dahulu menggunakan air untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel.

Pengeringan kulit salak di bawah sinar matahari selama 3 hari akan menghilangkan kadar air yang terkandung pada kulit salak. Kulit salak yang sudah kering akan mengalami penyusutan dan penurunan berat dan volume. Berkurangnya kadar air yang terkandung dalam kulit salak akan mempengaruhi daya waktu penyimpanan kulit salak karena mencegah munculnya mikroorganisme yang merusak ketahanan kulit salak sehingga kulit salak awet disimpan dalam waktu yang lama (Riansyah, Supriadi and Nopianti, 2013).

#### B. Sintesis Karbon dari Kulit Salak

Kulit salak yang telah kering selanjutnya dikarbonisasi ke dalam *furnace* pada suhu 300°C selama

1 jam hingga menjadi serbuk karbon (Hartanto and Ratnawati, 2010). Gambar kulit salak sebelum dan sesudah karbonisasi ditunjukkan pada **Gambar 4.1.** dan **Gambar 4.2.**



**Gambar 4.1** Kulit salak sebelum dikarbonisasi

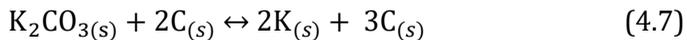
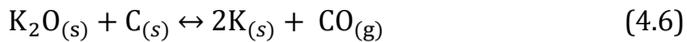
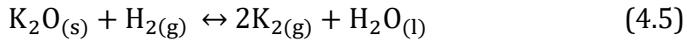
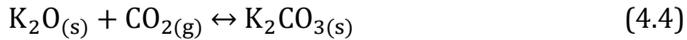
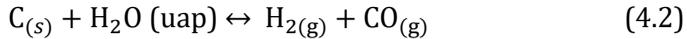


**Gambar 4.2** Kulit salak sesudah dikarbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan dengan tujuan untuk membuka pori-pori, menghilangkan sisa kadar air yang tidak terbuang saat pengeringan, menguapkan zat-zat *volatile*, serta menghilangkan zat-zat organik lainnya (Anugrahwati, Fajarwati and Awalini Safitri, 2021). Berat kulit salak yang digunakan dalam penelitian ini sebelum pada tahap karbonisasi adalah 156,04 g, sedangkan berat kulit salak setelah karbonisasi adalah 40,92 g, sehingga didapatkan persen rendemen karbon kulit salak

sebanyak 26,22%. Hasil karbonisasi berupa karbon diblender terlebih dahulu sebelum diayak untuk mempermudah proses pengayakan, selanjutnya karbon kulit salak diayak menggunakan ayakan 100 agar ukuran partikel karbon menjadi seragam, sehingga memudahkan homogenisasi dengan bahan lain.

Karbon hasil dari proses karbonisasi yang sudah diayak diberikan perlakuan aktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan KOH. Perbandingan masa karbon dan larutan KOH sebesar 1:4 yaitu massa karbon yang digunakan sebanyak 12,5 g dan larutan KOH 20% sebanyak 50 mL. Aktivasi dilakukan dengan waktu kontak selama 20 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* agar proses aktivasi dapat berjalan maksimal. Perendaman selama 20 jam dapat melarutkan tar dan mineral anorganik. Larutan KOH berfungsi sebagai agen aktivasi untuk mengoksidasi karbon sehingga terbentuk pori, akibatnya jumlah pori bertambah dan membentuk struktur baru (Manocha, 2015). Proses aktivasi juga dapat meningkatkan luas permukaan karbon kulit salak karena membesarnya pori sehingga kemampuan adsorpsi juga meningkat (Idrus, 2013). Reaksi yang terjadi selama proses aktivasi mengikuti reaksi berikut:



Persamaan reaksi 4.1 menyatakan bahwa uap yang dihasilkan menyebabkan penghapusan karbon aktif menjadi CO pada Persamaan 4.2 mengarah ke pembentukan pori-pori (Apriani *et al.*, 2013). Persamaan reaksi 4.4 menghasilkan produk karbon aktif dengan sedikit serbuk putih karena reaksi karbon dengan KOH menghasilkan  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Hasil reaksi KOH dengan karbon juga menghasilkan  $\text{H}_2\text{O}$  pada Persamaan reaksi 4.5 (Erlina, Umiatin and Budi, 2015). Karbon yang telah diaktivasi dengan KOH kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam untuk menguapkan sisa larutan KOH. Karbon teraktivasi selanjutnya dikarbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu  $300^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Karbonisasi ulang bertujuan untuk menguraikan gugus OH sehingga membentuk gugus baru yaitu rantai karbon (Saucier *et al.*, 2015). Selanjutnya dilakukan netralisasi menggunakan HCl 1 M dan akuades

hingga air pencucian mencapai pH 7. Netralisasi menggunakan HCl bertujuan untuk menghilangkan KOH yang masih tersisa dalam karbon kulit salak pada proses aktivasi. HCl akan mempercepat proses pencucian karena HCl merupakan asam kuat, ketika bertemu dengan basa kuat yaitu KOH maka terjadi reaksi netralisasi antara asam dan basa. Proses pencucian dengan HCl dilanjutkan menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa KOH di dalam karbon aktif. Karbon yang sudah dinetralkan kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Karbon aktif yang telah di oven disimpan ke dalam desikator agar tetap dalam kondisi kering.

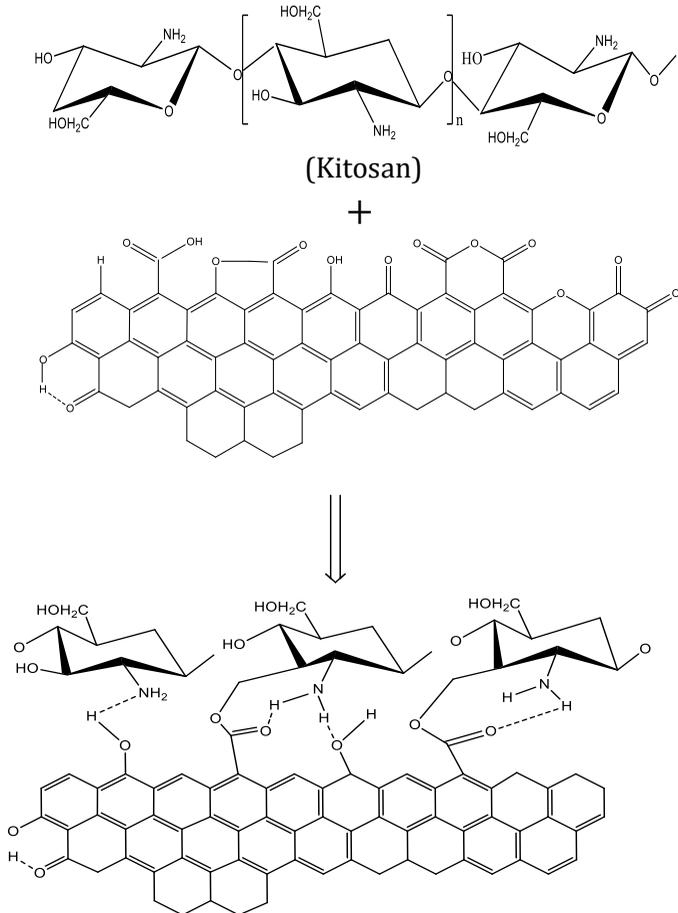
### **C. Sintesis Komposit Karbon Aktif Kulit Salak Teraktivasi KOH-Kitosan**

Komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan dibuat dengan rasio pencampuran antara karbon aktif kulit salak dan serbuk kitosan (perbandingan 1:1 (b/b)). Nitayaphat (2014) menyatakan hasil adsorben komposit memiliki efisiensi adsorpsi tertinggi pada rasio berat 1:1 (b/b) karena peningkatan adsorpsi meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi karbon pada film komposit dalam tingkat tertentu (rasio berat kitosan terhadap berat karbon aktif kulit salak = 1:1 (g/g)), artinya penambahan karbon aktif yang kurang atau

bahkan lebih tinggi dalam pembuatan komposit karbon aktif-kitosan tidak meningkatkan daya adsorpsi karena adanya pembentukan agregat karbon aktif kulit salak yang lebih besar sehingga menghalangi pembentukan komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan.

Proses pembuatan komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan diawali dengan pembuatan gel kitosan terlebih dahulu dengan melarutkan serbuk kitosan sebanyak 4 g dengan asam asetat 3% sebanyak 100 mL. Asam asetat dipilih sebagai pelarut kitosan karena asam mampu melarutkan kitosan dengan baik (Wiyarsi and Priyambodo, 2012). Proses pelarutan kitosan menggunakan asam asetat mengakibatkan sebagian ikatan hidrogen antara molekul kitosan terputus, sehingga rantai polimer teregang dan mengakibatkan peningkatan fleksibilitas kitosan (Zaharah, Shofiyani and Sayekti, 2015). Gel kitosan yang ditambahkan dengan 4 g karbon aktif kulit salak berfungsi sebagai *matrks* dalam komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan (Schmuhl, Krieg and Keizer, 2001). Permukaan karbon aktif kulit salak memiliki gugus penting yaitu gugus hidroksil yang memiliki

kemampuan membentuk ikatan hidrogen dengan gugus amino yang terdapat pada kitosan (Wang *et al.*, 2005).



(Komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan)

**Gambar 4.3** Mekanisme pembentukan ikatan hidrogen dengan gugus amino

(Jawad, Abdulhameed and Mastuli, 2020)

Interaksi kimia yang terjadi dalam pembuatan komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan membentuk senyawa kompleks koordinasi ditunjukkan pada **Gambar 4.3**. Komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan akan membentuk film komposit setelah dioven selama 24 jam karena pelarut pada komposit telah menguap. Penambahan NaOH 1 M pada komposit karbon aktif-kitosan berfungsi untuk menetralkan pH komposit yang cenderung bersifat asam akibat penggunaan pelarut asam asetat. Larutan NaOH juga berfungsi agar struktur polimer kitosan lebih teratur sehingga dalam pengaplikasiannya sebagai adsorben komposit akan menghasilkan interaksi yang lebih efektif (Zaharah, Shofiyani and Sayekti, 2015).

#### **D. Uji Kualitas Karbon Aktif**

##### **1. Uji kadar air**

Tujuan uji kadar air pada karbon aktif yaitu untuk mengidentifikasi sifat kelembaban dan mengukur persentase kandungan air yang masih ada dalam karbon aktif. Nilai persentase kandungan air dalam karbon aktif memiliki dampak terhadap penurunan kualitas karbon aktif (Ariyanto, 2021). Kadar air yang rendah dalam karbon aktif dapat dipengaruhi oleh jenis aktivator yang digunakan, jika aktivator yang

digunakan memiliki kemampuan yang baik dalam mengikat air, maka kadar air di dalam karbon aktif cenderung rendah (Setiawan *et al.*, 2017). Kadar air yang terdapat pada karbon aktif kulit salak dihilangkan dengan menguapkan karbon aktif kulit salak di dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam.

Uji kadar air sebelum dan sesudah aktivasi untuk memastikan karbon aktif kulit salak tetap memiliki kualitas yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia nomor 06.3730:1995. Hasil uji kadar air ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1** Uji kadar air

Kadar air (%)		Syarat SNI 06.3730:1995
Sebelum diaktivasi	Sesudah diaktivasi	
4	14	Max. 15

Peningkatan kadar air terjadi karena reaksi aktivasi menggunakan KOH menghasilkan senyawa H<sub>2</sub>O. Persentase kadar air yang diperoleh karbon aktif kulit salak baik sebelum maupun sesudah diaktivasi masih memenuhi Standar Nasional Indonesia karena tidak melebihi batas maksimal yaitu 15%.

## 2. Uji kadar abu

Uji kadar abu pada karbon aktif dilakukan dengan tujuan untuk menentukan persentase kandungan mineral yang masih ada dalam karbon aktif. Karbon aktif tidak hanya terdiri dari senyawa karbon, tetapi juga mengandung beberapa mineral. Kandungan mineral umumnya dapat hilang pada saat karbonisasi dan aktivasi, tetapi tidak menutup kemungkinan masih ada mineral yang tersisa di dalam pori-pori karbon aktif. Besarnya kandungan mineral dapat mempengaruhi kualitas karbon aktif karena menyebabkan penyumbatan pada pori-pori karbon aktif sehingga mengurangi kemampuan adsorpsi karbon aktif (Herlandien, 2013). Hasil uji kadar abu pada karbon kulit salak dan karbon kulit salak teraktivasi menggunakan KOH ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Kadar abu pada karbon aktif kulit salak setelah diaktivasi KOH yang meningkat disebabkan oleh lamanya waktu saat karbonisasi, karena setelah diaktivasi menggunakan KOH, karbon aktif kulit salak dikarbonisasi ulang (Siahaan, Hutapea and Hasibuan, 2013).

**Tabel 4.2** Uji kadar abu

Kadar abu (%)		Syarat SNI 06.3730:1995
Sebelum diaktivasi	Sesudah diaktivasi	
3	5	Max. 10

### 3. Uji kadar zat mudah menguap

Uji kadar zat mudah menguap (bagian yang hilang saat dipanaskan) bertujuan untuk mengidentifikasi jumlah senyawa yang cenderung menguap dan terkandung dalam karbon aktif. Kenaikan suhu umumnya mengurangi kandungan zat mudah menguap. Hal ini disebabkan oleh proses dekomposisi sempurna senyawa non-karbon yang terjadi pada suhu tinggi. (Aryani, 2019).

**Tabel 4.3** Kadar zat mudah menguap

Kadar zat mudah menguap (%)		Syarat SNI 06.3730:1995
Sebelum diaktivasi	Sesudah diaktivasi	
9	10	Max. 25

Tabel 4.3 menunjukkan hasil uji kadar zat mudah menguap karbon kulit salak dan karbon aktif kulit

salak teraktivasi tidak melebihi Standar Nasional Indonesia.

#### 4 Uji kadar karbon tetap

Kadar karbon tetap (*fixed carbon*) dalam karbon aktif adalah jumlah karbon yang terikat di dalamnya. Tingkat keberadaan karbon ini dipengaruhi oleh jumlah air, abu, dan komponen yang mudah menguap dalam bahan tersebut. Kenaikan suhu karbonisasi akan menyebabkan penurunan jumlah karbon yang terikat pada karbon aktif. (Huda, Ratnani and Kurniasari, 2020). Hasil uji kadar karbon tetap pada karbon kulit salak dan karbon aktif kulit salak teraktivasi tidak melebihi Standar Nasional Indonesia yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Kadar karbon tetap

Kadar karbon tetap (%)		Syarat SNI 06.3730:1995
Sebelum diaktivasi	Sesudah diaktivasi	
84	71	Min. 65

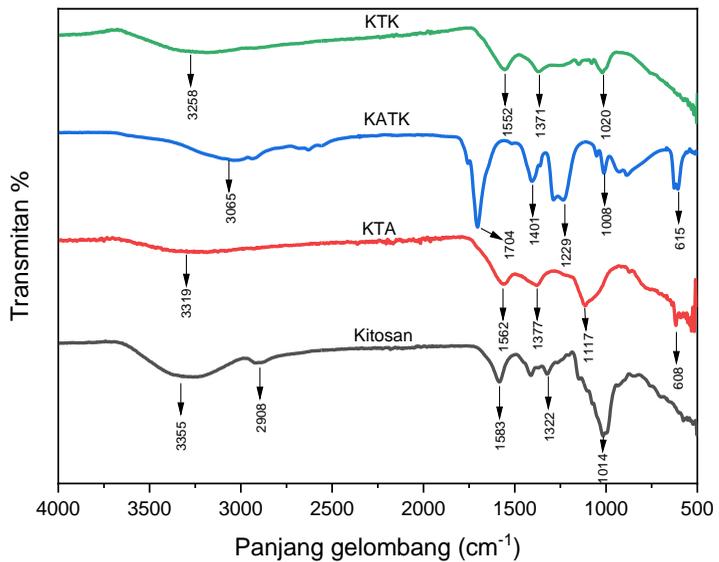
#### E. Karakterisasi

Karakterisasi dalam penelitian ini dilakukan pada sampel Karbon Tanpa Aktivasi (KTA), Karbon Teraktivasi

KOH (KATK), dan Komposit Teraktivasi KOH (KTK). Karakterisasi yang dilakukan meliputi:

### 1. FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*)

Hasil sintesis komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan dikarakterisasi menggunakan instrumen FT-IR dengan tujuan untuk menganalisis gugus-gugus fungsi di dalamnya.



**Gambar 4.4** Spektrum FT-IR kitosan, KTA, KATK, KTK

**Gambar 4.4** merupakan hasil karakterisasi FT-IR untuk sampel kitosan, KTA, KATK, dan KTK. Analisis menggunakan instrumen FT-IR dilakukan terhadap sampel sebelum diaktivasi dan sesudah diaktivasi

untuk mengetahui pergeseran pita serapan yang muncul dalam bilangan gelombang tertentu.

