

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ARANG  
AKTIF TEMPURUNG KELAPA TERMODIFIKASI  
*CETYL TRIMETHYL AMMONIUM BROMIDA*  
UNTUK ADSORPSI ION Cr(VI)**

**SKRIPSI**

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



Oleh: **Khofifah Dwi Safitri**

NIM : 1908036039

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO  
SEMARANG  
**2024**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ARANG  
AKTIF TEMPURUNG KELAPA TERMODIFIKASI  
*CETYL TRIMETHYL AMMONIUM BROMIDA*  
UNTUK ADSORPSI ION Cr(VI)**

**SKRIPSI**

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

**Oleh: Khofifah Dwi Safitri  
NIM : 1908036039**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO  
SEMARANG  
2024**

## PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Khofifah Dwi Safitri  
NIM : 198036039  
Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ARANG AKTIF  
TEMPURUNG KELAPA TERMODIFIKASI *CETYL TRIMETHYL  
AMMONIUM BROMIDA* UNTUK ADSORPSI ION Cr(VI)**

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

Semarang, 27 Desember 2024

Pembuat Pernyataan,



1000  
METERAL  
TEMPEL  
8A3BAMX122512131

**Khofifah Dwi Safitri**

**NIM : 1908036039**



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang  
Telp.024-7601295 Fax.7615387

### PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Sintesis Dan Karakterisasi Arang Aktif  
Tempurung Kelapa Termodifikasi *Cetyl Trimethyl  
Ammonium Bromida* Untuk Adsorpsi Ion Cr(VI)

Penulis : **Khofifah Dwi Safitri**

NIM : 1908036039

Jurusan : Kimia


Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji  
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat  
diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana  
dalam Ilmu Kimia.


Semarang, 30 Desember 2024

### DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Sekretaris Sidang

  
Dr. Ervin Tri Suryandari, S. Si, M. Si  
NIP : 197407162009122001


  
Zidni Azizati, M. Sc  
NIP : 19011172018012001

Penguji I


Penguji II

  
Wirda Odaibah, M. Sc  
NIP : 198501042009122001



  
Mulyatun, M. Si  
NIP : 198305042011012008

Pembimbing,

  
Dr. Ervin Tri Suryandari, S. Si, M. Si.  
NIP : 197407162009122001

## NOTA DINAS

Semarang, 27 Desember 2024

Yth. Ketua Program Studi Kimia  
Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Walisongo Semarang

*Assalamu'alaikum wr, wb.*

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

Judul : Sintesis Dan Karakterisasi Arang Aktif  
Tempurung Kelapa Termodifikasi *Cetyl Trimethyl  
Ammonium Bromida* Untuk Adsorpsi Cr(VI)

Penulis : **Khofifah Dwi Safitri**

NIM : 1908036039

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

*Wassalamualaikum wr, wb.*

Pembimbing,



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

NIP : 197407162009122001

## ABSTRAK

Sintesis dan karakterisasi arang tempurung kelapa termodifikasi surfaktan CTAB untuk proses adsorpsi ion Cr(VI) berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik, kapasitas kemampuan adsorben, dan kinetika, isoterm adsorpsi anion Cr(VI). Arang tempurung kelapa murni, teraktivasi  $H_3PO_4$  40%, termodifikasi CTAB dikarakterisasi menggunakan FTIR, SAA, dan uji anion Cr(VI) dilakukan dengan UV-VIS. Data karakterisasi FTIR muncul gugus baru P-O, P-O-C, P-OOH pada  $1030\text{ cm}^{-1}$  dan  $CH_2\text{-R}/CH_3\text{-R}$  dan  $N\text{-(CH}_3)_3$  pada  $2905\text{-}2867\text{ cm}^{-1}$  dan  $1558\text{ cm}^{-1}$  yang mengindikasikan penambahan CTAB. Penambahan CTAB menurunkan luas permukaan namun meningkatkan kemampuan adsorpsi, dimana terjadinya penurunan luas permukaan dari  $373.545\text{ m}^2/\text{g}$  (sebelum) menjadi  $331.286\text{ m}^2/\text{g}$  (sesudah). Modifikasi adsorben teraktivasi dengan CTAB (AAT + 1,84 CTAB) mampu mengadsorpsi anion Cr(VI) 99% dari  $100\text{ mg/L}$  menjadi  $0,9\text{ mg/L}$ . Model kinetika dan isoterm adsorpsi cenderung mengikuti *pseudo second order* dan isoterm *Langmuir*.

**Kata Kunci:** Arang Tempurung Kelapa, Adsorben, Anion Cr(VI), Adsorpsi, Modifikasi Adsorben dengan CTAB

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

*Alhamdulillah* *Alamin*, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat, Ridha dan hidayah-Nya yang telah dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir (skripsi) berjudul "Sintesis Dan Karakterisasi Arang Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromida* Untuk Adsorpsi Ion Cr(VI)." Sholawat serta salam tidak lupa di panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW dengan harapan semoga mendapat syafaat kelak di hari Kiamat, *Aamiin*.

Penulis sampaikan ucapan terima kasih dengan segala kerendahan hati dan segala hormat untuk semua pihak yang telah memberikan kontribusinya, baik ilmu pengetahuan, moral maupun materil secara langsung atau tidak langsung selama melakukan penyusunan skripsi dari awal hingga selesai. Penulis sadar bahwa skripsi yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu Program Studi Kimia ini tidak akan terwujud tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih sebagai bentuk apresiasi kepada :

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag., selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.

2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Ibu Mulyatun, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
4. Ibu Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si., selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan semangat, bimbingan, masukan dan koreksi kepada penulis hingga akhir.
5. Bapak Kustomo, M.Sc., selaku dosen wali studi yang selalu memberikan semangat serta nasehat kepada penulis dan Ibu Mustita Hafshah, M.Si., selaku dosen wali studi kedua.
6. Dosen dan staff di lingkungan UIN Walisongo Semarang, khususnya program studi kimia yang telah membantu, memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah dan selama penelitian skripsi.
7. Kedua orang tua penulis tercinta, kakak serta keluarga yang senantiasa memberikan doa dan dukungan, baik moril maupun materil yang luar biasa sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah dengan lancar.
8. Teresa Sevi, Pradipta Ramadhan (Alm), Maulana Yusuf, Salma Salsabila, Adinda Geulis, selaku sahabat yang selalu membangkitkan motivasi, keyakinan, dukungan sehingga penulis kembali melanjutkan penyusunan skripsi hingga selesai.

9. Clarisa Dwi, Aryzka Maharani yang selalu menemani, memberikan dukungan, bantuan dari awal perkuliahan, serta Ika Kurnia, Metha Nur yang selalu menemani penulis selama melakukan penelitian hingga selesainya skripsi.
10. Teman – teman jurusan Kimia angkatan 2019 yang telah menemani serta membantu selama masa perkuliahan.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan penulis, hingga skripsi terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas kesalahan yang mungkin ditemukan didalamnya. Selain itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk membantu penulis di masa depan. Semoga tujuan dari penulisan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, *Aamiin Yaa Robbal Alamin*.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Semarang, 17 Desember 2024  
Penulis,

**Khofifah Dwi Safitri**  
NIM : 1908036039

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>PENGESAHAN</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>NOTA PEMBIMBING</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiv</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>11</b>
A. Deskripsi Teori	11
1. Kromium (Cr)	11
2. Tempurung Kelapa	15
3. Adsorben	18
4. Arang Aktif	19
5. Aktivasi Arang Aktif	21
6. Modifikasi Arang Aktif	23
7. Surfaktan	24
8. Adsorpsi	28
9. Isoterm Adsorpsi	33
10. Kinetika Adsorpsi	35
11. Instrumen Karakterisasi	36
B. Kajian Pustaka	42
C. Hipotesis Penelitian	45
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	<b>47</b>

A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	47
B. Alat dan Bahan .....	47
C. Metode .....	48
1. Preparasi Tempurung Kelapa (AA) .....	48
2. Aktivasi Arang Tempurung Kelapa (AAT) .....	49
3. Modifikasi Arang Tempurung Kelapa (AAM) .....	49
4. Karakterisasi Adsorben Tempurung Kelapa .....	50
5. Aplikasi Adsorpsi.....	53
6. Optimasi Kondisi Adsorpsi ion Cr(VI) .....	53
7. Penentuan Kapasitas Adsorpsi ion Cr(VI) dengan UV-Vis .....	55
8. Penentuan Isoterm Adsorpsi.....	57
9. Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	57
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>59</b>
A. Preparasi Arang Aktif Tempurung Kelapa (AA) dan Aktivasi AA (AAT).....	59
B. Modifikasi Arang Tempurung Kelapa (AAM).....	67
C. Karakterisasi Arang Aktif.....	71
D. Fourier Transform Infra-Red (FTIR) .....	75
E. Surface Area Analyzer (SAA) .....	81
F. Adsorpsi .....	86
G. Adsorpsi Awal Adsorben Terhadap Penyerapan Ion Logam Cr(VI).....	90
H. Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Ion Cr(VI) oleh Adsorben AAT + 1,84 CTAB.....	94
I. Konsentrasi Optimum dan Isoterm Adsorpsi .....	99
J. Waktu Kontak Optimum dan Kinetika Adsorpsi .....	106
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>113</b>
A. Kesimpulan .....	113
B. Saran.....	114
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>117</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>133</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kromium	12
Gambar 2.2	Rentang pH untuk $H_2O$ , $OH^-$ dan $O^{2-}$	14
Gambar 2.3	Diagram spesiasi pH dalam air	15
Gambar 2.4	Tempurung Kelapa Pasar Mangkang	16
Gambar 2.5	Ilustrasi Surfaktan	25
Gambar 2.6	Struktur CTAB	26
Gambar 2.7	Proses Adsorpsi dan Desorpsi	29
Gambar 2.8	Hasil FTIR	37
Gambar 3.1	Kurva Kalibrasi	56
Gambar 4.1	Tahap Preparasi Tempurung Kelapa Pencucian, Pengeringan, Karbonisasi	60
Gambar 4.2	Mekanisme Reaksi Aktivasi Arang dengan $H_3PO_4$	64
Gambar 4.3	Tahap Preparasi Tempurung Kelapa	66
Gambar 4.4	Ilustrasi Surfaktan Berikatan dengan Arang Aktif dan Cr(VI) Teradsorpsi Adsorben	69
Gambar 4.5	Spektrum FTIR AA, AAT, CTAB, AAT + CTAB 1,84	75
Gambar 4.6	Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi $N_2$ AA, AAT, AAT + 1,84 CTAB	84
Gambar 4.7	Mekanisme Reaksi Cr(VI) dengan Diphenilcarbazine	87
Gambar 4.8	Panjang Gelombang Maksimum Cr(VI)	88
Gambar 4.9	Kurva Kalibrasi Larutan Standar Cr(VI)	89
Gambar 4.10	Kapasitas Adsorpsi Setiap Variasi terhadap Ion Cr(VI)	91
Gambar 4.11	Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi ion Cr(VI)	96
Gambar 4.12	Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi ion Cr(VI)	100
Gambar 4.13	Isoterm Langmuir untuk Adsorpsi ion Cr(VI)	102

Gambar 4.14	Isoterm Freundlich untuk Adsorpsi ion Cr(VI)	103
Gambar 4.15	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi ion Cr(VI)	107
Gambar 4.16	Kinetika Pseudo First Order untuk Adsorpsi ion Cr(VI)	108
Gambar 4.17	Kinetika Pseudo Second Order untuk Adsorpsi ion Cr(VI)	109

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh senyawa Cr tingkat oksidasi +3 dan +6	13
Tabel 3.1	Variasi Modifikasi Adsorben Arang Tempurung Kelapa	50
Tabel 4.1	Hasil Proses Pencucian dan Pengeringan Arang Aktif	66
Tabel 4.2	Persentase Kadar Arang Aktif	71
Tabel 4.3	Perbedaan Bilangan Gelombang AA dan AAT	76
Tabel 4.4	Perbandingan Bilangan Gelombang Arang Aktif Termodifikasi CTAB	80
Tabel 4.5	Luas Permukaan, Volume Pori, dan Ukuran Pori AA, AAT, dan AAT + 1,84 CTAB (AAM)	81
Tabel 4.6	Kapasitas Adsorpsi Maksimum Tiap Perlakuan Terhadap Ion Cr(VI)	90
Tabel 4.7	Hasil Data Adsorpsi Optimasi pH	95
Tabel 4.8	Hasil Data Adsorpsi Optimasi Konsentrasi	99
Tabel 4.9	Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir Terhadap Ion Cr(VI) dengan AAT + 1,84 CTAB	104
Tabel 4.10	Hasil Data Adsorpsi Optimasi Waktu Kontak	106
Tabel 4.11	Parameter Kinetika Adsorpsi Ion Cr(VI) dengan AAT + 1,84 CTAB	110
Tabel L2.1	Data Massa Cawan Kosong	142
Tabel L2.2	Data Uji Kadar Air	142
Tabel L2.3	Data Uji Kadar Air, Kadar Abu, dan Zat Volatil	142
Tabel L2.4	Data Pengujian Panjang Gelombang Maksimum Cr(VI)	143
Tabel L2.5	Data Pengujian Larutan Standar Cr(VI)	145
Tabel L2.6	Data Uji Adsorpsi Awal	146
Tabel L2.7	Data Uji Optimasi dengan Variasi pH	146
Tabel L2.8	Data Uji Optimasi dengan Variasi Konsentrasi Awal Cr(VI)	147