**Tabel 4.5** Interpretasi data hasil FT-IR

Gugus	Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )			
	Kitosan	KTA	KATK	KTK
O-H	3355	3319	3065	3258
N-H	3355	-	-	3258
	1583			1552
CH(CH <sub>2</sub> )	2908	-	-	-
C-H	1322	1377	-	1371
C=O	-	-	1704	-
C=C	-	1562	1401	-
C-O	1008	1117	1008	1020

**Tabel 4.5** menunjukkan bahwa kitosan memiliki gugus fungsional khas pada pita serapan yang terlihat dalam **Gambar 4.4** yaitu pada bilangan gelombang  $3355 \text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus amina primer ( $\text{NH}_2$ ) dan gugus O-H yang saling tumpang tindih, terdapat gugus CH(CH<sub>2</sub>) pada bilangan gelombang  $2908 \text{ cm}^{-1}$ , gugus NH amida  $1583 \text{ cm}^{-1}$ , gugus C-H *bending asym* pada bilangan gelombang  $1322 \text{ cm}^{-1}$ , dan gugus C-O pada bilangan gelombang  $1008 \text{ cm}^{-1}$  (Silva *et al.*, 2012). Spektra IR KTA menunjukkan adanya gugus O-H pada bilangan gelombang  $3319 \text{ cm}^{-1}$ , gugus fungsi

C=C pada bilangan gelombang 1562  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-H pada bilangan gelombang 1377  $\text{cm}^{-1}$ , dan gugus fungsi C-O pada bilangan gelombang 1117  $\text{cm}^{-1}$ . Ikatan O-H dan C-O menunjukkan bahwa karbon aktif tanpa aktivasi cenderung bersifat polar. Interpretasi yang sama juga terlihat pada spektra KATK dan hanya ada beberapa perbedaan dengan spektra yang dimiliki oleh KTA. Spektra IR KATK menunjukkan adanya pergeseran pita serapan gugus O-H pada bilangan gelombang 3065  $\text{cm}^{-1}$ , Gugus C-H hilang, dan Gugus C=O muncul pada bilangan gelombang 1704  $\text{cm}^{-1}$  yang diperkuat dengan adanya gugus C-O pada bilangan gelombang 1008  $\text{cm}^{-1}$ . Pergeseran pita serapan dan munculnya senyawa baru pada spektra IR KATK membuktikan bahwa aktivasi karbon aktif mengakibatkan perubahan gugus fungsi berupa pergeseran gugus fungsi, hilangnya bilangan gelombang serapan dan terjadi reaksi pembentukan senyawa baru (Wibowo, Syafi and Pari, 2011).

Spektra IR komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan yang berhasil disintesis memiliki bentuk pita serapan hampir sama dengan spektra kitosan murni, akan tetapi pita serapan yang dihasilkan mengalami pergeseran bilangan gelombang. Pergeseran terjadi

pada gugus O-H dengan bilangan gelombang semula  $3355\text{ cm}^{-1}$  menjadi  $3258\text{ cm}^{-1}$  dan gugus NH pada bilangan gelombang  $1583\text{ cm}^{-1}$  bergeser menjadi  $1552\text{ cm}^{-1}$  yang mengkonfirmasi interaksi antara gugus fungsional kitosan dan gugus karbon aktif teraktivasi. Gugus fungsi utama yang ditemukan dalam komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan adalah hidroksil dan amida yang berperan sebagai penukar kationik, muatan listrik yang dapat diperoleh gugus permukaan ketika dalam larutan mampu mendukung adsorpsi molekul target jika memiliki muatan yang berlawanan (de Freitas *et al.*, 2021).

## 2. SAA (*Surface Area Analyzer*)

Karakterisasi menggunakan SAA BET berfungsi untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori. Analisa dilakukan pada sampel sebelum diaktivasi dan setelah diaktivasi untuk melihat peningkatan luas permukaan dan ukuran pori setelah dilakukan proses aktivasi serta perlakuan penambahan kitosan pada karbon teraktivasi KOH. **Tabel 4.4** merupakan hasil analisis data SAA BET pada penelitian ini.

**Tabel 4.6** Hasil analisis menggunakan SAA BET

Parameter	Sampel		
	KTA	KATK	KTK
Luas permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	2,47	12,28	0,925
Luas permukaan total $\text{m}^2/\text{g}$	2,478	12,19	0,9248
Ukuran pori rata-rata (nm)	-	3,339	4,072
Jari-jari pori (nm)	-	2,057	13,542

**Tabel 4.6** menunjukkan bahwa luas permukaan KATK lebih luas dari permukaan KTA dan KTK. KTA mempunyai luas permukaan sebesar  $2,47\text{m}^2/\text{g}$  sedangkan luas permukaan KATK sebesar  $12,28\text{m}^2/\text{g}$ . Proses aktivasi basa (KOH) pada KATK terbukti sangat efektif dalam meningkatkan luas permukaan. Menurut Anisuzzaman *et al* (2016), sifat karbon bergantung pada proses aktivasi dan sifat alami dari bahan dasar karbon yang digunakan. Luas permukaan KATK juga lebih besar dibandingkan dengan KTK. KATK yang dikompositkan menjadi KTK mengalami penurunan luas permukaan drastis dari 12,28 menjadi  $0,925\text{m}^2/\text{g}$ . Hasil luas permukaan yang diperoleh dalam penelitian ini tidak sesuai dengan literatur. Menurut Nitayaphat (2014), penambahan karbon aktif bambu kedalam komposisi kitosan dapat meningkatkan luas permukaan

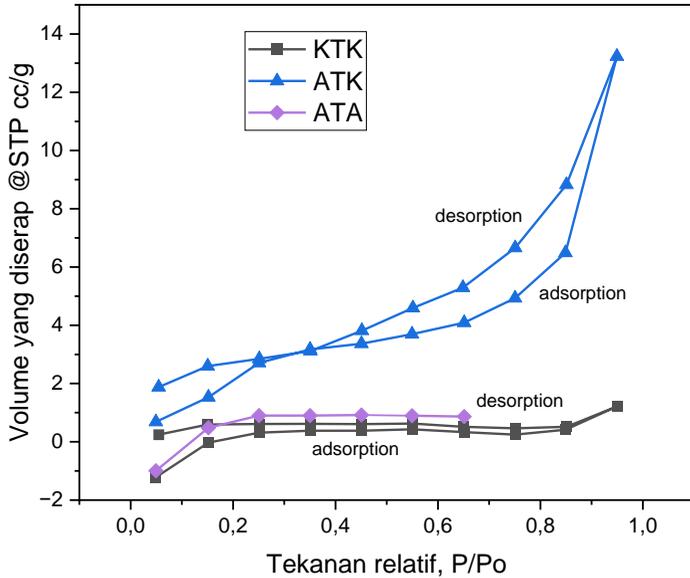
material, komposisi antara karbon aktif dan kitosan yaitu 1:1 (b/b). Penelitian lain oleh Hydari *et al* (2012), menggunakan karbon aktif komersial dengan penambahan kitosan menghasilkan luas permukaan 362,30 m<sup>2</sup>/g. Luas permukaan yang dihasilkan oleh KTK dipengaruhi oleh luas permukaan bahan baku, dalam penelitian ini menggunakan bahan baku kulit salak. Menurut Fadilah *et al* (2017), meningkatnya luas permukaan bahan baku (karbon aktif) yang digunakan akan menghasilkan komposit karbon aktif-kitosan dengan luas permukaan yang lebih baik. Penurunan luas permukaan pada komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan disebabkan oleh pengisian kekosongan dalam struktur karbon aktif oleh kitosan, sehingga menyebabkan penurunan luas permukaan. Sama halnya dengan luas permukaan, maka luas permukaan total yang dimiliki oleh KTK juga mengalami penurunan. Penurunan luas permukaan total terjadi setelah modifikasi karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan menjadi komposit karena molekul kitosan terperangkap di permukaan karbon aktif teraktivasi sehingga pori-pori komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan tertutupi (Oktapiani, Simpen and

Negara, 2021). Luas permukaan total didapatkan dari hasil perhitungan **Lampiran 4(b)** menunjukkan hasil analisis menggunakan instrumen BET dengan hasil analisis perhitungan dalam penelitian ini tidak jauh berbeda.

Analisis menggunakan instrumen BET tidak hanya memberikan informasi mengenai luas permukaan saja, akan tetapi porositas meliputi ukuran pori, jari-jari pori, bahkan klasifikasi pori dari suatu bahan juga dapat diketahui (Elfina *et al.*, 2020). Tabel 4.6 memberikan informasi mengenai ukuran pori rata-rata dan jari-jari pori yang dimiliki KTAK dan KTK. Ukuran pori rata-rata dan jari-jari pori pada KTA tidak muncul karena analisis yang dilakukan pada KTA hanya mengenai luas permukaannya saja. Tabel 4.6 menunjukkan bahwa KATK memiliki ukuran pori rata-rata 3,339 nm dan jari-jari pori sebesar 2,057 nm. Ukuran pori rata-rata dan jari-jari pori KTK lebih besar dibandingkan KATK yaitu 4,072 nm dan 13,542 nm. Peningkatan ukuran pori rata-rata dan jari-jari pori pada KTK kemungkinan disebabkan karena di dalam pencampuran karbon aktif-kitosan yang menghasilkan KTK, jumlah karbon aktif lebih dominan dibandingkan larutan kitosan sehingga

larutan kitosan terinfiltrasi ke dalam pori-pori karbon aktif (Ulfa, 2017) . Alasan ini didukung oleh bentuk isoterm adsorpsi-desorpsi  $N_2$  dengan tipe *hysteresis loop* yang dimiliki KTK.

**Gambar 4.5** memperlihatkan grafik adsorpsi-desorpsi  $N_2$  KTK, KATK, dan KTA. Isoterm adsorpsi-desorpsi  $N_2$  memberikan informasi struktur pori dan mekanisme adsorpsi yang mendasarinya (Thommes *et al.*, 2015). Karakteristik isoterm adsorpsi-desorpsi  $N_2$  pada KTA mengikuti isoterm adsorpsi desorpsi tipe I yang mengindikasikan KTA tergolong bahan mikropori dengan khas terdapat cekungan ke sumbu  $P/P_0$  dan jumlah yang diserap mendekati nilai batas. Karakteristik isoterm adsorpsi-desorpsi  $N_2$  pada KTK dan KATK mengikuti grafik isoterm adsorpsi-desorpsi  $N_2$  tipe IV yang menyatakan jenis adsorpsi pada permukaan mesopori. Hal ini sejalan dengan hasil ukuran pori pada KTAK dan KTK yang diukur menggunakan SAA BET yaitu sebesar 3,339 nm dan 4,072 nm. Berdasarkan **Tabel 2.3** mengenai klasifikasi pori, kategori mesopori memiliki ukuran pori 2-50 nm.

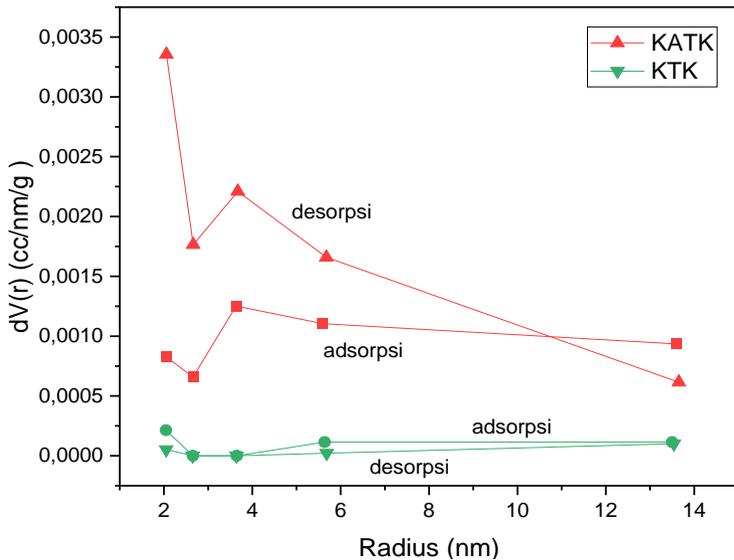


**Gambar 4.5** Isoterm adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> KTK, KATK, dan KTA

Perilaku adsorpsi di dalam mesopori dipengaruhi oleh interaksi adsorpsi komposit dan juga oleh interaksi antar molekul dalam kondisi terkondensasi. Kondensasi kapiler disertai dengan *hysteresis loop* karena melebihi lebar kritis tertentu dan bergantung pada adsorpsi dan suhu gas nitrogen yang diberikan. Menurut *IUPAC*, bentuk *hysteresis loop* terbagi menjadi empat tipe yang ditampilkan pada **Gambar 2.10**. Bentuk *hyteresis loop* dapat dikaitkan dengan metastabilitas adsorpsi. *Hysteresis loop* yang dimiliki KTK pada isotherm adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> yaitu

*hysteresis loop* tipe H4 yang menunjukkan bahwa KTK memiliki struktur mesopori dan struktur mikropori yang dominan (mikro-mesopori) dengan pori-pori berbentuk celah (*slit-shaped pore*). Adsorpsi gas pada tekanan awal adalah rendah ( $P/P_0 < 0,4$ ) menunjukkan adanya mikropori yang lebih dominan, sedangkan karakteristik isoterm pada tekanan tinggi ( $P/P_0 = 0,4 - 1,0$ ) menunjukkan adanya mesopori (Zeng *et al.*, 2021). *Hysteresis loop* yang dimiliki KATK yaitu H3 dengan ciri khas cabang adsorpsi menyerupai Tipe II, umumnya memiliki batas bawah cabang desorpsi yang terletak di rongga, diinduksi oleh  $P/P_0$  (Thommes *et al.*, 2015). Bentuk pori Tipe H3 menyerupai baji (*wedge-shaped*) (Yang *et al.*, 2016). Menurut Sulistyani, Budi and Bakri (2013), kemampuan adsorpsi pori mikro untuk menyerap partikel cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pori meso dan pori makro. Setiap jenis pori memiliki peran yang berbeda dalam proses adsorpsi. Pori meso berfungsi sebagai tempat menangkap bahan yang akan diserap dan sebagai jalan masuk ke pori mikro, akan tetapi peran yang paling dominan dalam proses adsorpsi dimainkan oleh jenis pori mikro (Trisnaliani, Erlinawati and Purnamasari, 2017). KTA

memiliki pori jenis mikropori sehingga pada KTA tidak memunculkan bentuk *hysteresis loop*. Karakteristik ukuran pori (mesopori) yang dimiliki oleh KATK dan KTK juga dapat dilihat menggunakan metode BJH (Barret, Joiner, Halenda) adsorpsi dan desorpsi (Ginting and Nurfiqih, 2018).



**Gambar 4.6** Grafik ukuran pori KATK dan KTK

Grafik ukuran pori pada sampel KATK dan KTK dapat diperoleh dari hubungan perubahan volume pori per gram sampel (cc/cm/g) dengan radius pori (nm) yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Berdasarkan **Gambar 4.6** dapat dilihat bahwa KATK dan KTK memiliki pori berukuran mesopori dengan

sebaran pori sekitar 2-6 nm. Menurut *IUPAC*, klasifikasi ukuran pori dibagi menjadi tiga yang ditampilkan pada **Tabel 2.3**. Sebaran pori berukuran mesopori yang dimiliki KATK lebih dominan. Sebaran pori KTK memiliki pori ukuran mesopori relatif kecil dibandingkan dengan KATK. Hal ini ditandai dengan adanya perubahan kenaikan volume pori per gram sampel pada radius pori 4 nm pada KATK. Kenaikan volume pori disebabkan oleh hilangnya pengotor yang mengisi sistem pori karena adanya perlakuan aktivasi basa (Fisli *et al.*, 2018), sedangkan pada KTK terjadi penurunan volume pori per gram sampel pada radius pori 4 nm dan mengalami sedikit kenaikan volume pori pada radius pori 6 nm. Penurunan volume pori diduga terjadi karena sebagian partikel kitosan masuk ke dalam pori bahan mesopori.

#### **F. Uji Adsorpsi**

Uji adsorpsi dilakukan pada sampel sebelum diaktivasi, setelah diaktivasi, dan setelah modifikasi dengan kitosan, selanjutnya sampel yang memiliki kinerja adsorpsi ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  paling baik yang selanjutnya digunakan lebih lanjut untuk menentukan pH optimum dan waktu kontak optimal. **Tabel 4.7** menunjukkan hasil uji adsorpsi yang dilakukan terlebih

dahulu pada sampel KTA (Karbon Tanpa Aktivasi), KATK (Karbon Aktif Teraktivasi KOH), dan KTK (Komposit Teraktivasi KOH) sebelum lanjut ke tahap penentuan pH optimum dan penentuan waktu kontak optimal.

**Tabel 4.7** Uji adsorpsi awal sampel KTA, KATK, KTK

Variasi pH	% Fe <sup>3+</sup> teradsorpsi pada sampel		
	KTA	KATK	KTK
1	80	26,79	80,51
2	93,92	95,38	99,27
3	94,84	59,33	99,87
4	31,17	95,93	81,08

Berdasarkan **Tabel 4.7** hasil uji adsorpsi awal yang dilakukan pada sampel KTA, KATK, dan KTK dapat disimpulkan bahwa kemampuan adsorpsi paling baik dimiliki oleh KTK dengan persen Fe<sup>3+</sup> teradsorpsi sebanyak 99,87% sedangkan persen kemampuan adsorpsi ion logam Fe<sup>3+</sup> oleh sampel KTA dan KATK lebih rendah dari KTK dalam variasi pH yang berbeda, sehingga dalam menentukan pH optimum dan waktu kontak optimal menggunakan sampel KTK.

### 1. Penentuan pH Optimum

pH larutan termasuk salah satu parameter kemampuan suatu adsorben dalam proses adsorpsi, karena proses adsorpsi berhubungan dengan

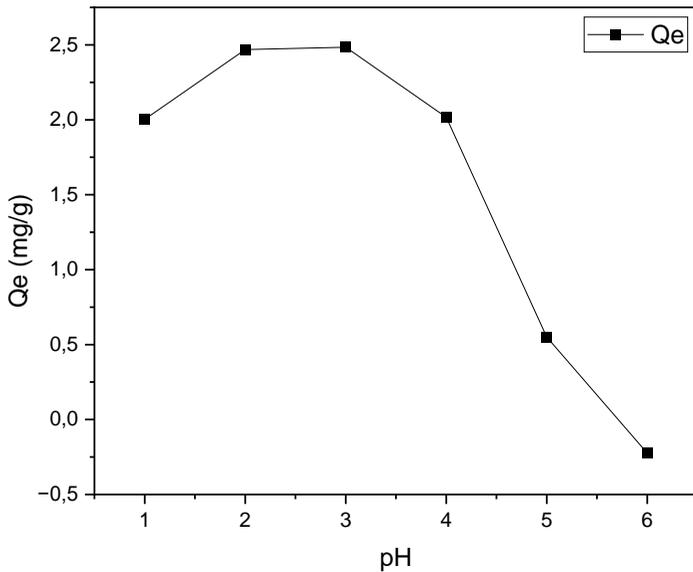
pengikatan atau pelepasan pada permukaan sisi aktif dari adsorben (Nurhasni, Hendrawati and Saniyyah, 2014). Penentuan pH optimum bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi terhadap nilai pH yang memberikan kapasitas adsorpsi maksimum adsorben dalam menjerap ion logam  $Fe^{3+}$ . Hasil data optimasi pH ditunjukkan pada **Tabel 4.8**.

**Tabel 4.8** Hasil data optimasi pH

pH	% $Fe^{3+}$ teradsorpsi	Qe (mg/g)
1	80,514	2,003
2	99,27	2,649
3	99,87	2,484
4	81,08	2,017
5	22,11	0,550

Penentuan pH optimum dalam penelitian ini menggunakan variasi pH 1,2,3,4, dan 5 dalam 25 mL larutan ion logam  $Fe^{3+}$  20 ppm yang ditambahkan pada KTK 0,1 g dan larutan diaduk menggunakan pengaduk *magnetic* selama 60 menit, selanjutnya absorbansi filtrat yang dihasilkan diukur menggunakan AAS. Pemilihan rentang pH didasarkan pada diagram spesiasi ion logam  $Fe^{3+}$  untuk memastikan bahwa pada variasi pH yang

dipilih merupakan *range* pH larutan yang masih 100% mengandung ion logam  $\text{Fe}^{3+}$ . Data hasil optimasi pH disajikan dalam Tabel 4.8 yang menunjukkan pH optimum terjadi pada pH 3 dengan persen  $\text{Fe}^{3+}$  teradsorpsi sebesar 99,87%.



**Gambar 4.7** Pengaruh variasi pH terhadap kapasitas adsorpsi

Data optimasi yang disajikan dalam Tabel 4.8 dapat dibuat grafik pengaruh variasi pH terhadap kapasitas adsorpsi ditampilkan dalam Gambar 4.7. Berdasarkan **Gambar 4.7** menunjukkan bahwa semakin tinggi pH, maka terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi dalam menyerap ion logam

$\text{Fe}^{3+}$  yaitu pada pH 1,2, dan kondisi optimum berada di pH 3 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,484. Peningkatan kapasitas adsorpsi terjadi karena adanya persaingan antara ion  $\text{H}^+$  dengan  $\text{Fe}^{3+}$  untuk menempati sisi aktif ( $-\text{NH}_2$ ) (Fadilah *et al.*, 2017). Kapasitas adsorpsi mengalami penurunan pada pH 4 dan 5 disebabkan oleh ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  yang mulai mengalami pengendapan membentuk endapan hidroksida karena adanya reaksi hidrolisis larutan, sehingga proses adsorpsi sulit terjadi (Kurniawan, Kasmiyatun and Soebiyono, 2020).

## 2. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan untuk menentukan berapa lama interaksi antara komposit dalam menyerap ion logam secara optimal. Penentuan waktu optimal dilakukan pada pH optimum yaitu pH 3 dengan variasi waktu 5, 10, 15, 30, dan 60 menit. Kondisi optimum waktu kontak memberikan informasi kemampuan optimal komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan sebanyak 0,1 g dalam mengadsorpsi 25 mL ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  20 ppm. **Tabel 4.9** menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap persentase adsorpsi. Berdasarkan Tabel 4.9 terlihat bahwa semakin lama

waktu kontak antara ion logam  $Fe^{3+}$  dengan komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan maka akan semakin banyak jumlah ion  $Fe^{3+}$  yang teradsorpsi. Semakin lama waktu kontak, jumlah partikel komposit yang berinteraksi dengan ion logam akan meningkat (Irawadi, Yenti and Chairul, 2015).

**Tabel 4.9** Pengaruh waktu kontak terhadap persen adsorpsi

Waktu kontak (menit)	% $Fe^{3+}$ teradsorpsi	Qt (mg/g)
5	75,08	1,099
10	95,04	1,362
15	97,08	1,392
30	94,31	1,352
60	92,41	1,332

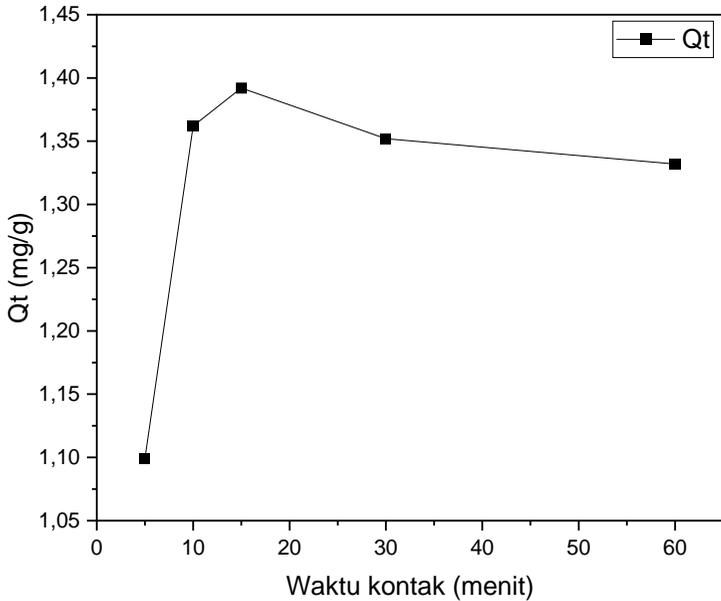
Waktu kontak optimal terjadi pada periode 15 menit, dengan persentase adsorpsi sebesar 97,08%.

**Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9** memberikan informasi bahwa perlakuan sampel KTK dalam uji adsorpsi ion logam  $Fe^{3+}$  25 mL (20 ppm) pada pH dan waktu kontak yang sama yaitu pada pH 3 selama 60 menit terdapat selisih hasil persen  $Fe^{3+}$  yang teradsorpsi.

**Tabel 4.8** memberikan hasil persen  $Fe^{3+}$  yang

teradsorpsi sebesar 99,87% sedangkan pada **Tabel 4.9** hasil persen  $\text{Fe}^{3+}$  teradsorpsi sebesar 92,41%. Selisih hasil yang diberikan dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi awal dan akhir ion logam  $\text{Fe}^{3+}$ . Informasi adanya perbedaan konsentrasi awal dan akhir ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  dapat dilihat pada lampiran **Tabel L.1** dan **Tabel L.2**.

**Gambar 4.8** memperlihatkan proses adsorpsi ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  mencapai kesetimbangan pada waktu 15 menit. Penurunan persen adsorpsi mulai terjadi pada menit ke-30 dan 60 yang disebabkan karena komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan telah mencapai titik jenuh. Struktur pori komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan tertutup oleh lapisan molekul, sehingga daya adsorpsi menurun (Riyanto, Raharjianti and Aminu, 2020). Besarnya kemampuan adsorpsi komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan dalam menjerap ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  dapat diketahui melalui nilai kapasitas adsorpsi. **Gambar 4.8** menunjukkan waktu kontak adsorpsi terhadap kapasitas adsorpsi pada variasi waktu. Nilai kapasitas adsorpsi pada waktu kontak 15 menit (optimum) yaitu sebesar 1,392 mg/g.

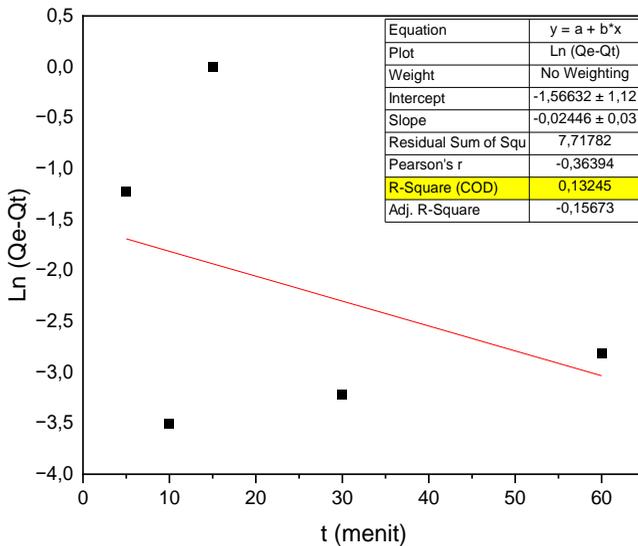


**Gambar 4.8** Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi

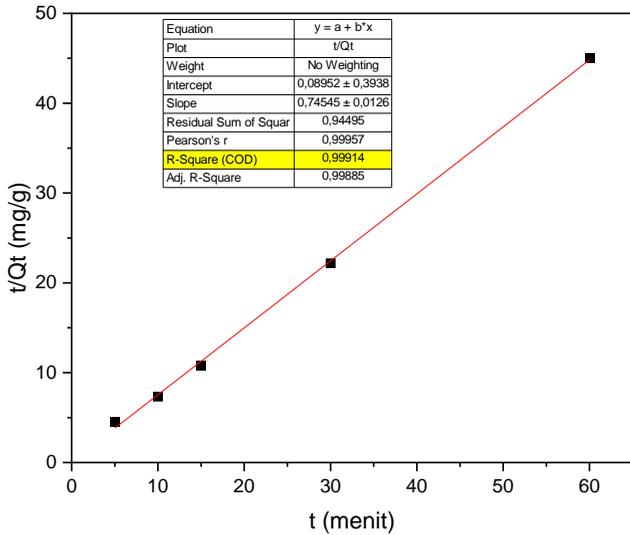
Informasi dari hasil kapasitas adsorpsi digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi. Tujuan dari penentuan kinetika adsorpsi adalah untuk mengetahui laju penyerapan oleh komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan terhadap ion logam  $Fe^{3+}$  yang dipengaruhi waktu. Kinetika adsorpsi ditentukan menggunakan model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Pemilihan model kinetika adsorpsi terbaik diperoleh dengan melihat koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang

relatif tinggi mendekati 1. **Gambar 4.8** dan **4.9** merupakan bentuk grafik model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua dari hasil perhitungan kinetika adsorpsi **Tabel L.4** dan **Tabel L.5**.

Grafik model kinetika adsorpsi pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10** dapat dihitung nilai  $Q_e$  dan nilai  $K$  yang diperoleh melalui peramaan regresi linier berdasarkan grafik model kinetika adsorpsi yang digunakan. Perhitungan nilai  $Q_e$  dan nilai  $K$  dapat dilihat pada **Lampiran 4(f)**.



**Gambar 4.9** Kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu



**Gambar 4.10** Kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua

**Tabel 4.10** Parameter kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua

<i>Pseudo</i> orde 2		
$Q_e$ (mg/g)	$K_2$ ( <i>menit</i> <sup>-1</sup> )	$R^2$
11,17068	0,10750	0,99914

**Tabel 4.10** menggambarkan parameter kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua yang didasarkan pada grafik Gambar 4.8 dan 4.9. Berdasarkan tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa model kinetika adsorpsi yang paling cocok untuk adsorpsi oleh komposit karbon aktif teraktivasi

KOH-kitosan adalah kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua. Nilai  $K$  ( $\text{menit}^{-1}$ ) menunjukkan konstanta kecepatan laju adsorpsi. Nilai  $K$  pada *pseudo* orde dua lebih besar dibandingkan nilai  $K$  *pseudo* orde satu menunjukkan laju adsorpsi yang lebih cepat yaitu sebesar  $0,10750 \text{ menit}^{-1}$ . Semakin besar nilai  $K$  yang diperoleh, semakin cepat laju adsorpsi terjadi (Hastuti *et al.*, 2021). Selain melihat dari koefisien determinasi ( $R^2$ ) *pseudo* orde dua sebesar  $0,99914$ , penentuan model kinetika adsorpsi juga dapat didukung dengan menggunakan nilai  $Q_e$  yang diperoleh yaitu sebesar  $11,17068 \text{ mg/g}$ . Nilai  $Q_e$  mengindikasikan jumlah adsorbat atau ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  yang dapat teradsorpsi pada saat keadaan setimbang telah tercapai. Menurut Kumar *et al* (2014), kinetika *pseudo* orde dua menjelaskan proses adsorpsi cenderung dikontrol oleh mekanisme secara kimia, akan tetapi dalam penelitian ini tidak melakukan uji FTIR kembali setelah uji adsorpsi ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  terhadap kemampuan komposit kulit salak teraktivasi KOH-kitosan, sehingga tidak bisa dibuktikan secara kimia. Situs aktif komposit memaksimalkan penjerapan jumlah ikatan ion pada permukaan komposit.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan berdasarkan pengujian instrumen FT-IR menghasilkan pita serapan yang mengalami pergeseran bilangan gelombang. Pergeseran terjadi pada gugus O-H dengan bilangan gelombang semula  $3355\text{ cm}^{-1}$  menjadi  $3258\text{ cm}^{-1}$  dan gugus NH pada bilangan gelombang  $1583\text{ cm}^{-1}$  bergeser menjadi  $1552\text{ cm}^{-1}$  yang mengkonfirmasi interaksi antara gugus fungsional kitosan dan gugus karbon aktif teraktivasi. Karakterisasi komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan menggunakan BET menghasilkan luas permukaan sebesar  $0,925\text{ m}^2/\text{g}$ . Karakteristik isoterm adsorpsi-desorpsi  $\text{N}_2$  pada KTK mengikuti grafik isoterm adsorpsi-desorpsi  $\text{N}_2$  tipe IV yang menyatakan jenis adsorpsi pada permukaan mesopori dalam bentuk tipe H4.
2. Adsorpsi ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  sebanyak 20 ppm dalam 25 mL menggunakan komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan terjadi pada kondisi pH optimum yaitu

pH 3, waktu kontak optimum terjadi pada menit ke-15 dengan persen adsorpsi sebesar 97,08% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,392 mg/g.

3. Model kinetika adsorpsi yang paling cocok untuk adsorpsi oleh komposit karbon aktif teraktivasi KOH-kitosan yaitu kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua dengan Nilai  $Q_e$  sebesar 11,17068 mg/g dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,99914.

## **B. Saran**

Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan variasi suhu saat karbonisasi pada pembuatan karbon aktif kulit salak dan melakukan variasi pada konsentrasi asam asetat yang digunakan untuk membuat komposit karbon aktif-kitosan. Uji karakterisasi menggunakan SEM diperlukan untuk menganalisis morfologi permukaan komposit dan karakterisasi XRD juga diperlukan untuk menentukan struktur kristal pada komposit. Uji adsorpsi disarankan untuk dilakukan kembali dan ditambahkan variasi konsentrasi untuk mengetahui konsentrasi optimum dan model isoterm adsorpsi yang sesuai. Perlakuan uji adsorpsi secara *duplo* dan *triplo* mungkin diperlukan untuk memastikan hasil kondisi optimum yang diperoleh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Quran dan terjemahnya. 2019. *Al-Quran dan Terjemahnya*. Edited by D. A. RI. Jakarta: Diponegoro.
- Alfiaturrahma, P. and Hendriyanto, O. 2018. Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok sebagai Adsorben untuk Menyisihkan Logam Cu. *Envirotek*, 8(2). pp. 105–111.
- Aliefuddin, R. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Reduce Graphene Oxide Berbahan Dasar Limbah Kopi Arabika dan Robusta dengan Metode Liquid Sonication Exfoliation. *Society*. 2(1). pp. 1–19.
- Angelina, S. 2014. *Pemodelan Perpindahan Massa Adsorpsi Zat Warna pada Florisil dan Silica Gel dengan Homogeneous and Heterogeneous Surface Diffusion Model*. Skripsi. Bandung: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas.
- Anggraini, D. 2015. *Adsorpsi Logam Fe(II) dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Komposit Kitosan-Karbon Aktif Kulit Durian*. Skripsi. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Anisuzzaman, S. M. *et al.* 2016. Removal of chlorinated phenol from aqueous media by guava seed (*Psidium guajava*) tailored activated carbon. *Water Resources and Industry*, 16(October). pp. 29–36. doi: 10.1016/j.wri.2016.10.001.