Tabel L2.9	Data Uji Optimasi dengan Variasi Waktu Kontak Adsorpsi	148
Tabel L2.10	Data Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich	148
Tabel L2.11	Data Parameter Kinetika Adsorpsi First Order dan Second Order	149
Tabel L3.1	Data Penentuan Isoterm Langmuir	165
Tabel L3.2	Data Penentuan Isoterm Freundlich	167
Tabel L3.3	Data Penentuan Kinetika Adsorpsi Pseudo First Order	169
Tabel L3.4	Data Penentuan Kinetika Adsorpsi Pseudo Second Order	170

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1.	Diagram Alir Cara Kerja	133
Lampiran 2.	Data Hasil Percobaan	142
Lampiran 3.	Perhitungan Analisis Data	150
Lampiran 4.	Dokumentasi Penelitian	172
Lampiran 5.	Hasil Karakterisasi	176

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Peningkatan dan perkembangan sektor industri memberikan kontribusi dalam peningkatan perekonomian masyarakat Indonesia. Namun, limbah sisa produksi (padat, gas, cair) juga akan menimbulkan masalah lingkungan yang berdampak pada makhluk hidup. Hal ini disebabkan limbah cair seperti pada industri elektroplating mengandung krom, perak, emas dalam proses pelapisan (Rosyidan et al., 2022), industri tekstil batik mengandung kadmium, kromium (Cr), timbal dalam pewarnaan (Apriyani, 2018) dan industri penyamakan kulit mengandung kromium sulfat, sisa perendaman yang tidak terserap sepenuhnya (Asmadi et al., 2018).

Andriani dan Hartini (2017) menemukan Cr dalam limbah cair industri batik sebesar 7 mg/L. Elystia, Putri and Muria (2018) dalam limbah cair elektroplating sebesar 27,0198 mg/L. Herdiana, Putri, Budiyono dan Suhartono (2018) menemukan Cr(VI) dalam limbah pelapisan logam sebesar 4,33 mg/L. Penemuan tingginya kandungan Cr, khususnya Cr(VI) melebihi ambang batas seperti penelitian tersebut dalam badan lingkungan menjadi ancaman tersendiri serta memiliki risiko

kesehatan karena limbah sisa produksi dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan (Nabiela et al., 2020).

Sebagaimana telah diatur dalam peraturan terkait batas maksimum baku mutu logam dalam limbah cair industri. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 menjelaskan kandungan unsur Cr(VI) dalam limbah industri golongan I sebesar 0,1 mg/L dan golongan II sebesar 0,5 mg/L. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 menjelaskan batas maksimum baku mutu air limbah industri yang mengandung Cr(VI) di area lingkungan kawasan industri sebesar 0,5 mg/L.

Spesiasi logam Cr di lingkungan ditemukan memiliki tingkat oksidasi beragam dan mayoritas berbentuk *trivalen* (Cr(III)) dan *heksavalen* (Cr(VI)) (Zayed dan Terry, 2003). Spesiasi Cr(III) dapat teroksidasi menjadi Cr(VI) dalam suasana basa. Hal ini tentunya berbahaya karena potensi redoks yang tinggi serta struktur mirip dengan anion alami berupa tetrahedral (fosfat, sulfat) menyebabkan Cr(VI) mudah masuk dalam sel melalui saluran ion (Briffa et al., 2020). Cr(VI) dalam air bersifat mudah larut, sukar terurai secara hayati, bioakumulatif, sehingga keberadaannya lebih aktif dan

bertahan lebih lama dan mudah diakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai lingkungan (Billah, 2020).

Paparan Cr(VI) pada konsentrasi tinggi berpotensi bahaya terhadap kesehatan manusia karena sifat karsinogenik, mutagenik dan teratogenik yang dimiliki (Ashraf et al., 2017). Paparan melalui inhalasi, oral dan kontak kulit ke tubuh manusia menyebabkan kerja enzim terhalang sehingga metabolisme tubuh akan terganggu (Wulandari *et al.*, 2021). Paparan secara intensif mengakibatkan kanker paru-paru (Pesch et al., 2019), dermatitis, lesi, kulit, alergi (Alvarez et al., 2021).

Pengolahan air limbah terkontaminasi Cr(VI) dengan metode fisika-kimia perlu dilakukan dengan tujuan mengurangi konsentrasi yang melebihi baku mutu. Beberapa pengolahan sebelumnya telah dilakukan, namun membutuhkan biaya operasional yang tinggi, kurang efektif, serta dapat menghasilkan masalah pembuangan logam residu (Shrivastava dan Gupta, 2015). Metode bioremediasi dilakukan Kumar and Dwivedi (2019) dan berhasil mereduksi Cr(VI) 89,1%. Namun, penambahan adsorben mampu menghilangkan Cr(VI) hingga 5 mg/L. Elektrokoagulasi dilakukan Baehaki, Fadhilah and Karmila (2022) berhasil mengadsorpsi ion Cr(VI) 64,02%, namun menghasilkan endapan flokulan. Agustina *et al.* (2018)

menggunakan reagen fenton berhasil mereduksi Cr(VI) 20,74% dan penambahan adsorben setelahnya dapat menurunkan sampai 99,99%.

Adsorpsi dilaporkan Tolkou *et al.* (2022) mampu menghilangkan kontaminan Cr(VI) dengan efisiensi yang tinggi melalui proses sederhana, berbiaya rendah. Arang aktif merupakan jenis adsorben yang belakangan ini banyak digunakan dan dikembangkan (Tolkou et al., 2022). Arang aktif komersial berbasis batu bara banyak dimanfaatkan, namun membutuhkan biaya tinggi serta terkategori bahan tidak terbarukan. Penggunaan material *low-cost* berbasis biomaterial menjadi alternatif pengembangan material arang aktif karena mudah didapat dengan memanfaatkan limbah pertanian, sehingga mendapat perhatian lebih oleh para peneliti (Indah, 2014).

Penggunaan arang aktif berbasis biomaterial untuk adsorpsi ion Cr(VI) telah dilakukan Zulfadhli and Iriany (2017) dan dapat mengadsorpsi 96,67%. Labied *et al.* (2018) berhasil mengadsorpsi 62,08% dengan memanfaatkan bidara cina. Lesaoana *et al.* (2019) dengan kacang macademia berhasil mengadsorpsi 74 – 98%. Zhao *et al.* (2020) berhasil mengadsorpsi 89,5 mg/g dengan batang jagung. Selain itu, Xie *et al.* (2020) juga melaporkan bahwa tempurung kelapa mampu bersaing dengan batu

bara dengan hasil adsorpsi fenol lebih tinggi mencapai 87% dibandingkan batu bara 83%.

Karbon aktif tempurung kelapa merupakan biomaterial padatan berpori dan dalam bentuk serbuk memiliki kandungan utama karbon 81,84%, oksigen 9%, hidrogen 7,6%. Selain itu, daya adsorpsinya yang tinggi karena peningkatan luas permukaan setelah diaktivasi menjadi alasan tempurung kelapa dapat dimanfaatkan industri sebagai karbon (Darminto et al., 2018). Peningkatan luas permukaan arang tempurung kelapa dilakukann oleh Khuluk and Rahmat (2019) dengan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) 10% dan berhasil meningkatkan kapasitas adsorpsi *Methylene Blue* (MB) dari 3,78 mg/g menjadi 6,89 mg/g. Shrestha and Joshi (2019) dengan aktivator serupa konsentrasi 50% berhasil mengadsorpsi Cd(II) 33,71 mg/g.

Arang aktif memiliki kemampuan yang baik setelah teraktivasi dalam mengadsorpsi kontaminan. Namun, permukaan arang aktif memiliki muatan yang terbatas untuk mengadsorpsi anion atau kation. Proses alkalisasi atau pengasaman pada aktivasi sebelum modifikasi dilaporkan Song *et al.* (2015) memengaruhi afinitas adsorben terhadap Cr(VI). Song *et al.* (2015) menjelaskan bahwa perlakuan aktivasi dengan asam membesarkan luas

permukaan spesifik zeolit alam dan zeolit - OHHZ - CPC berhasil mengadsorpsi 6,31 mg/g.

Peningkatan adsorpsi pada arang aktif tempurung kelapa secara signifikan terhadap anion berhasil dilakukan Mazarji et al. (2017) melalui modifikasi dengan CTAB - NaOH untuk nitrat sebesar 80% dari 16% setelah aktivasi dan 8% sebelum perlakuan. Ji et al. (2024) berhasil meningkatkan adsorpsi PAH minyak tanah mencapai 97,51% setelah memodifikasi dengan CTAB. Selain itu, Meneses et al. (2022) berhasil meningkatkan adsorpsi ion Cr(VI) hingga 70% dengan cryogel karboksimetil selulosa (CMC)/ Ampas tebu (BG) - CTAB dari 15% tanpa modifikasi. Peningkatan adsorpsi ion Cr(VI) juga berhasil dilakukan Karnjanakom and Maneechakr (2019) dari 0,03 mg/g menjadi 3,46 mg/g dengan surfaktan dilauryldimetilammonium bromida (DDAB).

Modifikasi arang aktif teraktivasi asam dengan surfaktan kationik, umumnya garam ammonium kuartener menjadi metode sederhana yang efisien untuk meningkatkan polaritas, kemampuan adsorpsi anion maupun kation, khususnya Cr(VI). Garam ammonium kuartener menyediakan tempat pertukaran anion setelah surfaktan kationik dimuat, khususnya surfaktan CTAB pada arang aktif berbasis tempurung kelapa menghasilkan

adsorpsi optimal. Selain itu, Choi *et al.* (2009); Song *et al.* (2015) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa penggunaan konsentrasi diatas nilai misel kritis menyebabkan surfaktan membentuk misel dan kulit luar misel menyebabkan permukaan bermuatan positif. Selain itu, kapasitas adsorpsi ion Cr(VI) – misel dalam air lebih besar dibandingkan Cr(VI) – CPC (bukan misel).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian adsorpsi air terkontaminasi Cr(VI) perlu dilakukan menggunakan arang aktif berbasis tempurung kelapa – H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – CTAB. Modifikasi arang aktif teraktivasi asam dengan variasi konsentrasi diatas nilai misel kritis diharapkan mampu meningkatkan daya adsorpsi ion Cr(VI) lebih tinggi dibandingkan tanpa modifikasi maupun aktivasi. Penggunaan CTAB pada adsorben teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> belum ditemukan, terlebih untuk adsorpsi ion Cr(VI). CTAB dipilih sebagai bahan modifikasi permukaan arang aktif karena salah satu jenis garam ammonium kuartener. Sehingga dilakukan penelitian dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Arang Aktif Tempurung Kelapa Termodifikasi CTAB Untuk Adsorpsi Ion Cr(VI).”**

## **B. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana karakteristik arang aktif tempurung kelapa, arang aktif tempurung kelapa teraktivasi dan arang aktif tempurung kelapa termodifikasi CTAB?
2. Bagaimana kapasitas adsorpsi arang aktif tempurung kelapa, arang aktif tempurung kelapa teraktivasi dan arang aktif tempurung kelapa termodifikasi CTAB dalam mengadsorpsi ion Cr(VI)?
3. Bagaimana kinetika dan isoterm adsorpsi pada adsorpsi ion Cr(VI) menggunakan arang aktif termodifikasi CTAB?

## **C. Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui karakteristik arang aktif tempurung kelapa, arang aktif tempurung kelapa teraktivasi dan arang aktif tempurung kelapa termodifikasi CTAB.
2. Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi arang aktif tempurung kelapa, arang aktif tempurung kelapa teraktivasi dan arang aktif tempurung kelapa termodifikasi CTAB dalam mengadsorpsi ion Cr(VI).
3. Untuk mengetahui kinetika dan isoterm adsorpsi pada adsorpsi ion Cr(VI) menggunakan arang aktif termodifikasi CTAB.