- Anugrahwati, M., Indah Fajarwati, F. and Awalini Safitri, R. 2021. Adsorpsi Pb(II) dari Air dengan Karbon Aktif dari Kulit Salak Pondoh : Kinetika dan Isoterm Adsorpsi. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 6(1). pp. 1–11. doi: 10.20885/ijcr.vol6.iss1.art1.
- Arifin, Z. *et al.* 2018. Adsorpsi Logam Fe (II) dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Komposit Kitosan-Karbon Aktif Cangkang Buah Karet', *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. April. pp. 1–5.
- Ariyani, D., Cahaya, N. and Mujiyanti, D. R. 2018. Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Zn(II) pada Komposit Arang Eceng Gondok Termodifikasi Kitosan-Epiklorohidrin. *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(2). pp. 85–92. doi: 10.15408/jkv.v4i2.6521.
- Ariyanto, E. 2021. Analisa Kemampuan Dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dari Cangkang Ketapang Terhadap Zat Warna Metil Oranye Adsorptionorption Ability and Kinetics Analyses of Activated. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 32 No.2, pp. 166–178.
- Aryani, F. 2019. Aplikasi Metode Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia pada Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L). *Indonesian Journal of Laboratory*. 1(2). p. 16. doi: 10.22146/ijl.v1i2.44743.
- Astari, M. A. and Utami, B. 2018. Uji Daya Adsorpsi Adsorben

- Kombinasi Sekam Padi dan Bagasse Fly Ash untuk Menjerap Logam Cu pada Sistem Batch. *Proceeding Biology Education Conference*, 15(1), pp. 766–774.
- Astuti, W. 2018. *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Semarang: UNNES PRESS.
- Aziz, Muhammad. Bill Gufran, N., Pitoyo, W. and Suhandi, S. 2017. Pemanfaatan Ekstrak Kitosan Dari Limbah Sisik Ikan Bandeng Di Selat Makassar Pada Pembuatan Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Administrasi dan Kebijakan Kesehatan Indonesia*. 1(1). pp. 56–61.
- Divinus, S. 2016. Pengaruh Waktu Penyangraian Terhadap Sifat Fisikokimia dan Organoleptik Bubuk Biji Salak Pondoh (*Salacca edullis*). *Medium*, 1(3). pp. 1–8.
- Djunaidi, C. 2018. Studi Interferensi Pada AAS (Atomic Absorption Spectroscopy). *Food Toxicants Analysis*. pp. 637–665.
- Elfina, S. *et al.* 2020. Sintesis Precipitate Calcium Carbonat Sebagai Filler Pada Plastik Ramah Lingkungan. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*. 1(1). p. 1. doi: 10.52759/reactor.v1i1.4.
- Erlina Fadri. A. 2018. *Adsorpsi Logam Besi (Fe) pada Air Gambut Menggunakan Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit serta Potensinya sebagai Bahan Ajar*. Skripsi. Pekanbaru: Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

- Erlina, Umiatin and Budi, E. 2015. Pengaruh Konsentrasi Larutan Koh Pada Karbon Aktif. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*. IV. pp. 55–60.
- Fadilah Basir, I. *et al.* 2017. Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Komposit Beads Kitosan/Arang Aktif Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Ion Cu(II). *J. Chem. Sci*, 6(2). Available at: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>.
- Fisli, A. *et al.* 2018. Analisis Struktur dan Porositas Komposit Adsorben Magnetik. pp. 179–187.
- de Freitas, F. P. *et al.* 2021. Adsorption of neutral red dye by chitosan and activated carbon composite films', *Heliyon*, 7(7). doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07629.
- Ghosh, D., Solanki, H. and Purkait, M. K. 2008. Removal of Fe(II) from tap water by electrocoagulation technique. *Journal of Hazardous Materials*, 155(1–2). pp. 135–143. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.11.042.
- Ginting, S. B. and Nurfiqih, M. Y. 2018. Sintesis Zeolit A Dari Coal Bottom Ash Dengan Metode Step Change Of Synthesis Temperature Dengan Variasi Suhu Kalsinasi Diaplikasikan Untuk Dehidrasi Etanol. *Mechanical*. 9(1). p. 7. doi: 10.23960/mech.v9.i1.201802.
- Girsang, E. *et al.* 2015. Serbuk biji salak (*Salacca zalacca* )

- sebagai bioadsorben dalam memperbaiki kualitas minyak goreng bekas. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS)*. (November). pp. 583–594.
- Handayani, A. 2010. *Penggunaan Selulosa Daun Nanas Sebagai Adsorben Logam Berat Cd (II)*. Skripsi, Universitas Sebelas Maret Surakarta. Skripsi. Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret.
- Hartanto, S. and Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(1). pp. 12–16.
- Hastuti, S. *et al.* 2021. Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Sumber Silika untuk Pembuatan Adsorben Ion Logam Cd(II) melalui Teknik Imprinted Ionic. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. 17(1). p. 113. doi: 10.20961/alchemy.17.1.44241.113-123.
- Herlandien, Y. L. 2013. *Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Absorban Logam Berat*. Skripsi. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Herliyanto, Budianta, D. and Hermansyah. 2014. Toksisitas Logam Besi (Fe) pada Ikan Air Tawar. *Jurnal Penelitian Sains*, 17(1). pp. 26–34.
- Huda, S., Ratnani, R. D. and Kurniasari, L. 2020. Karakterisasi

Karbon Aktif dari Bambu Ori (*Bambusa Arundinacea*) yang Di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*. 5(1). doi: 10.31942/inteka.v5i1.3397.

Hydari, S. *et al.* 2012. A comparative investigation on removal performances of commercial activated carbon, chitosan biosorbent and chitosan/activated carbon composite for cadmium. *Chemical Engineering Journal*. 193–194(June). pp. 276–282. doi: 10.1016/j.cej.2012.04.057.

Ibrahim, A. 2016. *Penurunan Kadar Ion Besi ( $Fe^{2+}$ ) dalam Air Menggunakan Serbuk Kulit Pisang Kepok*. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Semarang. Skripsi. Semarang: Program Studi D IV Analisis Kesehatan Fakultas Ilmu Keperawatan dan Kesehatan Universitas Muhammadiyah Semarang.

Ibrahim, M. awwaludin. 2014. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Dasar Cangkang Sawit Dengan Metode Aktivasi Fisika Menggunakan Rotary Autoclave. *Jom FTEKNIK*. 1 No.2. pp. 1–11.

Idrus, R. 2013. Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *PRISMA FISIKA*. Vol. I. No. 1 (2013). Hal. 50 - 55, 1(8). pp. 50–55.

- Ikmalia, L. 2020. *Modifikasi Karbon Aktif dari Kulit Salak dengan Sodium Dodecyl Sulfate ( SDS ) untuk Adsorpsi Eriochrome Black T ( EBT ), Skripsi*. Yogyakarta: Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
- Irawadi, R., Yenti, S. R. and Chairul. 2015. Penentuan Massa dan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Pb. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 52(9). pp. 1689–1699.
- Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S. and Mastuli, M. S. 2020. Mesoporous Crosslinked Chitosan-Activated Charcoal Composite for the Removal of Thionine Cationic Dye: Comprehensive Adsorption and Mechanism Study. *Journal of Polymers and the Environment*. 28(3). pp. 1095–1105. doi: 10.1007/s10924-020-01671-5.
- Kartikasari, M. 2016. *Analisis Logam Timbal (Pb) pada Buah Apel (Pylus Malus L.) dengan Metode Destruksi Basah secara Spektrofotometri Serapan Atom, Skripsi*. Malang: Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Khaira, K. 2014. *Analisis Kadar Tembaga (Cu) Dan Seng (Zn) Dalam Air Minum Isi Ulang Kemasan Galon di*

- Kecamatan Lima Kaum Kabupaten Tanah Datar. *Sainstek : Jurnal Sains dan Teknologi*. 6(2). pp. 116–123. Available at: <http://ecampus.iainbatusangkar.ac.id/ojs/index.php/sainstek/article/view/111>.
- Khofiyanida, E. *et al.* 2009. Pemanfaatan Limbah Padat Sisa Pembakaran sebagai Adsorpsi Limbah Cair pada Pabrik Tahu. *Prosiding SNST ke-6 Tahun 2015*, pp. 88–90.
- Kumar, P. S., Kirthika and Sathish. 2014. Kinetics and Equilibrium Studies of Pb 2+ Ion Removal From Aqueous Solutions by Use of Nano-Silversol-Coated Activated Carbon. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27 No.02(June 2010). pp. 339–346. doi: 10.1590/S0.104-66322010000200012.
- Kurniawan, P., Kasmiyatun, M. and Soebiyono. 2020. Reduksi Kandungan Logam Berat Fe pada Air Sungai Jetis Salatiga secara Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif, *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 1(1), p. 12. doi: 10.56444/cjce.v1i1.1323.
- Kustomo, K., Faza, N. L. Z. and Haarstrick, A. 2022. Adsorption of Cd (II) into Activated Charcoal from Matoa Fruit Peel. *Walisongo Journal of Chemistry*. 5(1). pp. 83–93. doi: 10.21580/wjc.v5i1.11755.
- Lajja, N. 2021. *Adsorpsi Logam Cd ( II ) Menggunakan*

*Adsorben Arang Aktif dari Kulit Buah Matoa Teraktivasi Asam Nitrat. Skripsi.* Semarang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo.

Lartey, R. B., Acquah, F. and Nketia, K. S. 1999. Developing National Capability for Manufacture of Activated Carbon from Agricultural Wastes. *The Ghana Engineer*. 9. pp. 1–5.

Maihendra. 2013. Kinetika Adsorpsi pada Penjerapan Ion Timbal Pb<sup>2+</sup> Terlarut dalam Air Menggunakan Partikel Tricalcium Phosphate. *Jom FTEKNIK*. 3 No.2(2). pp. 7–9.

Mangkurat, W., Nurdiana, E. and Budianto, A. 2019. Penurunan Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat pada Air Sungai Menggunakan Karbon Aktif sebagai Solusi Efisiensi Chlorine. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI*. 2(1). pp. 279–284.

Manocha, S. 2015. Porous carbons. *Shadana*, 28, pp. 335–348. doi: 10.1007/BF02717142.

Manuhutu, O. 2009. *Penetapan Kadar Lidokain HCl dalam Sediaan Injeksi secara Spektrofotometri Serapan Atom Tidak Langsung. Skripsi.* Yogyakarta: Program Studi Ilmu Farmasi Universitas Sanata Dharma.

Masriatini, R. and Fatimura, M. 2018. Pemanfaatan Karbon Aktif Sebagai Penyerap Ion Besi. *Jurnal Redoks*, 3(2).

pp. 51–54. Available at: <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/redoks/article/view/3335>.

Merliyana. 2017. *Analisis Status Pencemaran Air Sungai dengan Makrobentos sebagai Bioindikator di Aliran Sungai Sumur Putri Teluk Betung*. Skripsi. Lampung: Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Islam Negeri Raden Intan.

Nitayaphat, W. 2014. Utilization of chitosan/bamboo charcoal composite as reactive dye adsorbent', *Chiang Mai Journal of Science*. 41(1). pp. 174–183.

Noriyanti, T. 2012. *Analisis Kalsium, Kadmium dan Timbal Pada Susus Sapi Secara Spektrofotometer Serapan Atom, Skripsi*. Depok: Program Studi Ekstensi Farmasi Universitas Indonesia.

Nurhasni, N., Hendrawati, H. and Saniyyah, N. 2014. Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah. *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(1). doi: 10.15408/jkv.v4i1.1074.

Nurhidayanti, N., Ilyas, N. I. and Suwazan, D. 2021. Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Kopi sebagai Adsorben Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Arsen Pada Limbah Cair PT PXI', *Jurnal Tekno Insentif*. 15(2). pp. 76–87. doi: 10.36787/jti.v15i2.584.

- Oktapiani, N. K. A., Simpen and Negara, I. M. S. 2021. Fotodegradasi Rhodamin B oleh Katalis Zeolit Alam-TiO<sub>2</sub>/ZnO dan Irradiasi Sinar Tampak. *Journal of Chemistry*. 15(1). pp. 94–100.
- Ponce, M. I. T. 2014. Journal of the Chilean Chemical Society: Editorial. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 59(1), p. III. doi: 10.4067/S0717-97072014000100001.
- Prayogatama, A. and Kurniawan, T. 2022. Modifikasi Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia dan Fisika Menjadi Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(1), pp. 47–58. Available at: <https://dx.doi.org/10.23887/jst-undiksha.v11i1>.
- Pujiyanto. 2010. *Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batubara dan Tempurung Kelapa*. Tesis. Depok: Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Purwiandono, G. 2022. Adsorpsi Logam Cu(II) Menggunakan Adsorben Kulit Buah Salak Teraktivasi HNO<sub>3</sub>. *Ijcr*. 7(1). pp. 1–7.
- Putra, R., Elvia, R. and Amir, H. 2022. Sintesis Silika-Kitosan Untuk Menurunkan Kadar Ion Besi Dalam Air Permukaan. *Alotrop*. 6(1). pp. 15–27. doi: 10.33369/atp.v6i1.20318.
- Putranto, H. F., Asikin, A. N. and Kusumaningrum, I. 2015. Karakterisasi Tepung Tulang Ikan Belida (*Chitala* sp.)

- sebagai Sumber Kalsium dengan Metode Hidrolisis Protein. *Journal ZIRAA'AH*. 40(1), pp. 11–20.
- Rahayu *et al.* 2020. Isoterm Adsorpsi Ion Cr(III) Oleh Kitosan Hasil Isolasi Limbah Kepiting Rajungan dan Kitosan Komersil. 8(1). pp. 28–34. doi: 10.30598//ijcr.
- Rahayu, C. E. 2017. Immobilisasi Ion Logam Berat Cd<sup>2+</sup> dan Zn<sup>2+</sup> pada Geopolimer Abu Layang. *Skripsi*.
- Rahmadini, T. 2016. *Modifikasi Kulit Salak sebagai Adsorben Ion Tembaga(II)*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rahmawati, P. (2021) *Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok-Polivinil Alkohol (PVA) Tersilfonasi sebagai Adsorben Ion Tembaga(II)*. Semarang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Rambe, N. 2018. *Optimasi Suhu Aktivasi dan Dosis Zeolit sebagai Adsorben Seng dan Besi yang Terkandung di dalam Limbah Cair Industri Sarung Tangan Karet*. Skripsi, Departemen Kimia Universitas Sumatera Utara. Skripsi. Medan.
- Reknosari, E., Wirawan, T. and Koesnarpadi, S. 2021. Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Arang Aktif Ampas Kopi. *Jurnal Atomik*. 6(2). pp. 82–89.

- Riansyah, A., Supriadi, A. and Nopianti, R. 2013. Pengaruh Perbedaan Suhu dan Waktu Pengeringan Terhadap Karakteristik Ikan Asin Sepat Siam dengan Menggunakan Oven. *Fishtech*, 3 No.2. pp. 53–68.
- Riyanto, C. A., Raharjianti, B. M. and Aminu, N. R. 2020. Studi Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Ion Fe(III) dan Mn(II) pada Karbon Aktif Batang Eceng Gondok. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. (III). pp. 44–55.
- Rosyid, M., Nawangsih, E. and Dewita. 2012. Perbaikan Surface Area Analyzer Nova-1000 (Alat Penganalisis Luas Permukaan Serbuk). *Prosiding Seminar: Penelitian dan Pengolaan Perangkat Nuklir*. 1000(September). pp. 467–471.
- Safitri, R. A. 2020. *Pemanfaatan Limbah Kulit Salak Pondoh (Salacca edulis) sebagai Komposit Karbon Aktif Termodifikasi untuk Adsorpsi Logam Timbal (Pb)*. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Kimia Universitas Islam Indonesia. Available at: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/28975>.
- Satriyani Siahaan, Melvha Hutapea and Rosdanelli Hasibuan. 2013. Penentuan Kondisi Optimum Suhu Dan Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Arang Dari Sekam Padi', *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2(1). pp. 26–30. doi: 10.32734/jtk.v2i1.1423.

- Saucier, C. *et al.* 2015. Microwave-assisted activated carbon from cocoa shell as adsorbent for removal of sodium diclofenac and nimesulide from aqueous effluents', *Journal of Hazardous Materials*, 289, pp. 18–27. doi: 10.1016/j.jhazmat.2015.02.026.
- Schmuhl, R., Krieg, H. M. and Keizer, K. 2001. Adsorption of Cu(II) and Cr(VI) ions by chitosan: Kinetics and equilibrium studies', *Water SA*, 27(1), pp. 1–7. doi: 10.4314/wsa.v27i1.5002.
- Setiawan, A. *et al.* 2017. Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Bahan Dasar Arang Aktif Untuk Adsorpsi Fe(II). *Jkk*, 6(3), pp. 66–74.
- Setiyani, M. S. 2020. Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Butiran Kitosan Terikat Silang Tripolifosfat (TPP) dan Glutaraldehyd (GLA). pp. 1–9.
- Setyawan, M. N., Wardani, S. and Kusumastuti, E. 2018. Arang Kulit Kacang Tanah Teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II) dan Diimobilisasi dalam Bata Beton. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), pp. 262–269.
- Shafeeyan, M. S. *et al.* 2010. A review on surface modification of activated carbon for carbon dioxide adsorption', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 89(2). pp.

143–151. doi: 10.1016/j.jaap.2010.07.006.

- Shafirinia, R., Wardana, I. W. and Oktiawan, W. 2016. Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben dan Debit Aliran Terhadap Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Khrom (Cr) dan Tembaga (Cu) dengan Arang Aktif dari Penurunan Khrom (Cr) dan Tembaga (Cu)', *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(1). pp. 1–9.
- Shinta, D. and Indah. 2012. Saut Kelapa sebagai Penyerap Cr (VI) dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik WAKTU*. 10(1). pp. 23–27.
- Silva, S. M. L. *et al.* 2012. Application of Infrared Spectroscopy to Analysis of Chitosan/Clay Nanocomposites. *Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology*. (July 2014). doi: 10.5772/35522.
- Siswarni, Ranita, L. I. and Safitri, D. 2017. Pembuatan Biosorben dari Biji Pepaya ( *Carica papaya L* ) untuk Penyerapan Zat Warna. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6(2). pp. 7–13.
- Sotomayor, F. *et al.* 2018. Characterization of Micro/Mesoporous Materials by Physisorption: Concepts and Case Studies. *Acc. Mater. Surf. Res.* 3(2). pp. 34–50. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/3312608>

91.

- Sri Utari, A. and Fia Kartika, G. 2020. Pengolahan Air Sungai Kampar Menggunakan Komposit Lateks Karet Alam-Arang Aktif Kulit Kacang Tanah-Pasir Cor-Serat Ijuk. *Repository University Riau*. 2. pp. 1–9.
- Sulistiyani *et al.* 2019. Uji Efektivitas Arang Aktif Daun Pandan Laut yang Diaktivasi dengan Natrium Hidroksida untuk Adsorpsi Ion Fe<sup>3+</sup> secara Sistem Kolom. *Jurnal Sains Dasar*. 8(1). pp. 25–29. doi: 10.21831/jsd.v8i1.38752.
- Sulistiyani, E., Budi, E. and Bakri, F. 2013. Pengaruh Temperatur terhadap Adsorpsi Karbon Aktif Berbentuk Pelet Untuk Aplikasi Filter Air Erlinda. *Seminar Nasional Fisika*. pp. 67–72.
- Sulistiyani, M. and Huda, N. 2017. Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Sampel Protein Menggunakan Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (Ftir). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(2). pp. 173–180.
- Suskendriyati, H. *et al.* 2000. Studi Morfologi dan Hubungan Kekerabatan Varietas Salak Pondoh ( *Salacca zalacca* ( Gaert .) Voss .) di Dataran Tinggi Sleman. *Biodiversitas*, 1, pp. 59–64. doi: 10.13057/biodiv/d010204.
- Suwazan, D. and Nurhidayanti, N. 2022. Efektivitas Kombinasi Kitosan dan Ampas Teh Sebagai Adsorben

- Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Timbal Pada Limbah Cair PT PXI', *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20(1). pp. 37–44. doi: 10.14710/jil.20.1.37-44.
- Syarifuddin, A. 2022. *Analisis Kemometri Kadar Fe, Mn, dan Zn pada Air Tanah di Permukaan Sekitar Kawasan Industri Candi Semarang Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS*. Skripsi. Semarang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>.
- Thommes, M. *et al.* 2015. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), pp. 1051–1069. doi: 10.1515/pac-2014-1117.
- Trisnaliani, L., Erlinawati and Purnamasari, I. 2017. Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Kecepatan Adsorpsi Karbonisasi Dengan Menggunakan Metode Analisa Isoterm Freundlich Pada Pembuatan Karbon Aktif Batubara Lignit', *Jurnal Polsri*, 8(2), pp. 22–24.
- Ulfa, M. 2017. Analisis Mikroporositas Pada Karbon Berpori Dari Gelatin ( Kpg ) Menggunakan Adsorpsi-Desorpsi N<sub>2</sub> Model Dubinin – Radushkevich ( D-R ). *Jurnal Penelitian Kimia*. 13(1). pp. 103–118.

- Utama, S., Kristianto, H. and Andreas, A. 2016. Adsorpsi Ion Logam Kromium ( Cr ( Vi )) Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan'*. Yogyakarta(17 Maret 2016). pp. 1-6.
- Wagner, N. J. and Jula, R. J. 2018. *Activated carbon adsorption, Activated Carbon Adsorption For Wastewater Treatment*. doi: 10.1201/9781351069465-3.
- Wang, S. *et al.* 2005. Preparation and Mechanical Properties of Chitosan / Carbon Nanotubes Composites. pp. 3067-3072.
- Warlina, L. 2004. Pencemaran air : sumber, dampak dan penanggulangannya. *Makalah pribadi*. pp. 1-26. Available at: [http://www.rudyc.com/PPS702-ipb/08234/lina\\_warlina.pdf](http://www.rudyc.com/PPS702-ipb/08234/lina_warlina.pdf).
- Wibowo, S., Syafi, W. and Pari, G. P. 2011. Karakterisasi Permukaan Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung. *MAKARA of Technology Series*, 15(1). pp. 17-24. doi: 10.7454/mst.v15i1.852.
- Widjajanti, E., P, R. T. and Utomo, M. P. 2011. Pola Adsorpsi Zeolit terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan dan Penerapan MIPA*, pp. 115-122.
- Wijayanti. 2016. *Modifikasi Kulit Salak (Salacca zalacca)*

*sebagai Adsorben Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit, Skripsi.* Yogyakarta: Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

Wiyarsi, A. and Priyambodo, E. 2012. *Pengaruh Konsentrasi Kitosan dari Cangkag Udang Terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Berat.* Skripsi. Pendidikan Kimia FMIPA UNY.

World Health Organization. 2003. Iron in drinking-water. WHO Guidelines for drinking-water quality. *Who/Sde/Wsh/03.04/08. 2.* p. 4.

Yahaya, Y. A. and Don, M. M. 2014. Pycnopus sanguineus as Potential Biosorbent for Heavy Metal Removal from Aqueous Solution : A Review metals and radionuclides entering the biosphere . 1 In earlier times , when there. *Journal of Physical Science.* 25(1). pp. 1–32.

Yang, C. *et al.* 2016. Compositional controls on pore-size distribution by nitrogen adsorption technique in the Lower Permian Shanxi Shales, Ordos Basin. *Journal of Natural Gas Science and Engineering.* 34. pp. 1369–1381. doi: 10.1016/j.jngse.2016.08.026.

Zaharah, T. A., Shofiyani, A. and Sayekti, E. 2015. Karakteristik Biomassa Chlorella sp Terimobilisasi pada Kitosan untuk Adsorpsi Kromium(III) dalam

Larutan. *ALCHEMY*. 11(1). pp. 15–28.

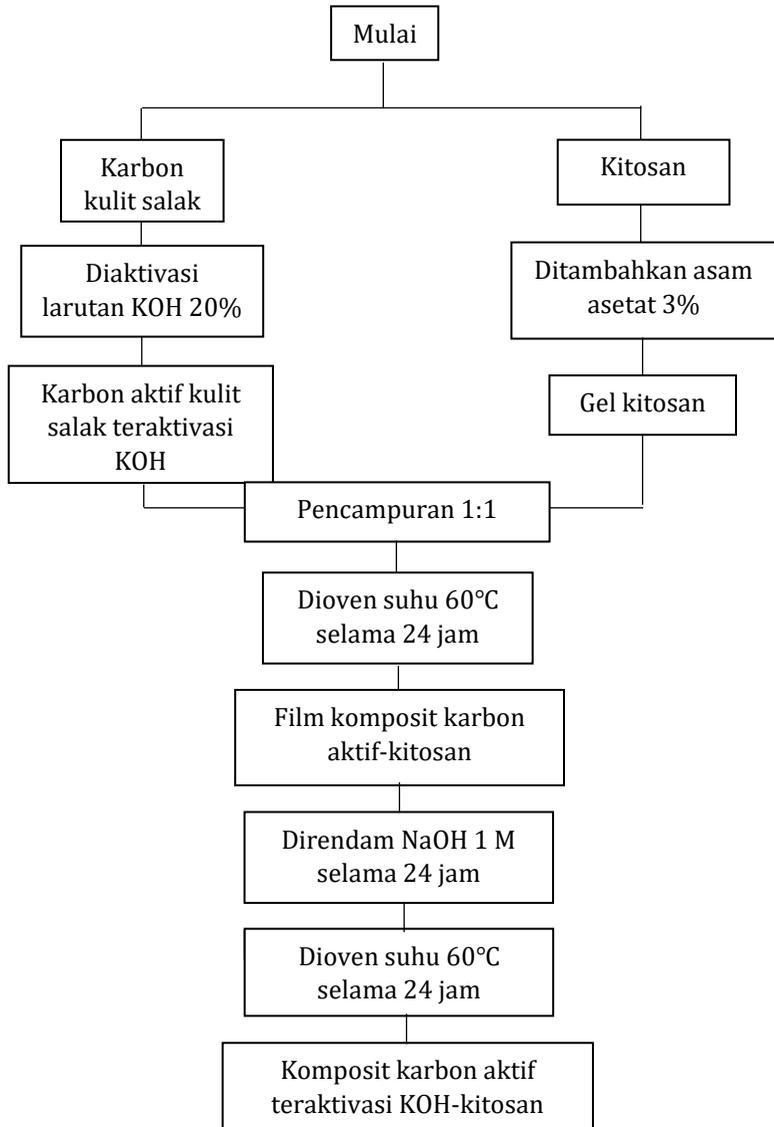
Zamzamie, M. S. 2020. *Adsorpsi Logam Timbal(Pb) dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Bambu Termodifikasi Oksida Besi dan Surfaktan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)*. Skripsi. Yogyakarta: Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

Zeng, J. *et al.* 2021. Bubuk Susu Limbah Berkarbonasi sebagai Katoda untuk Lithium Stabil Jangka Panjang Baterai Belerang dengan Kapasitas Sangat Besar dan Coulomb Awal Tinggi Efisiensi Raba. *Pre-proof*. pp. 2–37.

Zulichatun, S. *et al.* 2015. Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer ( SAA ). *Pelatihan Instrumen*, 5.

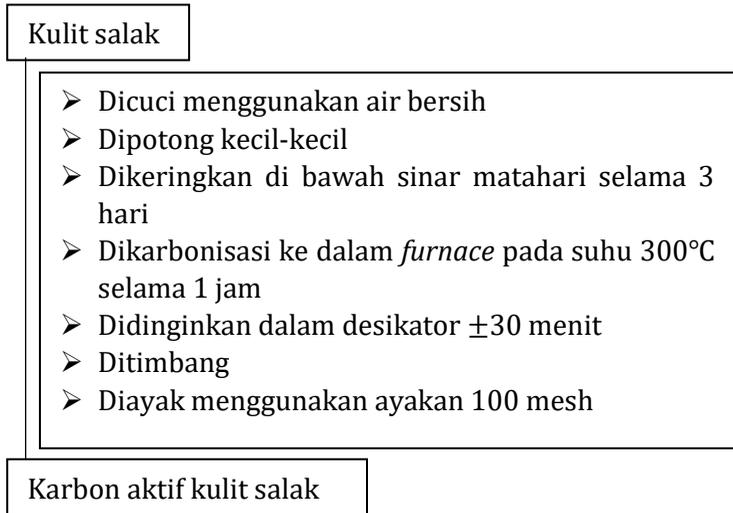
## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Skema Penelitian Komposit Karbon Aktif - Kitosan



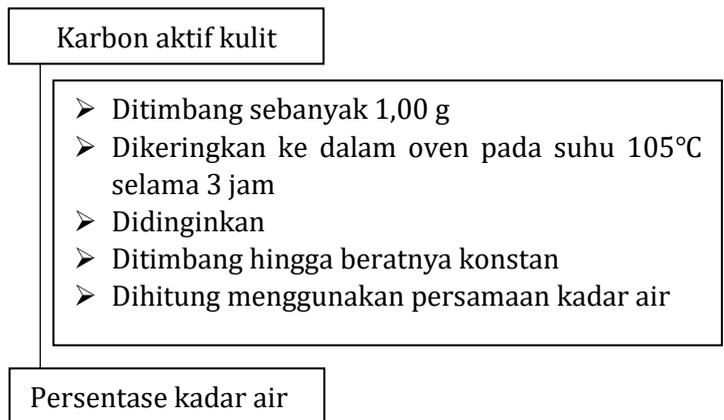
## Lampiran 2 Diagram Alir Penelitian

### a. Preparasi sampel karbon aktif kulit salak

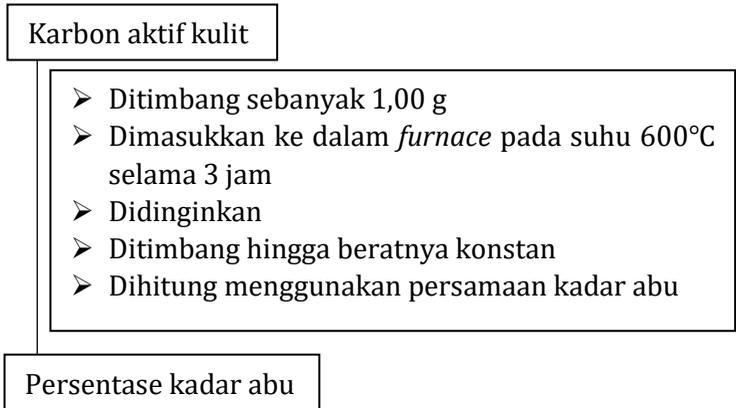


### b. Parameter pengujian karbon aktif

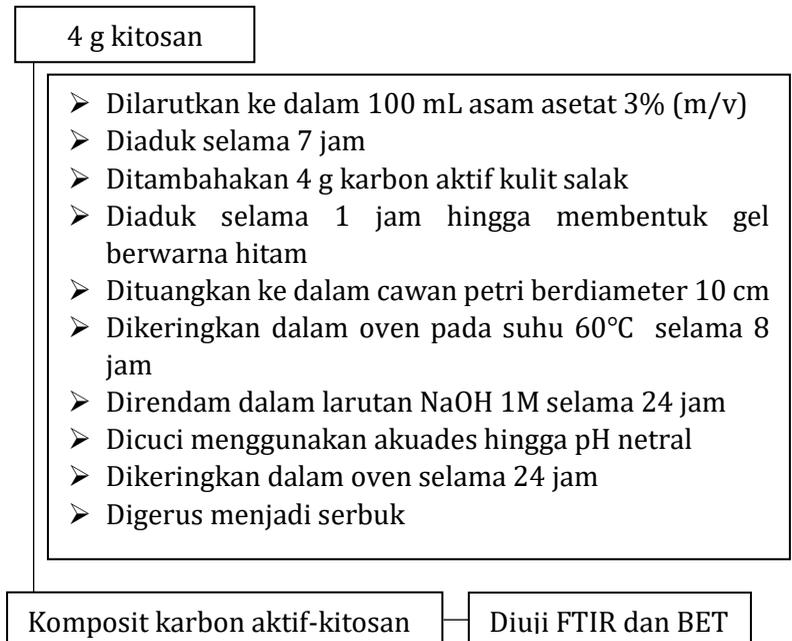
#### 1. Kadar air



## 2. Kadar abu



## c. Komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan



d. Pembuatan limbah artifisial  $\text{Fe}^{3+}$  dalam  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

- Ditimbang sebanyak 4,8253 g
- Dimasukkan dalam labu ukur 1000 mL
- Didinginkan
- Ditambahkan akuades hingga tanda batas
- Dikocok sampai homogen

Persentase kadar abu

e. Penentuan pH optimum

Komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan

- Ditimbang sebanyak 0,1 g
- Ditambahkan 25 mL larutan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  konsentrasi 20 ppm dengan pH 1,2,3,4 dan 5
- Diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit
- Disaring

Filtrat

Diuji AAS

f. Penentuan Waktu kontak optimum

Komposit karbon aktif kulit salak teraktivai KOH -kitosan

- Ditimbang sebanyak 0,1 g
- Ditambahkan 25 mL larutan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  konsentrasi 20 ppm dengan pH optimum
- Diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 5,10,15,30, dan 60 menit
- Disaring

Filtrat

Diuji AAS

### Lampiran 3 Data Hasil Percobaan

#### a. Data Optimasi pH

Tabel L.1 Data optimasi variasi pH

Ph	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	$C_0$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	$Q_e$ (mg/g)	%R
1	0,1	25	9,951	1,939	2,003	80,514
2	0,1	25	9,951	0,0721	2,469	99,275
3	0,1	25	9,951	0,0124	2,484	99,875
4	0,1	25	9,951	1,882	2,017	81,087
5	0,1	25	9,951	7,75	0,550	22,118
6	0,1	25	9,951	10,847	-0,224	-9

#### b. Data Optimasi Waktu Kontak

Tabel L.2 Data optimasi variasi waktu kontak

t (menit)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	$C_0$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	$Q_t$ (mg/g)	%R
5	0,1	25	5,736	1,3394	1,099	75,085
10	0,1	25	5,736	0,2843	1,362	95,043
15	0,1	25	5,736	0,1674	1,392	97,081
30	0,1	25	5,736	0,3263	1,352	94,311
60	0,1	25	5,736	0,4077	1,332	92,892

#### c. Data Kinetika Adsorpsi

Tabel L.3 Data kinetika adsorpsi KTK

<i>Pseudo orde 1</i>			<i>Pseudo orde 2</i>		
$Q_e$ (mg/g)	$K_1$ ( $min^{-1}$ )	$R^2$	$Q_e$ (mg/g)	$K_2$ ( $min^{-1}$ )	$R^2$
0,94523	-3,607	0,13245	11,17068	0,10750	0,99914

## Lampiran 4 Perhitungan Analisa Data

### a. Perhitungan pengujian karbon aktif kulit salak

#### 1). Uji kadar air

$$\text{Rumus uji kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\%$$

Keterangan:

$W_1$  = Cawan kosong (g)

$W_2$  = Cawan + sampel sebelum dipanaskan (g)

$W_3$  = Cawan + sampel sesudah dipanaskan (g)

- Kadar air karbon aktif kulit salak sebelum diaktivasi KOH

$$\begin{aligned} \text{Kadar air} &= \frac{(54,39+1,00)gr - 55,35gr}{(54,39 + 1,00) gr - 54,39 gr} \times 100\% \\ &= \frac{0,04 gr}{1 gr} \times 100\% \\ &= 4\% \end{aligned}$$

- Kadar air karbon aktif kulit salak setelah diaktivasi KOH

$$\begin{aligned} \text{Kadar air} &= \frac{(41,10+1,00)gr - 41,96 gr}{(41,20 + 1,00) gr - 41,10gr} \times 100\% \\ &= \frac{0,14 gr}{1 gr} \times 100\% \\ &= 14\% \end{aligned}$$

#### 2). Uji kadar abu

$$\text{Rumus uji kadar abu} = \frac{W_2 - W_1}{W_3} \times 100\%$$

Keterangan:

$W_1$  = Cawan + sampel sebelum dikarbonisasi (g)

$W_2 =$  Cawan + sampel sesudah dikarbonisasi (g)

- Karbon aktif kulit salak sebelum diaktivasi KOH

$$\begin{aligned}\text{Kadar abu} &= \frac{(46,42-46,39) \text{ gr}}{1,00 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= \frac{0,03 \text{ gr}}{1 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 3\%\end{aligned}$$

- Karbon aktif kulit salak setelah diaktivasi KOH

$$\begin{aligned}\text{Kadar abu} &= \frac{(41,15-41,10) \text{ gr}}{1,00 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= \frac{0,05 \text{ gr}}{1,00 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 5\%\end{aligned}$$

3). Kadar zat mudah menguap =  $\frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times$

100% – %kadar air

Keterangan:

$W_1 =$  Cawan kosong (g)

$W_2 =$  Cawan + sampel sebelum dipanaskan (g)

$W_3 =$  Cawan + sampel sesudah dipanaskan (g)