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

1. Memberikan informasi mengenai pengolahan limbah tempurung kelapa yang dapat dijadikan sebagai adsorben dalam menurunkan logam Cr(VI).
2. Memberikan solusi mengenai metode pengolahan air terkontaminasi logam Cr(VI) sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Deskripsi Teori

##### 1. Kromium (Cr)

Kromium merupakan unsur kimia yang secara alami ditemukan di seluruh jenis komponen lingkungan, seperti udara, air dan tanah, namun dalam jumlah kecil. Kromium merupakan kelompok logam tahan api dan memiliki titik lebur lebih tinggi dari platinum yaitu sebesar  $1,772^{\circ}\text{C}$ . Unsur logam ini terdapat pada golongan VI B, periode empat serta memiliki nomor atom dan nomor massa secara berturut sebesar 24 dan 51,996 g/mol. Gambar 2.1 menunjukkan Logam kromium memiliki karakteristik berwarna abu-abu, mengkilat, tidak berbau, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Logam ini memiliki berbagai tingkat oksidasi dengan elektron valensi dari -2 hingga +6 dan memiliki jari-jari ionik 0,8 – 0,4 Å (Cr(VI)). Logam ini mayoritas dijumpai di lingkungan dalam bentuk Cr(0), Cr(III) dan Cr(VI). Kandungan kromium dengan bilangan oksidasi 0 tidak secara alami berada dalam kerak bumi dan bersifat inert. Sedangkan senyawa yang bersifat stabil yaitu Cr(III) dan Cr(VI) yang umumnya berasal dari kegiatan industri. Beberapa bentuk senyawa yang menonjol namun jarang ditemukan dalam

tingkat oksidasi +1, +2, +4, +5, antara lain  $K_3(Cr(CN)_5NO)$ ,  $CrCl_2$ ,  $K_2CrF_6$ ,  $K_3CrO_4$ . Senyawa lain dengan tingkat oksidasi -2, -1 dan 0 sangat jarang ditemukan. Adapun bentuk senyawanya, antara lain  $Na_2(Cr(CO)_5)$ ,  $Na_2(Cr_2(CO)_{10})$  dan  $Cr(C_6H_6)_2$  (Lunk, 2015).







**Gambar 2.1** Kromium (Lunk, 2015)

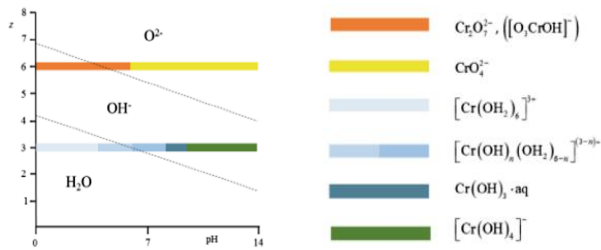
Sifat kimia dan fisika Cr(III) dan Cr(VI) cenderung berbanding terbalik. Cr(III) memiliki mobilitas rendah dalam air dan tanah, cukup stabil dan hampir tidak beracun. Sedangkan Cr(VI) memiliki mobilitas lebih tinggi, reaktif dan beracun. Cr(VI) secara alami terdapat di lingkungan karena oksidasi dari Cr(III). Selain itu, toksisitas Cr(VI) umumnya disebabkan adanya peningkatan konsentrasi yang dilepaskan dari berbagai limbah industri sehingga terjadi penyerapan Cr(VI) di biosfer secara berlebihan. Kondisi Cr(VI) dominan dalam bentuk teroksidasi berbanding terbalik dengan Cr(III) dominan dalam kondisi reduksi yang membentuk

beberapa spesiasi di lingkungan bergantung pada pH larutan (Jobby et al., 2018).

Gambar 2.3 menjelaskan bahwa spesiasi Cr(VI) hadir dalam bentuk ion lain, seperti kromat ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), hidrogen kromat ( $\text{HCrO}_4^-$ ), dikromat ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) di larutan. Sedangkan spesiasi Cr(III) di larutan cenderung berbentuk spesiasi terhidrasi, seperti kromium trivalent terhidrasi ( $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ), kromium hidroksida kompleks ( $\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$  atau  $\text{Cr}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})$ ). Spesiasi Cr(III) cenderung relatif tidak toksik dibandingkan dengan Cr(VI) yang memiliki tingkat ketoksikan lebih tinggi dan telah terdaftar sebagai karsinogen dalam *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) (Lesaoana et al., 2019). Contoh senyawa kromium dengan tingkat oksidasi +3 dan +6, sebagai berikut:

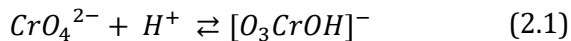
**Tabel 2.1** Contoh senyawa Cr tingkat oksidasi +3 dan +6 (Lunk, 2015)

Tingkat Oksidasi	Senyawa	Contoh Sampel
+3	Kromium (III) klorida ( $\text{CrCl}_3$ )	
	Diklorotetraaakuachromium (III) klorida dihidrat ( $\text{CrCl}_2(\text{OH}_2)_4\text{Cl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	
+6	Kalium monokromat ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ )	
	Kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )	

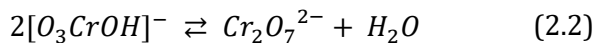


**Gambar 2.2** Rentang pH untuk H<sub>2</sub>O, OH<sup>-</sup> dan O<sup>2-</sup> (Lunk, 2015)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa ikatan koordinasi senyawa Cr(VI) dengan ion oksida (O<sup>2-</sup>) dapat terjadi pada pH tinggi. Namun, adanya batasan geometrik menyebabkan senyawa Cr(VI) tidak dapat mengikat enam jumlah oksida secara keseluruhan melainkan hanya empat oksida, sehingga terbentuk anion monokromat kuning (CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Sedangkan ikatan koordinasi Cr(VI) pada pH rendah menghasilkan terjadinya pembentukan anion hidrogen monokromat (O<sub>3</sub>CrOH)<sup>-</sup> pada protonasinya. Berikut reaksi yang terjadi:



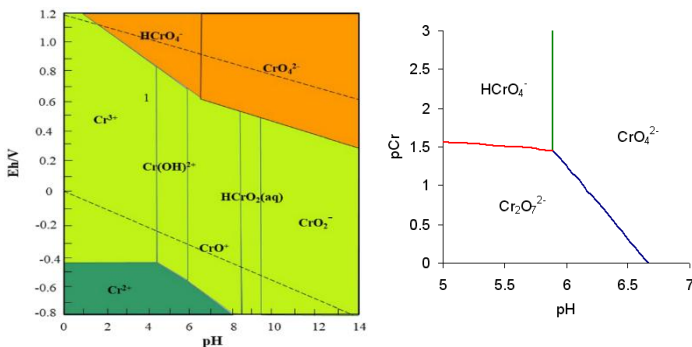
Selanjutnya terjadi reaksi sebagai berikut:



Reaksi menghasilkan ion dikromat berwarna oranye stabil berupa senyawa Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>. Kestimbangan antara senyawa CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> bergantung pada pH dan konsentrasi kromium. Keberadaan anion monokromat cenderung dominan pada kondisi basa, yaitu pH > 6. Sedangkan anion

dikromat cenderung dominan pada rentang pH 2 – 6 dalam kondisi larutan asam (Lunk, 2015).

Bentuk kromat pada gambar 2.3 menunjukkan Cr(VI) dapat ditemukan dalam bentuk kromat  $\text{CrO}_4^{2-}$  dengan struktur tetrahedral dimana terbentuk dalam suasana basa (pH > 6). Sedangkan bentuk dikromat  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  dengan struktur dua tetrahedron setimbang dalam kondisi asam (pH 2-6) dan akan membentuk  $\text{HCrO}_4^-$ . Namun, Rakhunde et al. (2012) juga menjelaskan bahwa bentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  dan  $\text{HCrO}_4^{2-}$  lebih mendominasi keberadaannya pada kondisi pH larutan berkisar 0 hingga  $\pm 6$ . Sedangkan bentuk  $\text{CrO}_4^{2-}$  akan muncul pada kondisi pH lebih tinggi.



**Gambar 2.3** Diagram spesiasi pH dalam air (a) kromium dan (b) kromat/Cr(VI) (Chen & Tian, 2021; Rakhunde *et al.*, 2012)

## 2. Tempurung Kelapa

Tanaman kelapa merupakan jenis tanaman serbaguna karena dapat dimanfaatkan seluruh bagian

tanamannya. Namun pemanfaatan buah kelapa sebagai bahan baku di industri masih mendominasi, terletak di bagian dalam yang tertutupi oleh sabut dan tempurung kelapa. Buah kelapa terdiri dari 35% sabut, 12% tempurung, 28% daging buah, 25% air (Darminto, Baqiya dan Asih, 2018).



**Gambar 2.4** Tempurung Kelapa Pasar Mangkang (Dok. Pribadi)

Tempurung kelapa (gambar 2.4) merupakan bahan murah dengan ketersediaan tinggi yang memiliki kandungan kimia berupa selulosa 34%, hemiselulosa 21%, lignin 27% dan kandungan unsur karbon 74,3%, oksigen 21,9%, fosfor 1,7%, kalium 1,4%, sulfur 0,5%, silikon 0,2%. Tempurung kelapa memiliki kualitas yang baik sebagai sumber karbon karena struktur tempurungnya yang keras dengan kandungan unsur non-karbonnya lebih rendah (Darminto, Baqiya dan Asih, 2018).

Tempurung kelapa umumnya hanya dijadikan kerajinan, padahal memiliki struktur selulosa alami yang

mengakibatkan memiliki struktur berpori (Rahayu, Purnavita dan Sriyana, 2014). Pemanfaatan tempurung kelapa sebagai arang dapat diperoleh melalui proses pembakaran, karbonisasi. Arang ini dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena selain strukturnya yang berpori juga mengandung senyawa karbon amorf dengan abu yang sedikit serta permukaan pori besar (Pranoto, Martini dan Maharditya, 2020).

Selulosa merupakan komponen dengan struktur padat dan kasar yang terkandung di dalam tempurung kelapa sebesar  $\pm 45\%$ . Komponen ini memiliki afinitas yang besar terhadap zat terlarut yang polar terlebih jika kepolaran pelarutnya lebih rendah. Selulosa terletak pada dinding sel yang berfungsi untuk memperkuat struktur sehingga menyebabkan tempurung kelapa menjadi keras. Hemiselulosa merupakan polimer polisakarida heterogen yang terletak didalam dinding sel, di ruang antara serat-serat selulosa. Selain itu, tempurung kelapa memiliki lignin, senyawa kimia yang memiliki struktur amorf dan kompleks. Lignin berfungsi untuk mengikat sel-sel yang lain serta sebagai pemberi kekuatan (Winata et al., 2021). Komposisi ini dalam tempurung kelapa sebesar 33%. Lignin merupakan biopolimer yang memiliki gugus fungsional seperti aldehida, keton asam, fenol dan eter

sehingga dapat menyebabkan terjadinya adsorpsi kimia. Kemudian, adanya pembakaran tempurung kelapa dapat menghasilkan abu berkisar 20% dan karbon bentuk amorf yang menjadi komponen utama sebesar 86 – 97% (Rahayu, Purnavita dan Sriyana, 2014).

### **3. Adsorben**

Adsorben merupakan unsur permukaan penting dalam proses adsorpsi yang berfungsi untuk menyerap molekul – molekul adsorbat. Adsorbat merupakan molekul yang terikat. Umumnya, adsorben yang digunakan untuk pengolahan air bersumber dari bahan alami atau sisa industri. Adsorben dapat diklasifikasikan menjadi empat macam, yaitu:

- a. Adsorben arang, adsorben yang dihasilkan dari bahan karbon, diaktifkan menggunakan bahan kimia atau gas. Adsorben ini menarik minat industri dalam keperluan pengolahan limbah karena biaya yang rendah.
- b. Adsorben polimer, adsorben yang dibuat oleh kopolimerisasi dari monomer non-polar atau polar lemah.
- c. Adsorben oksida, adsorben yang memiliki sifat permukaan lebih kuat berupa hidrofilik.

- d. Zeolit, adsorben yang memiliki sifat permukaan lebih kuat berupa hidrofilik.

#### **4. Arang Aktif**

Arang aktif merupakan material padat dengan unsur penyusun utama 85 – 95% berupa karbon yang telah ditingkatkan porositasnya hingga berukuran mikron dan sebagian kecil berupa oksigen dan hidrogen. Struktur utama adalah atom-atom C yang mempunyai ikatan kovalen yang mana memiliki sisi heksagonal datar setiap sudutnya dan satu atom C. Struktur ini memiliki luas permukaan berkisar 300 – 3500 m<sup>2</sup>/g dan pori-pori sehingga dapat menyerap unsur-unsur kimia tertentu (Winata et al., 2021). Arang aktif dihasilkan dari bahan berbasah dasar karbon padat yang kemudian diaktifkan dengan perlakuan pada temperatur sedang hingga tinggi. Secara konvenal umumnya diproduksi dari prekursor *lignocellulic* (tempurung, batang kelapa sawit, kayu, sekam padi, tempurung kelapa), batubara (Darminto, Baqiya dan Asih, 2018).