- Karbon aktif kulit salak sebelum diaktivasi KOH

Kadar zat mudah menguap

$$\begin{aligned}&= \frac{(35,45-35,32) \text{ gr}}{35,45-34,45 \text{ gr}} \times 100\% - \% \text{kadar air} \\ &= 13\% - 4\% \\ &= 9\%\end{aligned}$$

Karbon aktif kulit salak setelah diaktivasi KOH

- Kadar zat mudah menguap

$$\begin{aligned}
&= \frac{(44,61-44,37) \text{ gr}}{44,61-43,61 \text{ gr}} \times 100\% \\
&= 24\% - 14\% \\
&= 10\%
\end{aligned}$$

4). Kadar karbon tetap = 100% - (kadar air + kadar abu + kadar zat mudah menguap)

- Karbon aktif kulit salak sebelum diaktivasi KOH

$$\begin{aligned}
&= 100\% - (4 + 3 + 9)\% \\
&= (100-16)\% \\
&= 84\%
\end{aligned}$$

- Karbon aktif kulit salak setelah diaktivasi KOH

$$\begin{aligned}
&= 100\% - (14 + 5 + 10)\% \\
&= (100-29)\% \\
&= 71\%
\end{aligned}$$

*b. Surface Area Analyzer*

1). KTA (Karbon tanpa aktivasi)

$$Y = 1461,5x + (-56,2063)$$

$$\text{Slope} = 1461,5$$

$$\text{Intercept} = -56,2063$$

$$R^2 = 0,944828$$

$$\begin{aligned}
W_m &= \frac{1}{\text{slope} + \text{intercept}} \\
&= \frac{1}{1461,5 + (-56,2063)} \\
&= 0,0007116 \text{ m}^2/\text{g}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan total } (S_t) &= \frac{W_m \times N \times Acs}{M} \\ &= \frac{0,0007116 \times 6,02 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28} \\ &= \frac{0,0693 \times 10^3}{28} \\ &= 2,4784 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan spesifik } (S) &= \frac{S_t}{B_c} = \frac{38,3107}{0,0730} \\ &= 524,8041 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

2). KATK (Karbon teraktivasi KOH)

$$Y = 233,354x + 50,1218$$

$$\text{Slope} = 233,354$$

$$\text{Intercept} = 50,1218$$

$$R^2 = 0,964894$$

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{1}{\text{slope} + \text{intercept}} \\ &= \frac{1}{233,354 + 50,1218} \\ &= 0,0035 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan total } (S_t) &= \frac{W_m \times N \times Acs}{M} \\ &= \frac{0,0035 \times 6,02 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28} \\ &= \frac{0,3413 \times 10^3}{28} \\ &= 12,1905 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

$$\text{Luas permukaan spesifik } (S) = \frac{S_t}{B_c} = \frac{12,1905}{0,0617}$$

$$= 197,5769 \text{ m}^2/\text{g}$$

3). KTK (Komposit teraktivasi KOH)

$$Y = 3973,67x + (-207,794)$$

$$\text{Slope} = 3973,67$$

$$\text{Intercept} = -207,794$$

$$R^2 = 0,994987$$

$$W_m = \frac{1}{\text{slope} + \text{intercept}}$$

$$= \frac{1}{3973,67 + (-207,794)}$$

$$= 0,00026554 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$\text{Luas permukaan total (St)} = \frac{W_m \times N \times A_{cs}}{M}$$

$$= \frac{0,00026554 \times 6,02 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28}$$

$$= \frac{0,0258 \times 10^3}{28}$$

$$= 0,9248 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$\text{Luas permukaan spesifik (S)} = \frac{S_t}{B_c} = \frac{0,9248}{0,0701}$$

$$= 13,1925 \text{ m}^2/\text{g}$$

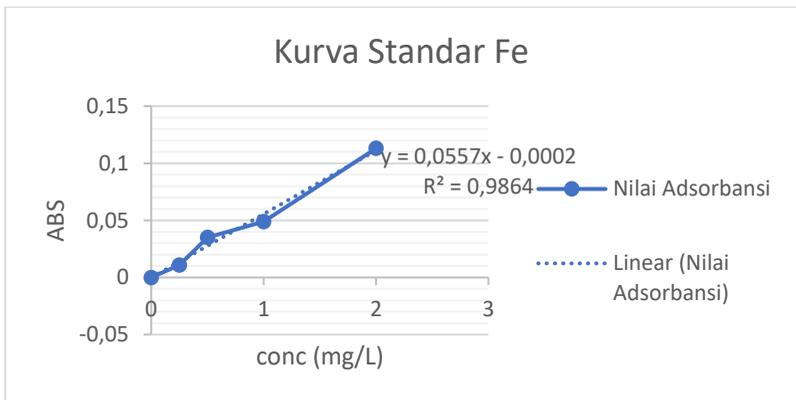
c. Kurva standar  $\text{Fe}^{3+}$

Tabel L.4 Kurva standar  $\text{Fe}^{3+}$

Conc. Larutan Standar $\text{Fe}^{3+}$ (mg/L)	Nilai absorbansi
0	0

0,25	0,011
0,5	0,035
1	0,049
2	0,113
4	0,201

Tabel L.4 dapat dibuat grafik kurva standar  $\text{Fe}^{3+}$  yang disajikan pada Gambar L.1



Gambar L.1 Grafik kurva standar  $\text{Fe}^{3+}$

d. Perhitungan Jumlah  $\text{Fe}^{3+}$  Teradsorpsi (%R)

Rumus:

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

Keterangan:

R = Jumlah adsorbat yang terserap

$C_o$  = Konsentrasi adsorbat mula-mula (ppm)

$C_e$  = Konsentrasi adsorbat saat setimbang (ppm)

1). Variasi pH

a). pH 1

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(9,951 - 1,939)}{9,951} \times 100\% \\ &= 80,514\%\end{aligned}$$

b). pH 2

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(9,951 - 0,0721)}{9,951} \times 100\% \\ &= 99,27\%\end{aligned}$$

c). pH 3

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(9,951 - 0,0124)}{9,951} \times 100\% \\ &= 99,87\%\end{aligned}$$

d). pH 4

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(9,951 - 1,882)}{9,951} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 81,08\%$$

e). pH 5

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(9,951 - 7,75)}{9,951} \times 100\% \\ &= 22,11\%\end{aligned}$$

f). pH 6

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(9,951 - 10,847)}{9,951} \times 100\% \\ &= -9\%\end{aligned}$$

2). Variasi Waktu Kontak (menit)

a). Waktu Kontak 5 menit

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(5,736 - 1,3394)}{5,736} \times 100\% \\ &= 75,08\%\end{aligned}$$

b). Waktu Kontak 10 menit

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(5,736 - 0,2843)}{5,736} \times 100\% \\ &= 95,04\%\end{aligned}$$

c). Waktu Kontak 15 menit

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(5,736 - 0,1674)}{5,736} \times 100\% \\ &= 97,08\%\end{aligned}$$

d). Waktu Kontak 30 menit

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(5,736 - 0,3263)}{5,736} \times 100\% \\ &= 94,31\%\end{aligned}$$

e). Waktu Kontak 60 menit

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \\ &= \frac{(5,736 - 0,4077)}{5,736} \times 100\% \\ &= 92,41\%\end{aligned}$$

e. Pembuatan Larutan

1). Larutan Fe 1000 ppm

Membuat larutan  $\text{Fe}^{3+}$  dari padatan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

(Mr Fe = 56 gr/mol)

- Larutan induk 1000 ppm = 1000 mg/L = 1 gr/L
- Mol  $\text{Fe}^{3+} = \frac{gr}{Mr} = \frac{1\text{ gr}}{56\text{ gr/mol}} = 0,01785\text{ mol}$
- Massa  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  Yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{Massa} &= \text{mol Fe}^{3+} \cdot \text{Mr FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \\
 &= 0,01785 \text{ mol} \times 270,33 \text{ gr/mol} \\
 &= 4,8253 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

2). Pengenceran Larutan

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

Keterangan:

$M_1$  = Konsentrasi larutan induk (1000 ppm)

$M_2$  = Konsentrasi yang diinginkan (ppm)

$V_1$  = Volume larutan yang akan diambil (mL)

$V_2$  = Volume setelah pengenceran (mL)

a). Larutan Fe (III) 10 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

b). Larutan Fe (III) 20 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 20 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

c). Larutan Fe (III) 30 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 30 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

d). Larutan Fe (III) 40 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 40 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

e). Larutan Fe (III) 50 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 50 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

f). Larutan Fe (III) 60 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 60 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 6 \text{ mL}$$

3). Larutan HCl 1 M

$$M = \frac{(10 \times \% \times Bj)}{EM}$$

$$M = \frac{(10 \times \% \times Bj)}{36,5 \text{ g/mol}}$$

$$= 12,06 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$12,06 \text{ M} \times V_1 = 1 \text{ M} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_2 = 8,3 \text{ mL}$$

4). Larutan NaOH 1 M

$$M = \frac{\text{mol}}{V}$$

$$\text{mol} = M \times V$$

$$= 1 \text{ M} \times 0,1 \text{ L}$$

$$= 0,1 \text{ mol}$$

$$\text{massa} = \text{mol} \times Mr$$

$$= 0,1 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}$$

f. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi ( $Q_e$ )

Rumus:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} \times V$$

Keterangan:

$m$  = Massa adsorben yang digunakan (gram)

$V$  = Volume adsorbat yang digunakan (L)

$C_o$  = konsentrasi adsorbat mula-mula (ppm)

$C_e$  = Konsentrasi adsorbat saat setimbang (ppm)

1). Kapasitas Adsorpsi Variasi pH

a). pH 1

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(9,951 - 1,939)ppm}{0,1 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L} \\ &= 2,003 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

b). pH 2

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(9,951 - 0,0721)ppm}{0,1 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L} \\ &= 2,469 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

c). pH 3

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(9,951 - 0,0124)ppm}{0,1 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L} \\ &= 2,484 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

d). pH 4

$$Q_e = \frac{(9,951 - 1,882)ppm}{0,1 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 2,017 \text{ mg/g}$$

e). pH 5

$$Q_e = \frac{(9,951 - 7,75) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 0,55 \text{ mg/g}$$

f). pH 6

$$Q_e = \frac{(9,951 - 10,847) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= -0,224 \text{ mg/g}$$

2). Variasi Waktu Kontak (menit)

a). Waktu kontak 5 menit

$$Q_t = \frac{(5,736 - 1,3394)}{0,1} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,099 \text{ mg/g}$$

b). Waktu kontak 10 menit

$$Q_t = \frac{(5,736 - 0,2843)}{0,1} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,362 \text{ mg/g}$$

c). Waktu kontak 15 menit

$$Q_t = \frac{(5,736 - 0,1674)}{0,1} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,392 \text{ mg/g}$$

d). Waktu kontak 30 menit

$$Q_t = \frac{(5,736 - 0,3263)}{0,1} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,352 \text{ mg/g}$$

e). Waktu kontak 60 menit

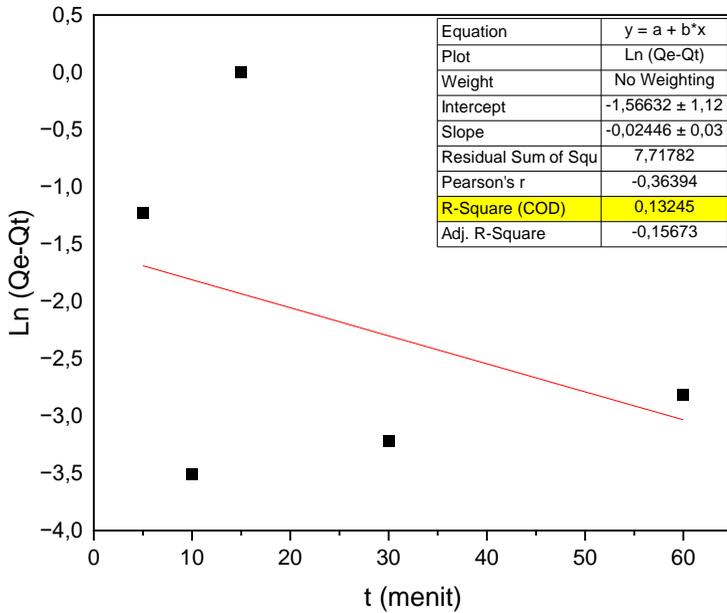
$$Q_t = \frac{(5,736 - 0,4077)}{0,1} \times 0,025 L$$
$$= 1,332 \text{ mg/g}$$

g. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

1. *Pseudo* orde Satu

Tabel L.4 Data penentuan *pseudo* orde satu

t (menit)	Qt (mg/L)	Qe (mg/g)	Qe-Qt	Ln (Qe-Qt)
5	1,099	1,392	0,293	-1,22758267
10	1,362	1,392	0,03	- 3,506557897
15	1,392	1,392	0	
30	1,352	1,392	0,04	- 3,218875825
60	1,332	1,392	0,06	- 2,813410717



$$y = ax + b$$

$$y = -1,56632x - 0,02446$$

$$R^2 = 0,13245$$

$$\frac{K_1}{2,303} = a$$

$$\frac{K_1}{2,303} = -1,56632$$

$$= -3,607$$

$$\log Q_e = b$$

$$\log Q_e = -0,02446$$

$$Q_e = 10^{-0,02446}$$

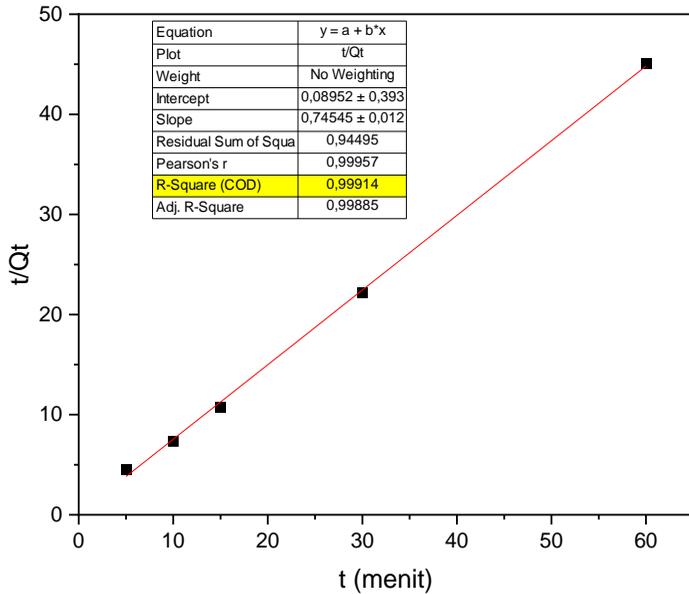
$$= 0,94523$$

## 2. Pseudo orde dua

Tabel L.5 Data penentuan pseudo orde dua

t (menit)	Qt (mg/L)	Qe (mg/g)	t/Qt
5	1,099	1,392	4,549590537

10	1,362	1,392	7,342143906
15	1,392	1,392	10,77586207
30	1,352	1,392	22,18934911
60	1,332	1,392	45,04504505



$$y = ax + b$$

$$y = 0,08952x + 0,74545$$

$$\frac{1}{Q_e} = a$$

$$\frac{1}{Q_e} = 0,08952$$

$$Q_e = \frac{1}{0,08952}$$

$$= 11,1706881$$

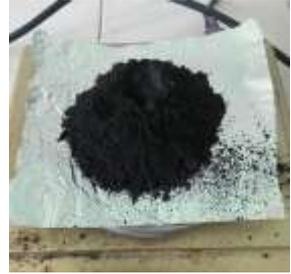
$$\frac{1}{k_2 \cdot Q_e^2} = b$$

$$\frac{1}{k_2 \cdot 11,1706881^2} = 0,074545$$
$$k_2 = \frac{1}{0,074545 \times 11,1706881^2}$$
$$k_2 = 0,10750326$$

## Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian



Karbon kulit salak  
setelah dikarbonisasi



Karbon kulit salak  
setelah diayak



Karbon teraktivasi  
KOH 20%



KTK direndam NaOH  
1M



KTK sebelum dioven



KTK setelah dioven



KTK yang sudah dinetralkan pH-nya

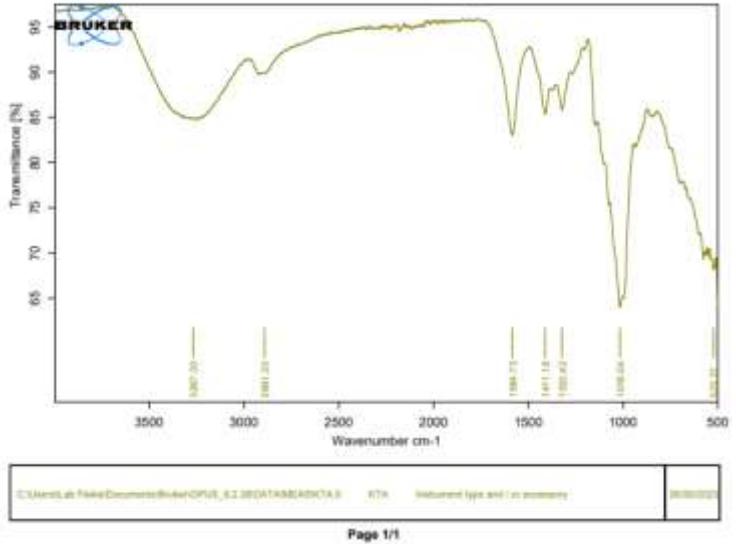


Uji adsorpsi ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  oleh

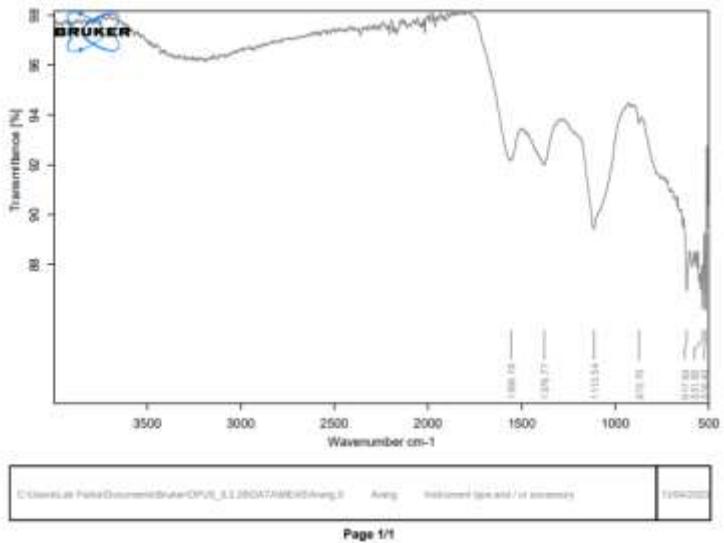
## Lampiran 6 Hasil Karakterisasi Penelitian