Prekursor *lignocellulic* sebagai arang aktif melalui beberapa tahap, yaitu karbonisasi sebagai proses awal untuk mengubah struktur menjadi karbon. Proses karbonisasi prekursor kayu, tempurung umumnya dilakukan pada temperatur dibawah 200°C untuk

menguapkan air, 200 – 500°C menyebabkan selulosa, hemiselulosa, lignin terdekomposisi sehingga menghasilkan fraksi cair dan gas berupa CO dan CO<sub>2</sub>, temperatur diatas 500 – 700°C menyebabkan penurunan berat dan menghasilkan karbon aromatik terpolikondensasi (Darminto, Baqiya dan Asih, 2018).

Struktur arang aktif digambarkan sebagai tumpukan lembaran kristalit mirip seperti grafit yang memiliki susunan karbon tidak teratur, terdapat bahan organik berupa abu dari bahan mentah. Atom karbon dalam grafit terletak berlapis-lapis yang dihubungkan oleh ikatan kovalen. Struktur pori arang aktif diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan ukuran lebar pori, mikropori < 2.10<sup>-9</sup> nm, mesopori antara 2 – 50.10<sup>-9</sup> nm, mikropori > 50.10<sup>-9</sup> nm. Ukuran pori memainkan peran penting pada arang aktif karena mempengaruhi nilai luas permukaan dimana adsorpsi terjadi di pori-pori. Umumnya, karbon mikropori lebih disukai untuk mengadsorpsi gas dan uap karena memiliki pori-pori berukuran sempit untuk mendistribusi. Molekul organik yang memiliki diameter ukuran besar tidak memungkinkan menembus ke dalam mesopori maupun mikropori yang memiliki lebar pori lebih kecil (Menéndez-Díaz dan Martín-Gullón, 2006).

Ukuran partikel arang aktif menjadi salah satu karakteristik yang memengaruhi sifat arang aktif. Berdasarkan ukuran partikelnya diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Arang aktif granular (GAC)

Arang aktif granular memiliki ukuran partikel berkisar 1 – 5 mm. Aplikasi GAC umumnya untuk pemurnian pelarut dan gas, emas, penyaringan udara, pengolahan air minum (Menéndez-Díaz dan Martín-Gullón, 2006).

b. Arang aktif serbuk (PAC)

Arang aktif serbuk memiliki ukuran partikel kurang dari 0,1 mm dan umumnya berkisar 0,015 – 0,025 mm. Aplikasi PAC umumnya untuk pengolahan air limbah, industri makanan, penghilangan merkuri, dekolorisasi gula, industri farmasi (Menéndez-Díaz dan Martín-Gullón, 2006).

Kemampuan arang yang diaktifkan tidak memiliki sifat fisik dan kimia sama karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, variasi bahan, metode pengaktifan, kondisi operasional yang dapat menghasilkan arang aktif dengan luas permukaan berbeda.

## **5. Aktivasi Arang Aktif**

Aktivasi bahan baku arang dilakukan untuk memunculkan struktur mikropori yang lebih mudah

diakses sehingga dapat mengembangkan pori-pori dan menjadi lebih mudah diakses adsorbat. Aktivasi dapat dilakukan melalui dua metode, antara lain:

a. Aktivasi fisik

Aktivasi fisika merupakan proses yang melibatkan dua langkah, yaitu karbonisasi dan dilanjutkan aktivasi menggunakan uap, oksigen, atau karbon dioksida. Karbonisasi merupakan proses mengubah bahan organik menjadi arang dengan melepaskan gas yang mudah terbakar dan tidak mudah terbakar, air. Pengaktifan arang dalam proses karbonisasi terjadi penghilangan unsur – unsur non karbon sebagai spesiasi yang mudah menguap, seperti hidrogen, oksigen, dsb, sehingga tersisa karbon (Jayan dan Aryasree, 2008). Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur sedang atau tinggi berkisar 500 – 800°C yang menyebabkan terjadinya devolatilisasi dan menghasilkan produk akhir arang yang kaya akan karbon karena oksidasi bereaksi dengan karbon melepaskan CO dan H<sub>2</sub> dan luas pori menjadi bertambah akibat senyawa-senyawa produk samping terlepas dari arang aktif. Kemudian dilanjutkan dengan aktivasi dengan zat pengoksidasi (uap) dalam tungku pembakaran langsung, sehingga terjadi pengurangan massa arang aktif yang

besar karena permbentukan struktur karbon baru (Menéndez-Díaz dan Martín-Gullón, 2006).

b. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia merupakan proses peresapan bahan mentah menggunakan zat pengaktif dan pirolisis tanpa adanya oksigen (Jayan dan Aryasree, 2008). Aktivasi kimia dilakukan dalam satu tahap karbonisasi dari campuran bahan baku dan bahan kimia. Bahan mentah dilakukan perendaman menggunakan bahan kimia dalam jumlah banyak dan dipanaskan bertujuan untuk memutuskan rantai karbon senyawa organik serta mengikat air yang masih belum terlepas selama karbonisasi arang sehingga meingkatkan daya serap arang aktif (Menéndez-Díaz dan Martín-Gullón, 2006).

## **6. Modifikasi Arang Aktif**

Modifikasi arang aktif dengan surfaktan atau disebut *Surfactant Modified Active Carbon* (SMAC) dapat mengubah permukaan arang aktif menjadi lebih polar karena adsorben menjadi lebih spesifik dalam melakukan adsorpsi kation atau anion logam berat yang berbahaya di perairan. Pargiman *et al.* (2018) meyakini bahwa penambahan aktivator sebelum modifikasi meningkatkan luas permukaan arang sehingga terjadi peningkatan kemampuan daya serap arang aktif. Adanya modifikasi

mengubah arang aktif menyerap ion-ion secara lebih spesifik bahkan logam berat di perairan yang tidak dapat teradsorpsi sebelumnya akibat ukuran pori. Penelitian sebelumnya dilakukan Pargiman *et al.* (2018) menggunakan aktivator  $H_3PO_4$  sebagai aktivator arang dilanjutkan modifikasi dengan surfaktan kationik, dijelaskan bahwa aktivasi arang dimungkinkan meningkatkan kemampuan adsorpsi karena adanya gugus  $P=O$  dan semakin banyak jumlah situs aktif dalam menyerap misel surfaktan sehingga permukaan arang aktif membentuk bilayer yang mengakibatkan peningkatan interaksi pada permukaan adsorben. Arang aktif mengalami peningkatan luas area sehingga kemampuan arang aktif mengalami peningkatan. Modifikasi dengan perlakuan aktivasi sebelumnya membantu mengeluarkan pengotor yang menyumbat pori sehingga pori semakin terbuka dan luas permukaan karbon bagian dalam (*internal surface*) semakin meningkat.

## **7. Surfaktan**

### **a. Pengertian surfaktan**

Surfaktan merupakan zat aktif permukaan berupa molekul organik yang mengandung gugus liofilik dan liofobik pada satu molekul. Kedua gugus tersebut disebut hidrofilik dan hidrofobik dalam pelarut air yang

dilambangkan menggunakan model kepala bagian hidrofilik dan ekor bagian hidrofobik yang diilustrasikan pada gambar 2.5. Gugus hidrofilik merupakan gugus suka air dan gugus hidrofobik berlaku sebaliknya, suka minyak atau lemak pada molekul yang sama. Selain itu, gugus hidrofilik memiliki sifat polar yang dapat bermuatan positif, negatif, atau netral dan mengandung gugus hidroksil. Sedangkan, hidrofobik pada bagian ekor bersifat non polar, berupa rantai alkil yyyang panjang berupa rantai linear atau cabang hidrokarbon (Turmiati, 2019).

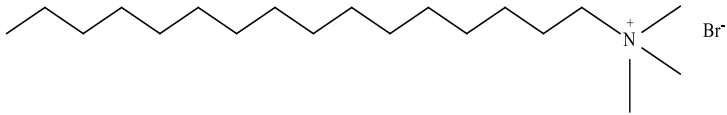
**b. *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)***



**Gambar 2.5** Ilustrasi Surfaktan (K. Holmberg, 2002)

*Cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB)* merupakan senyawa organik yang memiliki rumus kimia  $(C_{16}H_{33})N(CH_3)_3Br$  dan tergolong salah satu komponen dari antiseptik topikal atau disebut setrimeda. CTAB akan terionisasi menjadi  $CTA^+$  dan  $Br^-$  dalam larutan dan menyebabkan terbentuknya ion  $CTA^+$  yang memiliki sifat amphilik, sehingga CTAB tergolong dalam surfaktan kationik. Namun, CTAB sering dianggap sebagai surfaktan

kationik yang memiliki sifat netral karena  $\text{CTA}^+$  hanya akan berikatan dengan anionik molekul dan membentuk garam yang netral.



**Gambar 2.6** Struktur CTAB (Tsagkaropoulou et al., 2019)

Surfaktan CTAB memiliki rantai karbon panjang dan akan membentuk admisel pada permukaan karbon sehingga menyebabkan permukaan adsorben memiliki lebih banyak tempat untuk mengikat ion adsorbat. Hal ini berdampak pada permukaan adsorben karena tertutup ekor surfaktan bermuatan negatif sehingga kepala CTA bermuatan positif. Berdasarkan gambar 2.6, kepala surfaktan memiliki gugus hidrofilik yang dalam larutan berupa ammonium kuartener ( $\text{NR}_4^+$ ). Sedangkan ekor surfaktan bersifat hidrofobik berupa rantai hidrokarbon yang tersusun atas gugus etil (Mondal dan Majumder, 2021).

Variasi konsentrasi CTAB akan membentuk struktur berbeda-beda dan mempengaruhi kapasitas adsorpsi suatu adsorbat. Setiap surfaktan memiliki batas konsentrasi minimum untuk membentuk *critical micelle concentration* (CMC) dan apabila surfaktan memiliki

konsentrasi lebih kecil dari nilai CMC yang dimiliki akan mengakibatkan terbentuknya misel (Febiyanti et al., 2013). CTAB diketahui membentuk misel dalam air dan pelarut lainnya. Surfaktan ionik dalam larutan berair terikat dalam agregat bermuatan yang disebut misel dan misel positif seperti CTA<sup>+</sup> muncul pada konsentrasi 0,94 mM di suhu 22°C ke atas (Sadaoui et al., 2009).

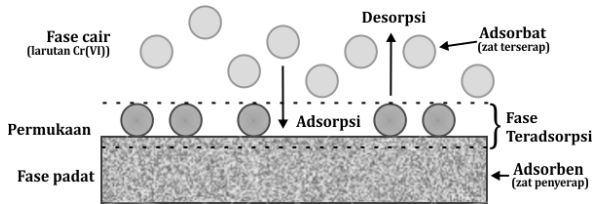
Mondal dan Majumder (2021) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi CTAB, yaitu berkisar nilai dari CMC CTAB. Seiring peningkatan konsentrasi mendekati nilai CMC, admisel akan terbentuk pada permukaan adsorben sehingga kapasitas adsorpsinya menuju maksimum. Setelah diatas nilai CMC, misel akan terbentuk dalam larutan dan berdampak pada menurunnya kapasitas adsorpsi sehingga penggunaannya tidak menguntungkan.

Gambar 2.7 merupakan analisis nilai CMC CTAB yang dilaporkan Nabi *et al.* (2018) dalam air pada rentang temperatur berbeda sekitar 298,15 – 318,15 K sebesar 0,95 – 1,05 mM. Pertimbangan penggunaan konsentrasi surfaktan CTAB salah satunya dipengaruhi oleh temperatur, dimana seiring peningkatan suhu dari 298,15 K mengakibatkan hidrasi gugus hidrofilik lebih rendah

sehingga terjadi miselisasi. Sebaliknya, penggunaan temperatur lebih tinggi dari 298,15 K menyebabkan tidak menguntungkannya kondisi miselisasi karena adanya gangguan struktur air di sekitar surfaktan.

## **8. Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan peristiwa penempelan partikel ke permukaan (Atkins dan Paula, 2006). Widayatno et al. (2017) menjelaskan bahwa adsorpsi merupakan suatu fenomena permukaan karena terjadi akumulasi spesiasi pada batas permukaan antara padat-cair akibat gaya tarik menarik di permukaan zat padat. Adsorpsi merupakan metode pemisahan yang terjadi secara fisik-kimiawi melibatkan proses interaksi antara molekul gas atau cair (adsorbat) berupa senyawa organik polutan atau logam berat dari lingkungan dengan permukaan zat padat (adsorben) (Fatimah, 2014). Adsorpsi merupakan proses perpindahan spesiasi kimia pada suatu fase untuk menghilangkan zat dari fluida, baik gas atau cairan ke permukaan cairan atau padatan, diilustrasikan dalam gambar 2.8 (Worch, 2012).



**Gambar 2.7** Proses Adsorpsi dan Desorpsi (Worch, 2012)

Pemisahan pada proses adsorpsi terjadi karena adanya perbedaan afinitas atau difusivitas senyawa terhadap suatu padatan, umumnya merupakan padatan berpori. Padatan terbentuk karena adanya gaya tarik menarik komponen atom penyusunnya. Fenomena penarikan partikel seperti molekul, ion mendekati permukaan padatan disebabkan dalam padatan gaya tarik diantara atom penyusun *lattice* seimbang, namun di permukaan padatan tidak seimbang sehingga partikel tertarik sebagai kompensasi adanya ketidakseimbangan gaya pada permukaan padatan (Astuti, 2018). Situs aktif pada permukaan padatan menyebabkan mampu berinteraksi dengan zat terlarut yang berdekatan dalam fase air. Material padat yang menyediakan permukaan untuk adsorpsi disebut juga dengan adsorben (Worch, 2012).

Adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua macam berdasarkan mekanismenya, yaitu:

a. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika atau fisiosorpsi terjadi karena adanya interaksi antarmolekul yang lemah (gaya Van Der Waals) antara adsorbat dan adsorben pada permukaan adsorben, seperti interaksi dipol-dipol, gaya dispersi, gaya induksi (Atkins dan Paula, 2006). Interaksi yang terlibat pada fisiosorpsi antara molekul terjerap dengan permukaan adsorben melalui ikatan van der Waals merupakan interaksi yang relatif lemah. Hal ini disebabkan berfluktuasinya dipol dari adsorbat dengan padatan dapat dipolarisasikan sehingga zat yang diadsorpsi akan mudah dilepaskan, sangat reversibel hingga memungkinkan terjadi desorpsi pada temperatur yang sama. Selain itu, panas adsorpsi pada fisiosorpsi relatif lebih rendah dari 50 kJ/mol (Astuti, 2018).

b. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia atau disebut kemisorpsi terjadi karena interaksi kimia, umumnya kovalen antara padatan dengan molekul atau ion terjerap, antara adsorbat dan situs permukaan (Atkins dan Paula, 2006). Energi interaksi kemisorpsi berada dalam besaran entalpi lebih besar dari 50 kJ/mol. Ikatan kimia pada kemisorpsi bersifat irreversible dan kuat karena pembentukannya diperlukan energi pengaktifan (Worch, 2012).

Mekanisme adsorpsi suatu zat ke dalam pori adsorben menurut Widayatno *et al.* (2017) sebagai berikut:

- a. Perpindahan massa adsorben dari larutan ke permukaan luar adsorben,
- b. Difusi adsorbat dalam pori adsorben,
- c. Perpindahan massa adsorbat dari larutan dalam pori ke permukaan pori adsorben.

Proses adsorpsi menurut Syauqiah, Amalia dan Kartini (2011) umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Luas permukaan, ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah adsorben. Semakin luas permukaan adsorben maka semakin banyak zat teradsorpsi,
- b. Jenis adsorbat, semakin polar adsorbat maka kemampuan adsorpsi molekul dengan polarisabilitas tinggi akan meningkat dibandingkan molekul non-polar yang tidak dapat membentuk dipol. Hal ini diakibatkan kemampuan tarik-menarik antara adsorbat terhadap molekul lain memiliki polarisabilitas tinggi. Umumnya, adsorbat dengan rantai bercabang lebih mudah diadsorpsi dibandingkan rantai lurus. Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi.

- c. Struktur molekul adsorbat, adanya hidroksil dan amino dapat menyebabkan penurunan kemampuan adsorpsi, sedangkan nitrogen justru meningkatkan kemampuan adsorpsi.
- d. Konsentrasi adsorbat, semakin besar konsentrasi adsorben maka jumlah substansi yang terkumpul di permukaan akan semakin banyak.
- e. Temperatur, semakin panas temperatur aktivasi menyebabkan pori-pori lebih terbuka sehingga daya serap terhadap adsorbat juga meningkat. Namun, pemanasan terlalu tinggi menyebabkan kerusakan pada adsorben sehingga menurunkan kemampuan adsorpsi.
- f. pH berpengaruh pada kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi biosorben, kompetisi ion logam dalam adsorpsi.
- g. Kecepatan pengadukan, apabila lambat maka adsorpsi berlangsung lambat. Namun, jika terlalu cepat memungkinkan kerusakan struktur adsorben sehingga adsorpsi kurang optimal.
- h. Waktu kontak menentukan waktu kesetimbangan yang menghasilkan adsorpsi dalam kapasitas maksimum. Waktu kesetimbangan dipengaruhi oleh tipe biomassa, yaitu jumlah dan jenis ruang

pengikatan, ukuran dan fisiologis biomassa yaitu aktif atau tidaknya, ion yang terlibat dalam biosorpsi dan konsentrasi ion logam.

## 9. Isoterm Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi merupakan landasan untuk memahami proses adsorpsi yang dipelajari melalui pendekatan isoterm adsorpsi, proses distribusi suatu adsorbat antara fase cair dan padat untuk menentukan kapasitas adsorpsi. Model kesetimbangan adsorpsi meliputi:

### a. Isoterm *Langmuir*

Isoterm *langmuir* merupakan model pengolahan pertama secara teori pada adsorpsi non linear. Teori *langmuir* didasarkan pada prinsip kinetika yaitu laju adsorpsi sama dengan laju desorpsinya apabila telah mencapai kondisi kesetimbangan. Adapun persamaan model isoterm *langmuir* sebagai berikut:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.3)$$

Dalam bentuk linier sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{1 C_e}{q_m} \quad (2.4)$$

Dengan  $C_e$  merupakan konsentrasi logam (bentuk larutan) kondisi kesetimbangan (mg/L),  $q_e$  merupakan jumlah logam yang teradsorpsi saat kondisi kesetimbangan

(mg/g),  $q_m$  merupakan konsentrasi maksimum logam yang teradsorpsi (mg/g) dan  $K_L$  merupakan konstanta afinitas langmuir (L/mg) (Enniya et al., 2018).

b. Isoterm *Freundlich*

Isoterm *freundlich* merupakan model prediksi adsorpsi multilayer yang banyak digunakan untuk menggambarkan adsorpsi cair senyawa organik oleh arang aktif dan adsorpsi gas pada permukaan heterogen. Model isoterm *freundlich* tidak memiliki perilaku tepat pada tekanan cukup tinggi dan tidak memiliki ambang batas ketika tekanan cukup tinggi. Adapun persamaan model isoterm *freundlich* sebagai berikut:

$$q_e = K_f (C_e^{1/n}) \quad (2.5)$$

Dalam bentuk linier sebagai berikut:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.6)$$

Dengan  $C_e$  merupakan konsentrasi logam kondisi kesetimbangan (mg/L),  $Q_e$  merupakan jumlah logam yang teradsorpsi saat kondisi kesetimbangan (mg/g),  $n$  merupakan intensitas adsorpsi dan  $K_f$  merupakan konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg) (Enniya et al., 2018).

## 10. Kinetika Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi pada adsorben berpori tidak terbentuk secara instan karena perpindahan massa dari larutan ke situs adsorpsi yang terdapat dalam partikel adsorben (laju adsorpsi) dibatasi oleh proses difusi ke arah permukaan adsorben dan di dalam partikel adsorben berpori. Kinetika adsorpsi berfungsi untuk memperjelas mekanisme perpindahan massa yang membatasi laju adsorpsi serta massa parameter perpindahan massa menggunakan data kesetimbangan untuk menentukan waktu kontak (Worch, 2012).

Proses penjerapan umumnya berlangsung cepat sehingga tidak mengontrol laju adsorpsi secara keseluruhan. Selain itu, umumnya terdapat ketidaksesuaian kepolaran antara molekul adsorbat yang akan diadsorpsi menyebabkan pengikatan molekul adsorbat oleh permukaan adsorben menjadi lebih lama. Penggambaran proses adsorpsi cair dapat dilakukan menggunakan persamaan:

### a. Persamaan *pseudo-first-order*

Persamaan pseudo order pertama ini merupakan persamaan yang digunakan untuk mengadsorpsi zat terlarut dari larutan. Model kinetika ini memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303}(t) \quad (2.7)$$

Dengan  $q_e$  dan  $q_t$  merupakan kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  dan waktu kesetimbangan,  $k_1$  merupakan konstanta laju kesetimbangan pada orde satu (1/menit) (Enniya et al., 2018).

b. Persamaan *pseudo-second-order*

Persamaan pseudo orde dua merupakan model kinetika yang umumnya diterapkan untuk sistem adsorpsi larutan pada permukaan adsorben padat. Model kinetika ini memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (2.8)$$

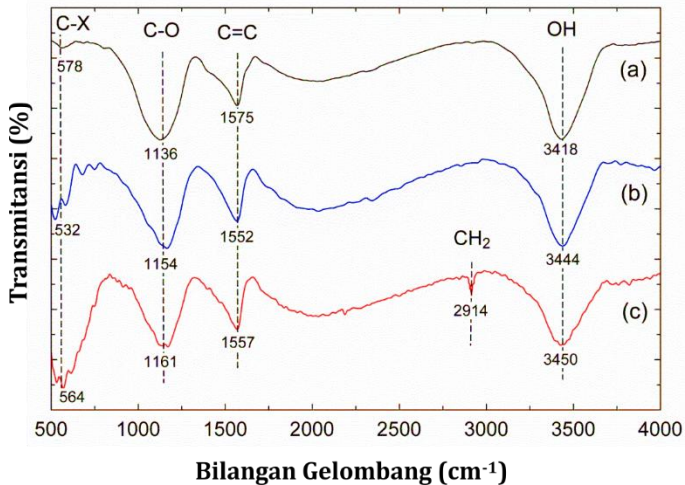
Dengan  $q_e$  dan  $q_t$  merupakan kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  dan waktu kesetimbangan,  $k_1$  merupakan konstanta laju kesetimbangan pada orde kedua (g/mg menit) (Enniya et al., 2018).

## 11. Instrumen Karakterisasi

### a. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

FTIR merupakan instrumen untuk mengidentifikasi senyawa dan gugus fungsional yang terkandung pada sampel dalam berbagai fase (gas, padat, cair). FTIR memiliki komponen utama berupa interferometer *Michelson* yang berfungsi menguraikan atau mendispersi radiasi inframerah menjadi komponen - komponen

frekuensi. Komponen ini digunakan sebagai pengganti monokromator yang akan memberikan sinyal ke detektor sesuai dengan intensitas frekuensi vibrasi molekuler berupa interferogram.



**Gambar 2.8** Hasil FTIR (a) AC (b) AC - NaOH (c) AC - NaOH - CTAB (Mazarji et al., 2017)

Prinsip kerja FTIR yaitu interaksi antara materi dan energi, inframerah akan melewati celah untuk mengontrol jumlah energi menuju sampel dan kemudian sebagian inframerah diserap oleh sampel serta sebagian ditransmisikan karena tidak terserap melalui permukaan sampel. Hal ini menyebabkan sinar inframerah lolos ke detektor dan sinyal yang terukur dikirim ke komputer sehingga dapat terbaca dan dianalisa. FTIR menggunakan sumber radiasi berupa sistem optik laser dan kemudian

radiasi inframerah akan menginterferesikan dengan tujuan sinyal radiasi diterima oleh detektor dengan kualitas baik dan bersifat utuh.

Spektra FTIR gambar 2.9 dari arang aktif granular komersial yang berbasis tempurung kelapa dan teraktivasi NaOH – termodifikasi CTAB menunjukkan puncak serapan baru pada  $2914\text{ cm}^{-1}$  berupa  $\text{CH}_2$  yang dikaitkan adanya vibrasi peregangan karena melekatnya surfaktan CTAB pada AC-NaOH. Sedangkan puncak serapan antara AC murni dengan AC setelah mendapat perlakuan alkali (NaOH) tidak secara signifikan mengubah posisi puncak. Puncak serapan pada  $3418\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya gugus OH pada AC dan terjadi peregangan pada AC – NaOH, AC – NaOH – CTAB. Selain itu, peregangan puncak serapan gugus C-O terjadi pada gelombang  $1136\text{ cm}^{-1}$ . Sedangkan peregangan gugus cincin aromatic C=C pada  $1575\text{ cm}^{-1}$  dan mengalami peningkatan intensitas karena adanya atom oksigen sebagai gugus fenol/ eter setelah perlakuan AC. Puncak serapan pada  $578\text{ cm}^{-1}$  terjadi vibrasi gugus C-X (Mazarji et al., 2017).