### 1. Hasil Karakterisasi FT-IR

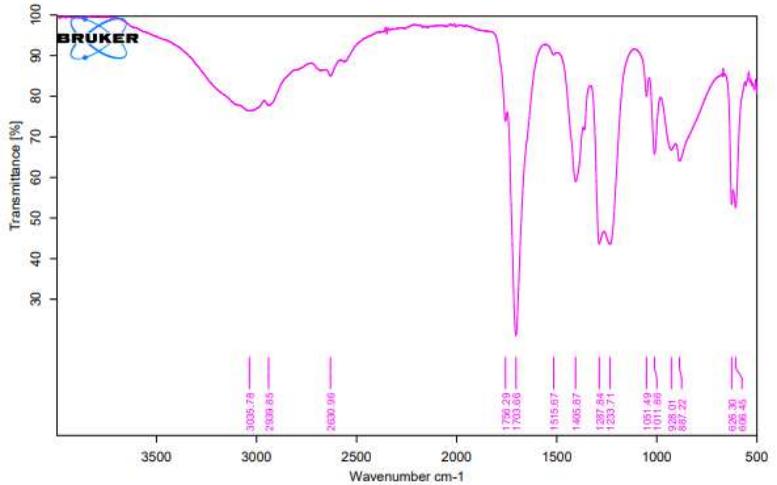
#### a). Kitosan



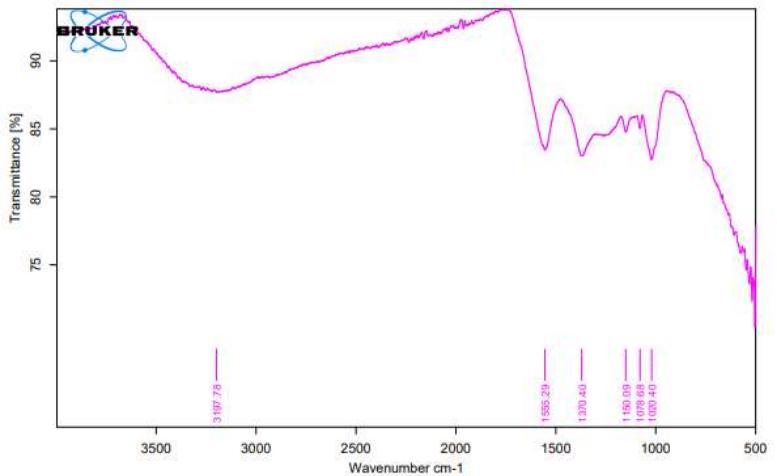
#### b). Karbon sebelum aktivasi



c). Karbon sesudah aktivasi



d). Komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-  
kitosan teraktivasi KOH 20%



2. Hasil Karakterisasi SAA BET  
a). Karbon sebelum aktivasi

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA					
Jl. Kalitengah Km 14.5, Siemban Negeri, Jakarta LABORATORIUM TERPADU QuantaChrome TouchVile v1.22					
<b>Report date:</b>	Thu Mar 9 2023	<b>Operator:</b>	Yusuf		
<b>Filename:</b>	00980123_1.qcd-Physico				
Analysis Information					
<b>Sample</b>	ID 0098_1	<b>Weight</b>	0.0738g		
<b>Description</b>	KSA				
<b>Analysis</b>	(882a2e1b-0d81-4706-b09e-4be23ddcfaaf1)				
<b>Data ID</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2023.03.09	<b>Duration</b>	53.3min
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Firmware</b>	1.07		
<b>Instrument</b>	Si 1 on NQVA touch 4IX [s/n:179170510001]				
<b>Comments</b>	description of sample				
<b>Ambient Temp.</b>	21.53°C	<b>Void Volume Mode</b>	NQVA mode	<b>Cell ID</b>	41
<b>Cell Type</b>	9mm w/o rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec	<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>	Name Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g/mol	<b>Cross Section Area</b>	16.2Å <sup>2</sup> /mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05	<b>Bath Temperature</b>	77.35K		
<b>Degas information</b>	Time 2.0min	<b>Temp</b>	200.000000min		
Data Reduction Parameters					
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>EFF. Molec. Diameter</b>	0Å		
<b>EFF. Cell Diameter</b>	0mm				
<b>Adsorbate Model</b>	Name Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g/mol	<b>Cross Section Area</b>	16.2Å <sup>2</sup> /mol
	Bath Temperature 77.35K				
BET Multi-point BET results					
	<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption			
	<b>Slope</b>	1461.58			
	<b>Intercept</b>	-56.2063			
	<b>Correlation coeff., r</b>	0.944620			
	<b>C constant</b>	25.0039			
	<b>Surface area</b>	2.478 m <sup>2</sup> /g			
Table - BET Multi-point BET					
<b>Relative Pressure</b>	<b>Volume Adsorbed @STP</b>	<b>1 / [ W(P/Po) - 1 ]</b>			
	<b>cc/g</b>				
0.050412	-0.995321	-42.6876			
0.0910752	-0.480212	167.0205			
0.132966	0.901743	136.0729			
0.174285	0.902448	187.1365			
0.216523	0.930384	240.2475			
0.259840	0.893873	314.2482			
0.299571	0.867508	394.4677			

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERRADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Thu Mar 9 2023  
 Filename: 00980123\_1.qcu.PhysIso Operator: Yusuf

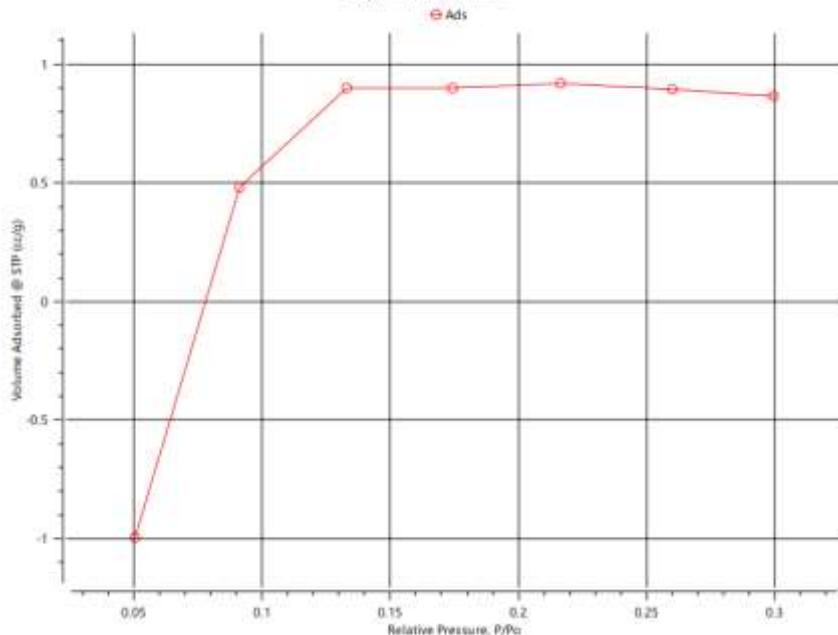
### Analysis Information

<b>Sample</b>	ID 0098_1	<b>Weight</b>	0.0730g
	Description AIA		
<b>Analysis</b>	Data ID (182a2e1b-0d61-4106-b99e-4be23dcef41)	<b>Date</b>	2023.03.09
	Operator Yusuf	<b>Duration</b>	53.3min
	Instrument Se 1 on NOVA touch 4LX (S/N: 170170510001)	<b>Firmware</b>	1.07
	Comments description of sample	<b>Cell ID</b>	41
	Ambient Temp. 21.53 °C	<b>Po Mode</b>	Continuous
	Cell Type 9mm w/o rod	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
		<b>Thermal Delay</b>	300sec
<b>Adsorbate</b>	Name Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 g/mol
	Non-ideality 6.580000e-05 v/v	<b>Bath Temperature</b>	77.35 K
<b>Degas information</b>		<b>Cross Section Area</b>	16.21 cm <sup>2</sup>
	Time 2.0 min	<b>Temp</b>	200.000000 °C

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b> yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b> 0 Å
<b>Eff. Cell Diameter</b> 0 mm	

### Graph - Isotherm Isotherm



b). Karbon setelah aktivasi

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA				
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta LABORATORIUM TERPADU Quantachrome TouchWin v1.22				
<b>Report date:</b>	Thu Apr 12 2023	<b>Operator:</b>	Yusuf	
<b>Filename:</b>	04440323_1.qtda-Physiko			
Analysis Information				
<b>Sample</b>	<b>ID</b> 0444_1	<b>Weight</b>	0.0617g	
<b>Description</b>	Sampel			
<b>Analysis</b>	<b>Data ID</b> [77e618a6-13aa-4102-8b73-d756b09200e6]	<b>Date</b>	2023.04.13	
<b>Operator</b>	Yusuf		<b>Duration</b>	74.0min
<b>Instrument</b>	5i.2 on NQWA touch 4LX [i/n:1701705.10301]		<b>Firmware</b>	1.07
<b>Comments</b>	description of sample			
<b>Ambient Temp.</b>	29.55°C	<b>Void Volume Mode</b>	NQWA mode	
<b>Cell Type</b>	3mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300min	
<b>Adsorbate</b>	<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g/mol	
<b>Non-ideality</b>	6.58000e-05	<b>Bath Temperature</b>	77.35°C	
<b>Degas information</b>	<b>Time</b> 2.0min	<b>Temp</b>	200.000000°C	
Data Reduction Parameters				
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0Å	
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0mm			
<b>Adsorbate Model</b>	<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g	
<b>Bath Temperature</b>	77.35°C	<b>Cross Section Area</b>	16.2e-16m <sup>2</sup>	
BET Multi-point BET results				
<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption			
<b>Slope</b>	233.354			
<b>Intercept</b>	50.1218			
<b>Correlation coeff., r</b>	0.964894			
<b>C constant</b>	3.65574			
<b>Surface area</b>	12.285 m <sup>2</sup> /g			
Table - BET Multi-point BET				
<b>Relative Pressure</b>	<b>Volume Adsorbed @STP</b>	<b>1 / [ W(P/Po) - 1 ]</b>		
	<b>cc/g</b>			
0.0484202	0.684406	59.4865		
0.152749	1.53189	84.1607		
0.248140	2.70855	97.4927		
0.349945	3.17045	135.2548		



**Report date:** Thu Apr 13 2023      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 04440323\_1.qci-PhysIso

Analysis Information

<b>Sample ID</b>	0444_1	<b>Weight</b>	0.0617g
<b>Description</b>	Sampel		
<b>Analysis Data ID</b>	(77e818a6-13aa-4102-8b73-d75db0f200e0)		
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2023.04.13
<b>Instrument</b>	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n 170170510001]		
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	20.55 °C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 sec
<b>Adsorbate</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 g/mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05	<b>Bath Temperature</b>	77.35 °C
<b>Degas Information</b>		<b>Temp</b>	200.000000 °C
<b>Time</b>	2.0 min		

**Duration** 74.0 min  
**Firmware** 1.07  
**Cell ID** Z2  
**Po Mode** Continuous  
**Cross Section Area** 16.2 μm<sup>2</sup>

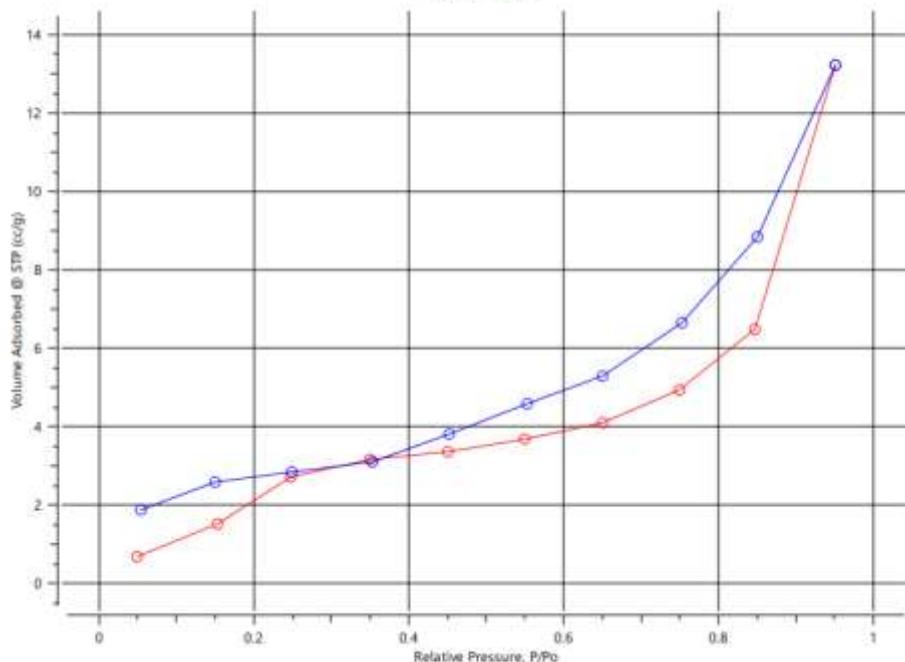
**Thermal Transpiration** yes  
**Eff. Cell Diameter** 0 mm

Data Reduction Parameters

**Eff. Molec. Diameter** 0 Å

Graph - Isotherm Isotherm

● Ads    ● Des



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU  
Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Thu Apr 13 2023      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 04440323\_1.qcuPhysico

Analysis Information

<b>Sample ID</b>	0444_1	<b>Weight</b>	0.0617g
<b>Description</b>	Sample		
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	(77e818a6-13aa-4102-8b73-d75db0f206e0)	<b>Date</b>	2023.04.13
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Duration</b>	74.0min
<b>Instrument</b>	Si 2 on NOVA touch 4LX [u/m:170170510001]	<b>Firmware</b>	1.07
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	20.55°C	<b>Void Volume</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec
<b>Adsorbate</b>		<b>Cell ID</b>	22
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Non-Ideality</b>	6.580000e-03 [100]	<b>Molecular Weight</b>	28.013g/mol
<b>Degas Information</b>		<b>Bath Temperature</b>	77.35°C
<b>Time</b>	2.0min	<b>Cross Section Area</b>	16.2x [10000]
		<b>Temp</b>	200.000000°C

Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b> yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b> 0µ
<b>Eff. Cell Diameter</b> 0mm	
<b>Thickness Method</b> deBoer	<b>Moving Pt. Average</b> off
<b>P-tags below 0.35</b> included	
<b>Adsorbate Model</b>	
<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.013g
<b>Bath Temperature</b> 77.35°C	<b>Cross Section Area</b> 16.2x [10000]

BJH Pore Size Distribution Description results

**Surface Area** 6.89945 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.0184305 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 2.05711 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Description

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
2.05711	1.659024e-03	1.605089e+00	3.354582e-03	3.261449e+00	1.581349e-02	1.527446e+01
2.66240	2.918914e-03	2.557604e+00	1.764905e-03	1.325796e+00	1.075362e-02	8.078126e+00
3.67013	5.785345e-03	4.119638e+00	2.210053e-03	1.204347e+00	1.848065e-02	1.007085e+01
5.67560	1.028947e-02	5.706825e+00	1.659614e-03	3.848238e-01	2.126900e-02	7.494886e+00
13.6522	1.843046e-02	6.899452e+00	6.149139e-04	9.008274e-02	1.770636e-02	2.593919e+00

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kalijurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU

Quantachrome  
TECHNOLOGY

Quantachrome TouchWin v1.22

Report date: Thu Apr 13 2023      Operator: Yusuf  
Filename: 04440323\_1.qcu/PhysIso

Analysis Information			
<b>Sample</b>	ID D444_1	<b>Weight</b>	0.0617g
	Description Sampel		
<b>Analysis</b>	Data ID (77e818a6-13aa-4102-8b71-d75db0f200e0)	<b>Duration</b>	74.0min
	Operator Musuf	<b>Date</b>	2023.04.13
	Instrument St 2 on NOVA touch 4LX (s/n: 170170510001)	<b>Firmware</b>	1.07
	Comments description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	20.55°C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec
<b>Adsorbate</b>	Name Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g/mol
	Non-ideality 6.580000e-05 1/psi	<b>Bath Temperature</b>	77.35°C
<b>Degas information</b>	Time 2.0min	<b>Temp</b>	200.000000°C
		<b>Cross Section Area</b>	16.24mm <sup>2</sup>

Data Reduction Parameters			
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0Å
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0mm	<b>Moving Pt. Average</b>	off
<b>Thickness Method</b>	deBoer		
<b>P-tags below 0.35</b>	included		
<b>Adsorbate Model</b>	Name Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g
	Bath Temperature 77.35°C	<b>Cross Section Area</b>	16.24mm <sup>2</sup>