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

SAA merupakan instrumen yang digunakan untuk karakterisasi material, seperti menentukan diameter dan volume pori, luas permukaan spesifik material. Prinsip

kerja SAA berdasarkan adsorpsi-desorpsi gas adsorbat. Mekanisme dari adsorpsi gas berupa penyerapan gas (nitrogen, argon, helium) pada permukaan bahan padat yang akan dikarakterisasi di temperatur konstan, umumnya temperatur dingin dari gas tersebut. Dasar instrumen SAA hanya mengukur jumlah gas yang dapat diserap oleh permukaan padatan pada tekanan dan temperatur tertentu. Apabila permukaan padatan pada temperatur dan tekanan tertentu telah diketahui volume gas yang dapat diserap oleh adsorbat, secara teoritis total luas permukaan padatan dari molekul gas yang teradsorpsi dapat dihitung (Kusumaningtyas, 2017).

Metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) banyak digunakan untuk mengukur luas permukaan zat padat. Metode ini memiliki prinsip dasar adsorpsi fisik gas yaitu menentukan jumlah molekul gas yang dibutuhkan. Proses adsorpsi terjadi pada monolayer atau satu lapisan zat. Luas permukaan dan distribusi ukuran pori dari padatan umumnya ditentukan melalui pengukuran isoterm adsorpsi gas. Apabila area permukaan memiliki ukuran lebih dari 5 m<sup>2</sup>/g menggunakan nitrogen sebagai gas adsorptif. Jika luas permukaan yang ditempati oleh molekul adsorbat diketahui, luas permukaan padat dapat dihitung melalui jumlah molekul adsorbat.

Adsorpsi yang terjadi pada monolayer dikenal sebagai model adsorpsi metode BET, dapat dianalisis dengan persamaan:

$$\frac{1}{W\left[\frac{P_0}{P} - 1\right]} = \frac{1}{WmC} + \frac{C - 1}{WmC} \times \frac{P}{P_0} \quad (2.9)$$

Dengan P merupakan tekanan parsial gas (torr),  $P_0$  merupakan tekanan uap jenuh (torr), W merupakan berat gas yang diserap pada tekanan relatif  $P/P_0$ , sedangkan Wm berat gas yang diserap sebagai lapisan monolayer (mg) dan C merupakan konstanta BET.

Luas permukaan zat padat dapat ditentukan menggunakan kurva jumlah gas yang diserap pada permukaan gas yang diserap sebagai lapisan monolayer (Wm) sebagai fungsi tekanan gas (P) pada temperatur tertentu yang diberikan, disebut dengan kurva Wm-P yaitu kurva adsorpsi isothermal (Yusi, 2018).

### **c. UV - Visible Spectrophotometry (UV-Vis)**

Spektrofotometer UV-Vis merupakan instrumen untuk mengukur nilai transmittan/ absorban sebuah sampel melalui sumber cahaya di daerah ultraviolet dan daerah tampak pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan senyawa. Pengukuran serapan cahaya terjadi pada panjang gelombang untuk daerah spektrum ultraviolet berada pada rentang 200 - 400 nm, sedangkan sinar

tampak pada rentang 400 – 700 nm. Sinar tersebut menyebabkan elektron tereksitasi pada kulit terluar ke orbital lebih tinggi setelah atom atau molekul menyerap cahaya. Spektrofotometer UV-Vis juga berfungsi untuk mengukur kadar logam berat dalam suatu larutan yang diidentifikasi melalui kecepatan penyerapan dengan konsentrasi larutan sampel. Nilai absorbansi cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi larutan di dalam kuvet.

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis yaitu berfokus dispersi cahaya melalui cermin prisma dimana cahaya kemudian akan menyebar menjadi spektrum warna. Prinsip kerja instrumen ini dimulai dari cahaya utama dari lampu *wolfram* kemudian diteruskan melalui lensa monokromator dan filter cahaya fotometer. Cahaya tunggal yang memiliki panjang gelombang tertentu yang telah berhasil diubah sebelumnya oleh monokromator dilewatkan objek kaca (kuvet) berisi sampel zat dengan kandungan konsentrasi tertentu. Cahaya tersebut sebagian akan diserap ( $I$ ), dipantulkan ( $I_r$ ) dan dipancarkan ( $I_t$ ). Sistem yang bertanggung jawab terhadap absorbansi cahaya disebut kromofor yaitu gugus senyawa organik yang mampu menyerap sinar UV dan

tampak. Hasil nilai cahaya yang sampel serap diterima detektor.

Analisis hasil pengujian dilakukan menggunakan kurva kalibrasi dari hubungan konsentrasi deret larutan alat dengan konsentrasi rendah. Pengukuran penggunaan spektrofotometer dapat dilakukan secara kuantitatif berdasar hukum Lambert - Beer. Apabila suatu cahaya monokromatis dilewatkan media transparan, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan atau besarnya cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi larutan yang digunakan. Hal ini berdasarkan persamaan:

$$A = \log \frac{I_0}{I} = a \cdot b \cdot c = \varepsilon \cdot b \cdot c \quad (2.10)$$

Dengan  $A$  merupakan absorbansi,  $I_0$  dan  $I$  merupakan intensitas cahaya datang dan setelah melewati sampel,  $a$  dan  $\varepsilon$  merupakan tetapan absorptivitas molar (konsentrasi larutan dalam mg/L) dan (konsentrasi larutan yang diukur dalam molar) ,  $b$  merupakan tebal kuvet (umumnya 1 cm) dan  $c$  merupakan konsentrasi larutan yang diukur (Triwijaya, 2022).

## **B. Kajian Pustaka**

Song *et al.* (2015) melakukan adsorpsi ion Cr(VI) dengan zeolit - OHHZ - CPC dan berhasil mengadsorpsi sebesar 6,31 mg/g. Penelitian ini menjelaskan bahwa perlakuan aktivasi dengan asam maupun alkali sangat

mempengaruhi permukaan adsorben yang akan berdampak pada kapasitas adsorpsi ion Cr(VI). Perlakuan alkalisasi dijelaskan tidak melemahkan adsorpsi CPC ke zeolit, namun mempengaruhi afinitasnya terhadap Cr(VI). Sedangkan pengasaman menunjukkan permukaan memiliki permukaan lebih halus dengan situs aktif lebih banyak yang ditunjukkan kapasitas adsorpsi lebih maksimal pada *pre-treatment* pengasaman. Selain itu, penggunaan CPC melebihi CMC mengakibatkan terbentuknya lapisan ganda karena interaksi hidrofobik, dimana kepala kationik dari surfaktan akan mengarah ke larutan dan menjadi situs aktif untuk adsorpsi anion.

Studi penelitian lainnya dilaporkan telah berhasil melakukan modifikasi pada arang aktif setelah teraktivasi menggunakan surfaktan kationik berbasis arang aktif, seperti Mazarji *et al.* (2017) menggunakan NaOH-CTAB untuk adsorpsi nitrat. Penelitian ini menunjukkan bahwa luas permukaan tinggi belum menjamin kapasitas adsorpsi tinggi dimana gugus fungsi amonium kuarterner pada permukaan arang aktif memainkan peran dalam adsorpsi sehingga meningkatkan adsorpsi. Aktivasi berhasil meningkatkan luas permukaan dari 888 menjadi 901 m<sup>2</sup>/g dan turun menjadi 722 m<sup>2</sup>/g setelah modifikasi. Namun GAC-NaOH-CTAB memiliki persentase adsorpsi

mencapai 80%, yaitu 21,51 mg/g dari 20% tanpa modifikasi.

Karnjanakom & Maneechakr (2019) melakukan penelitian perilaku dan kapasitas adsorpsi ion Cr(VI) pada arang aktif lingkungan yang dimodifikasi surfaktan kationik berupa HDTMA dan DDAB. Penelitian ini menunjukkan kepolaran permukaan adsorben mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Perlakuan aktivasi fisik karbon menghasilkan kapasitas adsorpsi terbaik. Namun, penambahan modifikasi surfaktan mampu meningkatkan efisiensi karena adanya peningkatan muatan positif yang dikonfirmasi melalui nilai  $pH_{pzc} < pH$   $Cr_2O_7$  atau  $pH_{pzc} > 7$  dan peningkatan konsentrasi juga menjadi faktor pengaruh meningkatnya kapasitas adsorpsi.

Meneses *et al.* (2022) berhasil melakukan penelitian adsorpsi ion Cr(VI) dengan memanfaatkan cryogel karboksimetil selulosa (CMC)/ ampas tebu (BG) yang dimodifikasi dengan CTAB dan hasil penelitian menunjukkan modifikasi CTAB mampu meningkatkan adsorpsi ion Cr(VI) hingga 70% seiring peningkatan konsentrasi dari 15% sebelum modifikasi. Penelitian ini menjelaskan bahwa interaksi elektrostatik mendorong adsorpsi ion Cr(VI) pada kepala CTAB bermuatan positif.

Ji *et al.* (2024) melakukan modifikasi pada AC tempurung kelapa dengan surfaktan kationik CTAB, surfaktan anionik SDS, non-ionik tritton X-100 untuk adsorpsi PAH minyak kacang tanah dan masing – masing berhasil mengadsorpsi sebesar 97,51%, 97,23%, 93,98%, dimana terjadi peningkatan sebesar 4,47%, 4,17%, 6,35%.

### **C. Hipotesis Penelitian**

Aktivasi asam menggunakan  $H_3PO_4$  bertujuan untuk membuka dan memperbesar pori-pori. Selain itu meningkatkan kepolaran permukaan arang aktif tempurung kelapa karena bertambahnya situs aktif pada permukaan adsorben untuk mengadsorpsi ion Cr(VI). Surfaktan kationik CTAB memiliki gugus hidrofilik pada kepala ammonium kuartener bermuatan positif. Selain itu, penggunaan konsentrasi diatas nilai CMC menyebabkan surfaktan membentuk misel sehingga bagian luar surfaktan menyebabkan permukaan adsorben bermuatan positif, sehingga lebih banyak situs aktif yang tersedia. Oleh karena itu, yang dapat memberikan muatan positif pada permukaan adsorben. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan aktivasi asam dan pemuatan CTAB untuk modifikasi dengan harapan mampu mengadsorpsi dan memiliki efisiensi adsorpsi ion Cr(VI) lebih tinggi

dibandingkan tanpa aktivasi sebelum perlakuan modifikasi.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Penelitian mulai dilaksanakan bulan November 2023 untuk preparasi awal yaitu karbonisasi tempurung kelapa. Kemudian, bulan Februari sampai dengan Oktober tahun 2024 untuk aktivasi, modifikasi arang aktif, dan pengujian arang aktif yang telah teraktivasi  $H_3PO_4$  serta termodifikasi CTAB terhadap penurunan ion  $Cr(VI)$ .

Karakterisasi sampel menggunakan FTIR dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Semarang, SAA dilakukan di Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

#### **B. Alat dan Bahan**

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

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu peralatan gelas (pipet tetes, pipet volume, batang pengaduk, gelas beaker, corong gelas, erlenmeyer, labu ukur, buret), ayakan 100 mesh, spatula, kertas saring, aluminium foil, cawan porselin, *magnetic stirrer* DLAB MS-H-S10, pH universal Merck, *stopwatch*, blender, dan

instrumen berupa neraca analitik A&D HR-200; LQS; Pioneer, oven Memmert, *furnace* Thermolyne, desikator, spektrofotometer ultra-visibel (UV-Vis) Thermo Orion AquaMate 8000, *fourrier transform infrared spectroscopy* (FTIR) PerkinElmer, *surface area analyzers* (SAA) Quantachrome TouchWin v1.22.

## 2. Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu tempurung kelapa yang diperoleh dari pasar Mangkang Semarang, asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) Merck 40%, surfaktan CTAB dengan variasi konsentrasi 0,92 mM; 1,84 mM; 2,76 mM, kalium dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) Merck, 1,5-difenilkarbazida Merck, asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) Merck 96%, natrium hidroksida (NaOH) Merck, perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) Merck, akuades ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

## C. Metode

### 1. Preparasi Tempurung Kelapa (AA)

Limbah tempurung kelapa dari pasar tradisional Mangkang dicuci dengan air mengalir hingga bersih untuk menghilangkan kotoran yang melekat pada permukaan tempurung kelapa. Limbah dikeringkan dibawah sinar matahari dan dilanjutkan menggunakan oven pada temperature  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Selanjutnya, limbah dilakukan karbonisasi menggunakan *furnace* pada

temperature 700°C selama 1 jam. Hasil karbonisasi berupa arang dihaluskan menggunakan blender dan diayak dengan ayakan 100 mesh (Khuluk dan Rahmat, 2019). Arang yang telah dihaluskan (AT) dilakukan uji SNI 06-3730-1995, FTIR, SAA.

## **2. Aktivasi Arang Tempurung Kelapa (AAT)**

Sebanyak 200 g dimasukkan ke dalam gelas beaker dan ditambahkan 400 mL H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 40%. Gelas beaker ditutup aluminium foil dan dilubangi untuk keluarnya uap. Campuran keduanya diaduk menggunakan *magnet stirrer* pada temperatur ruang selama 3 jam dan dilanjutkan perendaman selama 15 jam. Kemudian disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Residu dipindahkan ke cawan petri dan dilakukan penimbangan sebelum dan sesudah dikeringkan pada temperatur 105°C selama 24 jam, didapatkan arang teraktivasi (AAT) (Lesaoana et al., 2019). AAT dilakukan uji SNI 06-3730-1995, FTIR, SAA.