BJH Pore Size Distribution Adsorption results

**Surface Area** 4.48666 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.0178534 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 3.63481 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm <sup>3</sup> g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm <sup>3</sup> g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
2.04665	4.646075e-04	3.953842e-01	8.302554e-04	8.113331e-01	3.894084e-03	3.805334e+00
2.85643	8.865380e-04	7.582263e-01	6.581574e-04	4.955201e-01	4.000103e-03	3.011637e+00
3.63481	2.420317e-03	1.662067e+00	1.252424e-03	6.891282e-01	1.038220e-02	5.712658e+00
5.39033	5.388132e-03	2.663898e+00	1.104761e-03	1.952397e-01	1.394269e-02	4.988142e+00
13.6027	1.785339e-02	4.486656e+00	9.345518e-04	1.174067e-01	2.675329e-02	3.933322e+00

c). Komposit karbon aktif kulit salak teraktivasi KOH-kitosan

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA					
Jl. Kalitirang Km 14.5, Sleman Yogyakarta LABORATORIUM TERPADU Quantachrome TouchWin v1.22					
<b>Report date:</b>	Mon May 29 2023	<b>Operator:</b>	Yusuf		
<b>Filename:</b>	04730423_1.qcp/Physico				
Analysis Information					
<b>Sample ID</b>	0473_1	<b>Weight</b>	0.0701g		
<b>Description</b>	KTK				
<b>Analysis</b>					
<b>Data ID</b>	(73fe4f2a-55f7-4767-aab7-41bf99b6b504)	<b>Date</b>	2023.05.26	<b>Duration</b>	82.7min
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2023.05.26	<b>Firmware</b>	1.07
<b>Instrument</b>	5t 3 on NOVA touch 4LX (s/n: T201705103001)	description of sample			
<b>Ambient Temp.</b>	21.63°C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode	<b>Cell ID</b>	23
<b>Cell Type</b>	Iron with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec	<b>Ps Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>					
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g/mol	<b>Cross Section Area</b>	16.2nm <sup>2</sup>
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05	<b>Bath Temperature</b>	77.35°C		
<b>Degas Information</b>					
<b>Time</b>	2.0min	<b>Temp</b>	200.000000°C		
Data Reduction Parameters					
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0.4		
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0.0mm				
<b>Adsorbate Model</b>					
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.0134g	<b>Cross Section Area</b>	16.2nm <sup>2</sup>
<b>Bath Temperature</b>	77.35°C				
BET Multi-point BET results					
<b>Adsorption</b>			<b>Desorption</b>		
<b>Isotherm Branch</b>			<b>Slope</b>	3973.67	
<b>Intercept</b>			<b>Correlation coeff., r</b>	0.994997	
<b>C constant</b>			<b>Surface area</b>	0.925 m <sup>2</sup> /g	
Table - BET Multi-point BET					
<b>Relative Pressure</b>	<b>Volume Adsorbed @ STP</b>	<b>1 / [ W(P/Po) - 1 ]</b>			
	<b>cc/g</b>				
0.0494531	-1.21604	-34.2313			
0.250882	0.312118	858.5218			
0.350403	0.379206	1138.1460			

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU



Quantachrome TouchWin v1.22

**Report date:** Mon May 29 2023      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 04730423\_1.qcuPhysIso

Analysis Information

<b>Sample ID</b>	0473_1	<b>Weight</b>	0.0701g
<b>Description</b>	KTK		
<b>Analysis Data ID</b>	[73fe4f2a-55f7-4767-aab7-41bf99b6b504]		
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2023.05.26
<b>Instrument</b>	SI 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.63 °C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 sec
<b>Adsorbate</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 g/mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/bar	<b>Bath Temperature</b>	77.35 K
<b>Degassing Information</b>		<b>Cross Section Area</b>	16.2 A <sup>2</sup> /mol
<b>Time</b>	2.0 hour	<b>Temp</b>	200.000000 °C

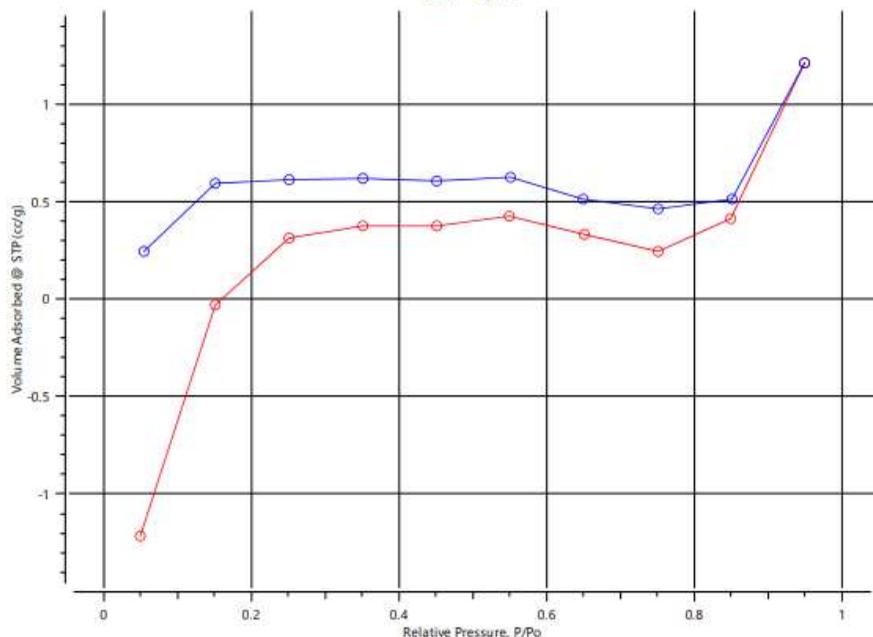
**Thermal Transpiration**    yes  
**Eff. Cell Diameter**        0 mm

Data Reduction Parameters

**Eff. Molec. Diameter**    0 Å

Graph - Isotherm Isotherm

● Ads    ● Des



# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
 LABORATORIUM TERPADU  
 Quantachrome TouchWin v1.22



**Report date:** Mon May 29 2023      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 04730423\_1.qcuPhysiso

### Analysis Information

<b>Sample</b>	<b>ID</b> 0473_1	<b>Weight</b> 0.0701g	
	<b>Description</b> KTK		
<b>Analysis</b>	<b>Data ID</b> (73fe4f2a-55f7-4767-aab7-41bf99b6b504)		
	<b>Operator</b> Yusuf	<b>Date</b> 2023.05.26	<b>Duration</b> 82.7min
	<b>Instrument</b> St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		<b>Firmware</b> 1.07
	<b>Comments</b> description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.63 °C	<b>Void Volume Mode</b> NOVA mode	<b>Cell ID</b> 23
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b> 300 sec	<b>Por Mode</b> Continuous
<b>Adsorbate</b>	<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.0134g/mol	<b>Cross Section Area</b> 16.2A <sup>2</sup> /mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/min	<b>Bath Temperature</b> 77.35K	
<b>Degas information</b>	<b>Time</b> 2.0 hours	<b>Temp</b> 200.000000 °C	

### Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b> yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b> 0A
<b>Eff. Cell Diameter</b> 0mm	
<b>Thickness Method</b> deBoer	<b>Moving Pt. Average</b> off
<b>P-tags below 0.35</b> included	
<b>Adsorbate Model</b>	<b>Cross Section Area</b> 16.2A <sup>2</sup> /mol
<b>Name</b> Nitrogen	
<b>Bath Temperature</b> 77.35K	

### BJH Pore Size Distribution Adsorption results

**Surface Area** 0.431283 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.0018983 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 2.04718 nm

### Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
2.04718	1.029496e-04	1.005769e-01	2.142957e-04	2.093568e-01	1.005496e-03	9.823226e-01
2.65752	1.029496e-04	1.005769e-01	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.65850	1.029496e-04	1.005769e-01	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.63831	4.162632e-04	2.117143e-01	1.147706e-04	4.071102e-02	1.460454e-03	5.180467e-01
13.4996	1.898304e-03	4.312826e-01	1.140676e-04	1.689942e-02	3.252652e-03	4.818889e-01

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta  
LABORATORIUM TERPADU



Quantachrome TouchWin v1.22

**Report date:** Mon May 29 2023      **Operator:** Yusuf  
**Filename:** 04730423\_1.qcuPhysiso

Analysis Information

<b>Sample</b>	<b>ID</b> 0473_1	<b>Weight</b>	0.0701g
<b>Description</b>	KTK		
<b>Analysis</b>	<b>Data ID</b> (73fe4f2a-55f7-4767-aab7-41bf99b6b504)	<b>Date</b>	2023.05.26
<b>Operator</b>	Yusuf		
<b>Instrument</b>	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.63°C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 µs
<b>Adsorbate</b>	<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013g/mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 (unit)	<b>Bath Temperature</b>	77.35K
<b>Regas information</b>	<b>Time</b> 2.0 (hours)	<b>Temp</b>	200.000000°C
<b>Cell ID</b>	23		
<b>Por Mode</b>	Continuous		
<b>Cross Section Area</b>	16.2 A <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>		

Data Reduction Parameters

<b>Thermal Transpiration</b> yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b> 0A
<b>Eff. Cell Diameter</b> 0mm	
<b>Thickness Method</b> deBoer	
<b>P-tags below 0.35</b> included	<b>Moving Pt. Average</b> off
<b>Adsorbate Model</b>	<b>Cross Section Area</b> 16.2 A <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>
<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.013g
<b>Bath Temperature</b> 77.35K	

BJH Pore Size Distribution Desorption results

**Surface Area** 0.237944 m<sup>2</sup>/g  
**Pore Volume** 0.00138507 cc/g  
**Pore radius Dv(r)** 13.5427 nm

Table - BJH Pore Size Distribution Desorption

radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m <sup>2</sup> /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m <sup>2</sup> /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m <sup>2</sup> /g
2.05363	2.554276e-05	2.487568e-02	5.261280e-05	5.123876e-02	2.476253e-04	2.411583e-01
2.65117	2.554276e-05	2.487568e-02	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.64193	2.554276e-05	2.487568e-02	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.68366	8.573522e-05	4.605655e-02	2.140894e-05	7.533500e-03	2.743716e-04	9.654745e-02
13.5427	1.385074e-03	2.379445e-01	1.006734e-04	1.486757e-02	2.885307e-03	4.261057e-01

### 3. Hasil Karakterisasi AAS

**Thermo**  
SCIENTIFIC

Operator Name: MUCHS  
Results File: C:\SOLAAR\DATA\Logan GUAJ Fe Suite BLR



Report Date: 19/05/2023 15:05:23

Method: LUI Fe 23622  
Autosampler: None  
Use SPI: No

#### General Parameters

Operator: MUCHS

Instrument Mode: Flame  
Dilution: None

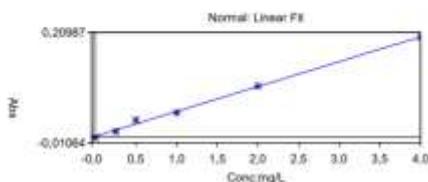
Analysis Name: Analysis 1 19/05/2023  
Operator Name: MUCHS

Spectrometer: ICE 3000 AA05194702 v1.30

$Y = 0.04966x + 0.0017$   
Fit: 0.9670  
Characteristic Conc: 0.5886

#### Analysis Details

#### Solution Results - Fe



Sample ID	Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Fe Blank	-0.001	25.6	0.0000	
	1		Background: 0.000	19/05/2023 14:45:13
	2		Background: 0.001	19/05/2023 14:45:18
3	-0.001		Background: 0.001	19/05/2023 14:45:22
Fe Standard 1	0.011	1.1	0.2000	
	1		Background: 0.001	19/05/2023 14:45:55
	2		Background: 0.001	19/05/2023 14:45:58
3	0.011		Background: 0.001	19/05/2023 14:46:04
Fe Standard 2	0.034	1.1	0.5000	
	1		Background: 0.002	19/05/2023 14:46:37
	2		Background: 0.002	19/05/2023 14:46:41
3	0.035		Background: 0.002	19/05/2023 14:46:45
Fe Standard 3	0.049	0.9	1.0000	
	1		Background: 0.002	19/05/2023 14:47:11
	2		Background: 0.002	19/05/2023 14:47:16
3	0.048		Background: 0.002	19/05/2023 14:47:20
Fe Standard 4	0.102	0.5	2.0000	
	1		Background: 0.003	19/05/2023 14:47:46
	2		Background: 0.003	19/05/2023 14:47:50
3	0.101		Background: 0.003	19/05/2023 14:47:54
Fe Standard 5	0.200	0.5	4.0000	
	1		Background: 0.004	19/05/2023 14:48:17
	2		Background: 0.004	19/05/2023 14:48:21
3	0.189		Background: 0.004	19/05/2023 14:48:25
Fe ATK	0.005	2.0	0.0615	0.0615
	1		Background: 0.001	19/05/2023 14:57:21
	2		Background: 0.001	19/05/2023 14:57:25
3	0.005		Background: 0.001	19/05/2023 14:57:29
Fe KTK pH 1 10x	0.011	2.2	0.1939	0.1939
	1		Background: 0.000	19/05/2023 14:59:36
	2		Background: 0.001	19/05/2023 14:59:40
3	0.011		Background: 0.001	19/05/2023 14:59:45

Operator Name: MUCHIS

Report Date: 19/05

Results File: C:\SOLAAR\MDATA\Logan Cui\UJ Fe Sols.SLR

## Solution Results - Fe

Sample ID	Signal	Std	Conc	Corrected Conc
	Abs	%	mg/L	mg/L
<b>Fe KTK pH 6 10x</b>	<b>0,056</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0847</b>	<b>1,0847</b>
1	0,056		Background: 0,003	19/05/2023 14:50:41
2	0,056		Background: 0,003	19/05/2023 14:50:45
3	0,055		Background: 0,003	19/05/2023 14:50:49
<b>Fe KTK pH 2</b>	<b>0,005</b>	<b>3,0</b>	<b>0,0721</b>	<b>0,0721</b>
1	0,005		Background: 0,001	19/05/2023 15:01:31
2	0,005		Background: 0,001	19/05/2023 15:01:35
3	0,005		Background: 0,001	19/05/2023 15:01:40
<b>Fe ATA 10x</b>	<b>0,001</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0194</b>	<b>0,0194</b>
1	0,001		Background: 0,002	19/05/2023 14:51:53
2	0,001		Background: 0,002	19/05/2023 14:51:58
3	0,001		Background: 0,002	19/05/2023 14:52:02
<b>Fe KTK pH 3</b>	<b>0,001</b>	<b>18,9</b>	<b>0,0124</b>	<b>0,0124</b>
1	0,001		Background: 0,002	19/05/2023 15:04:49
2	0,001		Background: 0,001	19/05/2023 15:04:54
3	0,001		Background: 0,001	19/05/2023 15:04:58
<b>Fe KTK pH 4 10x</b>	<b>0,011</b>	<b>2,1</b>	<b>0,1882</b>	<b>0,1882</b>
1	0,011		Background: 0,002	19/05/2023 14:53:21
2	0,011		Background: 0,002	19/05/2023 14:53:26
3	0,011		Background: 0,002	19/05/2023 14:53:30
<b>Fe KTK pH 5 10x</b>	<b>0,040</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7750</b>	<b>0,7750</b>
1	0,040		Background: 0,003	19/05/2023 14:54:02
2	0,040		Background: 0,003	19/05/2023 14:54:06
3	0,040		Background: 0,002	19/05/2023 14:54:11
<b>Fe KTK Fe 5 m</b>	<b>0,067</b>	<b>0,4</b>	<b>1,3394</b>	<b>1,3394</b>
1	0,067		Background: 0,003	09/06/2023 09:34:45
2	0,067		Background: 0,003	09/06/2023 09:34:49
3	0,067		Background: 0,002	09/06/2023 09:34:53
<b>Fe KTK Fe 10 m</b>	<b>0,015</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2843</b>	<b>0,2843</b>
1	0,015		Background: 0,002	09/06/2023 09:35:26
2	0,015		Background: 0,002	09/06/2023 09:35:31
3	0,015		Background: 0,002	09/06/2023 09:35:35
<b>Fe KTK Fe 15 m</b>	<b>0,010</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1674</b>	<b>0,1674</b>
1	0,010		Background: 0,002	09/06/2023 09:36:08
2	0,010		Background: 0,002	09/06/2023 09:36:12
3	0,010		Background: 0,001	09/06/2023 09:36:16

SOLAAR Data Station V11,10

P

## SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS

Report Date: 09/06

Results File: C:\SOLAAR\MDATA\Logan Cui\UJ Fe Sols 9523.SLR

## Solution Results - Fe

Sample ID	Signal	Std	Conc	Corrected Conc
	Abs	%	mg/L	mg/L
<b>Fe KTK Fe 30 m</b>	<b>0,018</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3263</b>	<b>0,3263</b>
1	0,018		Background: 0,002	09/06/2023 09:36:59
2	0,018		Background: 0,002	09/06/2023 09:37:03
3	0,018		Background: 0,002	09/06/2023 09:37:07
<b>Fe KTK Fe 60 m</b>	<b>0,021</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4077</b>	<b>0,4077</b>
1	0,022		Background: 0,002	09/06/2023 09:37:44
2	0,022		Background: 0,002	09/06/2023 09:37:48
3	0,021		Background: 0,002	09/06/2023 09:37:53

## RIWAYAT HIDUP

### A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Sulistyaningsih
2. Tempat, Tgl. Lahir : Banjarnegara, 14 Agustus 2001
3. Alamat Rumah : Jl. Tanjungtirta, Desa Tangkisan  
Rt 07/01, Kec. Punggelan, Kab.  
Banjarnegara
4. No. Hp : 081328478419
5. E-mail : [uyisitiyamd@gmail.com](mailto:uyisitiyamd@gmail.com)

### B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal :
  - a. SDN 4 Petuguran 2007-2013
  - b. SMP 2 Punggelan 2013-2016
  - c. SMA Al-Hikmah 2016-2019
  - d. UIN Walisongo Semarang 2019-2023