## **3. Modifikasi Arang Tempurung Kelapa (AAM)**

Sebanyak 0,167 g, 0,332 g, 0,498 g CTAB dimasukan kedalam 1 L akuades untuk membuat larutan CTAB konsentrasi 0,92 mM, 1,84 mM, 2,76 mM. AT dan AAT masing-masing dimasukkan ke dalam gelas beaker berisi larutan CTAB dengan variasi sesuai tabel 3.1. Campuran

larutan diaduk menggunakan *magnet stirrer* selama 5 jam pada temperatur ruang. Setelah termodifikasi, padatan arang termodifikasi (AAM) disaring dan dicuci beberapa kali dengan akuades. AAM dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Selanjutnya disimpan dalam desikator sampai digunakan (Mazarji et al., 2017). AAM dianalisis dengan FTIR, SAA.

**Tabel 3.1** Variasi Modifikasi Adsorben Arang Tempurung Kelapa

Nama Variasi Adsorben	Arang Aktif (AA)	AA +H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (AAT)	Konsentrasi CTAB
AA + 0,92	30 g	-	0,92 mM
AA + 1,84	30 g	-	1,84 mM
AA + 2,76	30 g	-	2,76 mM
AAT + 0,92	-	30 g	0,92 mM
AAT + 1,84	-	30 g	1,84 mM
AAT + 2,76	-	30 g	2,76 mM

#### 4. Karakterisasi Adsorben Tempurung Kelapa

##### a. Parameter Arang Aktif: Uji SNI 06-3730-1995

Mengacu SNI 06-3730-1995 mengenai arang aktif, sebagai berikut:

##### 1) Kadar Air

Sebanyak 1 g arang aktif dimasukkan dalam cawan porselein yang telah diketahui massanya. Kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C hingga diperoleh massa konstan. Kadar air dapat dihitung dengan persamaan:

$$Kadar\ air = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dengan a adalah berat arang aktif mula-mula (g) dan b adalah berat arang aktif setelah dikeringkan (g). Kadar air maksimal untuk arang aktif serbuk berdasarkan peraturan SNI 06-3730-1995 yaitu  $\leq 15\%$ .

## 2) Kadar Abu Total

Sebanyak 1 g arang aktif diletakkan di cawan porselein kemudian dipanaskan dalam oven pada temperatur  $105^{\circ}\text{C}$  sampai diperoleh massa konstan. Selanjutnya diabukan menggunakan *furnace* pada temperatur  $650^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam. Setelah selesai, didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

Kadar abu yang dihitung dengan persamaan:

$$Kadar\ abu = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Kadar air maksimal untuk arang aktif serbuk berdasarkan peraturan SNI 06-3730-1995 yaitu  $\leq 10\%$ .

## 3) Kadar Zat Menguap (Volatil)

Arang aktif yang telah kering dipanaskan dalam *furnace* pada temperatur  $950^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

$$Kadar\ Volatil = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dengan a adalah berat arang aktif (g) dan b adalah berat arang aktif setelah pemanasan (g).

#### 4) Kadar Karbon

Kadar karbon dapat ditentukan melalui selisih persentase total dengan jumlah persentase kadar air, kadar zat mudah menguap dan kadar abu dari arang aktif.

#### **b. Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR**

Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi permukaan dari sampel yang diuji berupa arang aktif sebelum dan sesudah termodifikasi dengan CTAB. Sampel AT, AAT dan AAM dibuat pelet yang tipis dengan bubuk KBr kemudian dikarakterisasi dengan spektrum pada panjang gelombang 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

#### **c. Karakterisasi Luas Permukaan dengan SAA**

Karakterisasi dengan SAA bertujuan untuk menentukan luas permukaan dari sampel AT, AAT dan AAM dimana luas padatan sampel dapat dihitung menggunakan metode BET. Luas permukaan dianalisis dengan persamaan 2.7.

## 5. Aplikasi Adsorpsi

### a. Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Tahap adsorpsi uji aplikasi awal ini untuk menentukan kemampuan adsorpsi dari AAM terhadap Cr(VI). Hasil adsorpsi dengan kapasitas optimum dari AAM akan digunakan lebih lanjut pada penelitian ini.

Sebanyak 0,2 g AAM masing-masing konsentrasi dimasukkan ke dalam erlemeyer 30 mL yang telah berisi larutan Cr(VI) dengan konsentrasi 25 mg/L pada pH awal 4. Kemudian dilakukan pengadukan pada temperatur  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali dan kemudian dianalisis menggunakan UV-Vis (El-kordy et al., 2023).

## 6. Optimasi Kondisi Adsorpsi ion Cr(VI)

### a. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 0,2 g AAM ditimbang dan dimasukkan kedalam masing-masing erlenmeyer yang berisi 20 mL larutan Cr(VI) konsentrasi 100 mg/L dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 7, 10. Kemudian diaduk menggunakan *magnet stirrer* pada temperatur  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit. Setelah selesai, AAM didiamkan selama 15 menit dan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat diukur absorbansinya dengan UV-Vis (Lesaoana et al., 2019).

b. Penentuan Konsentrasi Optimum

Sebanyak 0,2 g AAM ditimbang dan dimasukkan kedalam masing-masing erlenmeyer yang berisi 20 mL larutan Cr(VI) dengan variasi konsentrasi 75, 100, 125, 150, 175, 200 mg/L. Adsorpsi dilakukan pada pH optimum dan diaduk menggunakan *magnet stirrer* pada temperatur  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit. Setelah selesai, AAM didiamkan selama 15 menit dan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat diukur absorbansinya dengan UV-Vis (Lesaoana et al., 2019).

c. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 0,2 g AAM ditimbang dan dimasukkan kedalam masing-masing erlenmeyer yang berisi 20 mL larutan Cr(VI) konsentrasi optimum. Adsorpsi dilakukan pada pH optimum dan diaduk menggunakan *magnet stirrer* pada temperatur  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ . Pengadukan dilakukan dengan variasi waktu kontak 15, 30, 60, 120, 180, 300 menit. Setelah selesai, AAM didiamkan selama 15 menit dan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat diukur absorbansinya dengan UV-Vis (Lesaoana et al., 2019).

## 7. Penentuan Kapasitas Adsorpsi ion Cr(VI) dengan UV-Vis

Karakterisasi menggunakan UV-Vis bertujuan untuk menentukan kadar Cr(VI).

### a. Penentuan $\lambda$ maksimum

Penentuan  $\lambda_{\text{maks}}$  bertujuan untuk memberikan absorbansi maksimum sehingga diperoleh kepekaan sampel yang mengandung Cr(VI) secara maksimal, kurva absorbansi linear dan ketika dilakukan pengukuran berulang menghasilkan hasil yang konstan. Pengukuran  $\lambda_{\text{maks}}$  menggunakan larutan standar Cr(VI) 1 mg/L dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 550 – 650 nm dengan interval 1 nm.

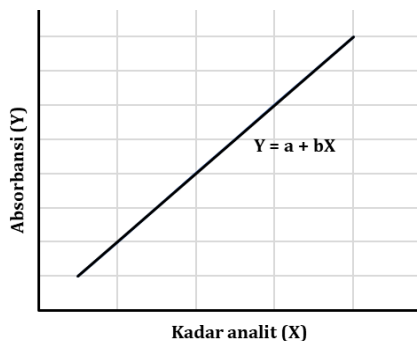
### b. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Larutan induk Cr(VI) 1000 mg/L dibuat dengan melarutkan 1,414 g  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  dalam labu ukur 500 mL. Kemudian dilarutkan dengan demineral yang telah ditambahkan 5 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan 2 mL  $\text{H}_3\text{PO}_4$  didalamnya. Penambahan dilakukan hingga tanda tera. 10 mL larutan induk dilakukan pengenceran untuk membuat larutan baku 100 mg/L dalam 100 mL. 0,1; 0,2 mL; 0,4 mL; 0,5 mL; 0,6 mL; 0,8 mL; 1 mL larutan baku 100 mg/L diencerkan kembali dalam 100 mL untuk

membuat larutan standar konsentrasi 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1 mg/L.

Larutan standar Cr(VI) masing - masing konsentrasi dimasukkan dalam erlenmeyer 100 mL dan ditambahkan demineral hingga tanda tera. Kemudian ditambahkan 1 mL 1,5-difenilkarbazida. Larutan dihomogenkan dan didiamkan dalam rentang 5 - 10 menit. Larutan diukur absorbansinya pada  $\lambda_{maks}$  yang telah diperoleh (Sulistiyowati dan Yanti, 2021).

Absorbansi masing-masing larutan sampel dicatat dan dibuat kurva kalibrasi. Masing-masing hasil pengukuran dibuat kurva A terhadap konsentrasi larutan standar sehingga diperoleh garis lurus.



**Gambar 3.1** Kurva Kalibrasi

c. Penentuan Konsentrasi Cr(VI)

Penentuan kadar Cr(VI) dilakukan dengan pengulangan 2 kali dan didapatkan nilai absorbansi. Penentuan konsentrasi Cr(VI) dari nilai absorbansi

dapat diketahui melalui ekstrapolasi sesuai persamaan 3.4.

$$Y = a + bX \quad (3.4)$$

Dengan Y merupakan respon instrumen (absorbansi), X merupakan kadar analit, a dan b merupakan konstanta intersep dan slope (kemiringan).

### 8. Penentuan Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi hasil percobaan ditentukan menggunakan dua model, yaitu model *Langmuir* dan *Freundlich*. Penentuan adsorpsi model isoterm *langmuir* ditentukan dengan membuat grafik antara  $\frac{C_e}{q_e}$  sebagai Y dan  $C_e$  sebagai X sesuai persamaan 2.4. Sedangkan isoterm *freundlich* dibuat grafik antara  $\log Q_e$  sebagai Y dan  $\log C_e$  sebagai X sesuai persamaan 2.6.

### 9. Penentuan Kinetika Adsorpsi

Hasil percobaan dianalisis menggunakan dua model kinetika, yaitu orde satu semu dan orde dua semu. Analisis kinetika adsorpsi dipelajari melalui variasi waktu kontak adsorpsi dan laju adsorpsi arang aktif termodifikasi. Kinetika orde satu semu dibuat grafik dengan  $\log (Q_e - Q_t)$  sebagai Y dan t sebagai X sesuai persamaan 2.7. sedangkan kinetika orde dua semu dibuat grafik dengan  $\frac{t}{Q_t}$  sebagai Y dan t sebagai X sesuai persamaan 2.8.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan serta membahas data hasil dari penelitian pemanfaatan adsorben arang aktif dari tempurung kelapa yang dimodifikasi dengan surfaktan *cetyl trimethyl ammonium bromide* (CTAB) untuk adsorpsi logam kromium(VI). Pembahasan meliputi langkah preparasi, aktivasi, hingga modifikasi dari arang aktif tempurung kelapa dan hasil karakteristik arang aktif -  $H_3PO_4$  (AAT), arang aktif - CTAB / arang aktif -  $H_3PO_4$  - CTAB (AAM) berdasarkan uji SNI, FTIR, SAA. Uji kapasitas adsorpsi dari modifikasi arang aktif dilakukan pada kondisi optimum, meliputi pH, konsentrasi, waktu kontak terhadap kromium(VI) dengan UV-Vis.

#### **A. Preparasi Arang Aktif Tempurung Kelapa (AA) dan Aktivasi AA (AAT)**

Sampel tempurung kelapa yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pasar Mangkang, Semarang. Selain keberadaannya yang berlimpah dan menjadi limbah di lingkungan pasar, pemilihan tempurung kelapa sebagai bahan dasar karbon aktif disebabkan memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu, strukturnya yang padat dapat dijadikan sebagai sumber karbon yang tinggi dibandingkan unsur non-karbonnya (Darminto et al., 2018). Tempurung kelapa dipreparasi dengan tahapan

pencucian, pengeringan, dan karbonisasi. Pencucian dengan air mengalir bertujuan untuk membersihkan kotoran yang masih tertempel di tempurug kelapa, seperti tanah, serabut, ataupun kotoran lainnya. Proses dehidrasi selanjutnya dilakukan dibawah sinar matahari secara langsung selama 3 hari dan pengovenan pada suhu 105°C. Proses ini dilakukan karena umumnya tempurug kelapa dalam keadaan basah dimana kadar air dapat memengaruhi proses karbonisasi, sehingga bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam tempurug kelapa (Wahyuni et al., 2022).



**Gambar 4.1** Tahap Preparasi Tempurug Kelapa a) Pencucian dengan Air Biasa, b) Pencucian dengan Akuades, c) Pengeringan, dan d) Karbonisasi (Dokumentasi Pribadi)

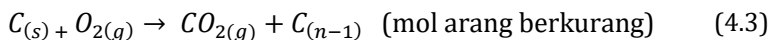
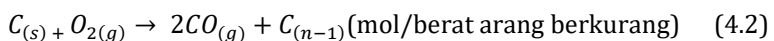
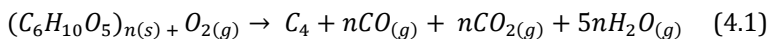
Karbonisasi tempurug kelapa kering kemudian dilakukan dengan *furnace* pada temperatur 700°C. Proses karbonisasi berfungsi untuk mengubah bahan organik (selulosa) tempurug kelapa menjadi karbon dan

pengeluaran unsur non-karbon melalui proses pembakaran tidak sempurna dengan udara seminimal mungkin. Pembakaran sampel tempurung kelapa menjadi arang dilaporkan dapat meningkatkan kandungan karbon. Tujuan dilakukannya karbonisasi sebelum proses aktivasi kimia yaitu untuk menghasilkan adsorben dengan kandungan karbon lebih banyak karena dalam proses ini sebagian besar senyawa volatil hilang atau menguap sehingga meningkatkan kandungan karbon yang cukup tinggi dibandingkan aktivasi sebelum proses karbonisasi menghasilkan kandungan oksigen pada bahan baku lebih tinggi (Sudibandriyo, 2011).

Pembakaran bahan baku tempurung kelapa pada penelitian ini mengalami penurunan massa dari  $\pm 3$  kg menjadi 848,81 gram, artinya tempurung kelapa mengandung komponen arang (karbon) dengan persentase rendemen sebesar  $\pm 28,30\%$ , zat volatil sebesar  $\pm 70\%$ . Kondisi ini sesuai dengan penjelasan C.E dan Muiyawa (2008), Darminto, Baqiya dan Asih (2018), dan Wahyuni *et al.* (2022) bahwa tempurung kelapa mengandung sekitar 65-75% zat volatil dan air yang sebagian besar dihilangkan selama proses karbonisasi, artinya menghasilkan berat karbon sekitar 35-25% pada temperatur 500 - 700°C. Perhitungan persentase

dilakukan menggunakan perbandingan bobot karbon dihasilkan dengan bahan baku awal.

Pengurangan massa sampel dalam proses karbonisasi dijelaskan oleh Darminto, Baqiya dan Asih (2018) dalam penelitiannya disebabkan terjadinya pemutusan rantai polimer, unsur hidrogen, oksigen, nitrogen, dan akan menghasilkan unsur karbon yang tinggi. Selain itu, penurunan kuantitas arang secara signifikan juga kemungkinan disebabkan faktor suhu karbonisasi yang tinggi dimana menyebabkan pembakaran atau oksidasi yang berlebihan dan dapat mengakibatkan runtuhnya struktur pori yang mendominasi pada suhu yang lebih tinggi dan waktu karbonisasi yang lebih lama. Pada suhu karbonisasi yang tinggi memungkinkan terjadinya proses oksidasi yang berlebihan (konversi karbon arang menjadi CO atau CO<sub>2</sub>) (C.E dan Muiywa, 2008). Penelitian ini menunjukkan bahwa karbonisasi tempurung kelapa melibatkan penguapan yang mengakibatkan terbentuknya arang pada karbonisasi penuh. Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut:

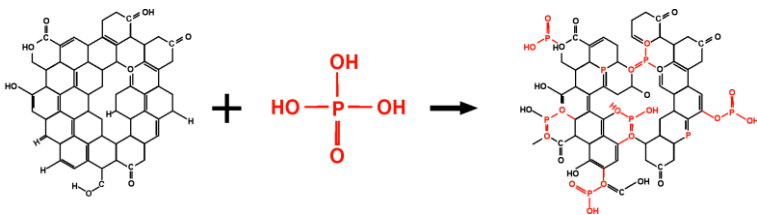


(C.E dan Muiyiw, 2008)

Arang tersebut selanjutnya dihaluskan dengan blender dan diayak menggunakan ayakan ukuran 100 mesh yang bertujuan untuk memperoleh ukuran partikel serbuk arang aktif  $\geq 0,1$  mm dan menghasilkan ukuran lebih seragam (homogen). Selain itu, arang hasil pembakaran lebih mudah untuk dihaluskan dibandingkan dengan tempurung kelapa mentah (Darminto et al., 2018). Proses pembakaran menyebabkan terbentuknya pori-pori karbon, meskipun kecil karena adanya penyumbatan partikel abu pada pori. Sehingga, proses aktivasi dibutuhkan dengan tujuan untuk mengembangkan porositas dan menciptakan struktur yang mengarah pada pembentukan rongga-rongga karbon pada karbon aktif yang telah terbentuk (Heidarinejad *et al.*, 2020, Wahyuni *et al.*, 2022).

Arang selanjutnya diaktivasi menggunakan larutan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) 40% pada temperatur ruang selama 3 jam dengan perbandingan massa arang dan activator sebesar 1 : 2, yaitu 200 gram : 400 mL.  $H_3PO_4$  memiliki lebih sedikit Batasan dalam kontaminasi lingkungan serta memerlukan suhu aktivasi yang lebih rendah (Heidarinejad et al., 2020). Aktivasi kimia merupakan proses oksidasi basah yang bertujuan untuk memurnikan

arang dari pengotor-pengotornya, memutuskan rantai karbon serta mengikat mineral yang belum terlepas selama proses karbonisasi pada arang.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dalam aktivasi memfasilitasi penghapusan zat tar di pori-pori dan sebagai tempat untuk menciptakan mikroporositas (Villota et al., 2019). Hal ini disebabkan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sebagai agen pembersih dan dehidrasi yang mendorong proses pembelahan ikatan hidrolisis, dehidrasi, kondensasi, serta memfasilitasi reaksi ikatan silang antara asam dan struktur alifatik dalam biomassa yang dapat melindungi struktur pori internal karbon aktif yang dihasilkan (Oginni et al., 2019).



**Gambar 4.2** Mekanisme Reaksi Aktivasi Arang dengan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (Esterlita dan Herlina, 2015, Oginni et al., 2019)

Reaksi aktivasi dengan asam  $\text{H}_3\text{PO}_4$  bertujuan untuk mengubah struktur pori agar lebih terbuka. Mekanisme reaksi yang terjadi pada gambar 4.2 dimulai saat pencampuran, agen aktif dari  $\text{H}_3\text{PO}_4$  masuk diantara rantai karbonil pada karbon tempurung kelapa akan mengganggu ikatan hidrogen dan menggantikannya

dengan ikatan karbon fosfat yang mana berlangsung secara terus menerus untuk memecah-mecah rantai hingga ke seluruh bagian struktur molekul (Riyanto et al., 2021). Proses ini mengarahkan pada pembentukan produk dalam bentuk zat volatil yang berdampak pada ukuran pori yang telah terbentuk, sehingga terjadi peningkatan daya serap arang aktif karena perubahan sifat fisika maupun kimia. Secara umum, aktivasi asam menyebabkan hilangnya unsur mineral dan memperbaiki sifat hidrofilik permukaan, sehingga permukaan karbon akan memiliki lebih banyak akses ke fase berair (Heidarinejad et al., 2020).

Arang kemudian dicuci dengan akuades hingga pH netral atau disebut dengan pembilasan akhir. Tujuan proses pencucian ini untuk memulihkan zat aktif berupa struktur pori dengan menghilangkan residu hasil reaksi yang masih larut dan menempel pada arang, sisa aktivator, serta kandungan abu (Heidarinejad et al., 2020). Kemudian pengovenan pada temperatur 105°C dilakukan untuk menguapkan residu yang dihasilkan saat proses aktivasi serta didapatkan arang yang terbebas dari air (Rahmawanti dan Dony, 2024).



**Gambar 4.3** Tahap Preparasi Tempurung Kelapa (a) Setelah Aktivasi dengan  $H_3PO_4$  dan Pembilasan hingga pH Netral, (b) Setelah Dioven Suhu  $105^\circ C$  (Dokumentasi Pribadi)

**Tabel 4.1** Hasil Proses Pencucian dan Pengeringan Arang Aktif

Perbandingan (arang : aktivator $H_3PO_4$ )	Massa awal aktivasi (g)	Massa arang + aktivator (g)	Massa arang kering (g)	Jumlah massa yang hilang karena reaksi (g)	Ren- demen arang aktif
1 : 2	200	283,27	141,89	141,38	70,95%

Berdasarkan tabel 4.1, massa arang tempurung kelapa setelah proses aktivasi dan pencucian lebih besar dibandingkan massa arang awal yang digunakan. Kondisi ini disebabkan masih adanya reaktor yang tersisa dan kandungan air yang tersisa. Selain itu, terjadinya reaksi antara arang dengan aktivator juga menyebabkan hilangnya sebagian massa sehingga jumlah arang setelah aktivasi menjadi berkurang. Jumlah massa yang hilang

karena reaksi didapat dari perhitungan jumlah massa arang dan aktivator dikurangi massa kering setelah aktivasi dan pencucian dan didapatkan pengurangan massa sekitar  $\pm 29\%$ , dari 200 gram menjadi 141,89 gram.

Pengurangan massa arang setelah aktivasi juga dijelaskan oleh Muhajir, Machdar dan Mariana (2021) disebabkan keluarnya unsur-unsur seperti tar, hidrokarbon, serta unsur yang masih tersisa pada arang sebelum teraktivasi. Selain itu, pencucian secara berulang juga menjadi faktor terbuangnya sebagian arang teraktivasi. Sehingga didapatkan rendemen arang teraktivasi sebesar 70,95% yang mana didapat dari perhitungan berat arang akhir dibagi berat bahan awal dikali 100%. Hasil serbuk arang tempurung kelapa teraktivasi dapat dilihat pada gambar 4.4.

## **B. Modifikasi Arang Tempurung Kelapa (AAM)**

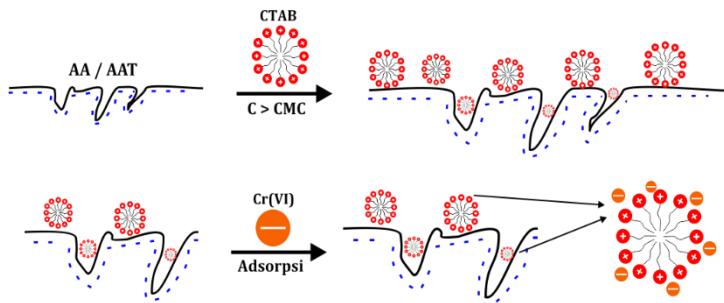
Modifikasi arang teraktivasi dilakukan dengan surfaktan kationik *cetyl trimethyl ammonium bromide* (CTAB) bertujuan untuk mengubah sifat adsorben menjadi lebih hidrofobik dan hidrofilik dengan mengikat CTAB pada permukaan arang aktif. Kondisi ini disebabkan surfaktan CTAB memiliki sifat *amphiphilic*, yaitu gugus hidrofobik berupa rantai alkil ( $C_{16}H_{33}$ ) dan hidrofilik pada kepala ammonium kuartener bermuatan positif

( $N^+(CH_3)_3$ ). Pemuatan surfaktan CTAB pada adsorben dalam larutan berair menyebabkan interaksi antara kepala hidrofilik ( $N^+(CH_3)_3$ ) dengan gugus polar permukaan arang, seperti gugus karboksilat ( $-COOH$ ), fosfat ( $-PO_4^{2-}$ ), karbonil ( $-C=O$ ), hidroksil/ hidroksil terionisasi yang menyebabkan muatan negatif di permukaan arang aktif ( $-OH / -O^-$ ). Interaksi yang terjadi menyebabkan gugus hidrofobik menjauhi permukaan polar adsorben menuju ke larutan setelah berikatan dengan permukaan arang.

Pemuatan surfaktan pada adsorben menyebabkan bagian hidrofobik (negatif) dari molekul CTAB akan menutupi permukaan karbon aktif dan sedangkan bagian hidrofilik (positif) akan menggantung dalam fase air yang berfungsi untuk mengikat anion  $Cr(VI)$  saat adsorpsi didasari oleh daya tarik elektrostatis antara gugus kepala kationik dengan adsorbat. Kondisi ini menyebabkan peningkatan adsorpsi molekul target. Namun, pemuatan molekul CTAB pada permukaan juga menyebabkan tersumbatnya pori-pori pada permukaan, sehingga akan mengurangi kapasitas pori atau luas permukaan. Namun, adanya daya tarik elektrostatis menjadi mekanisme utama adsorpsi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi (Mondal dan Majumder, 2021). Lin *et al.*, (2013) menjelaskan bahwa misel CTAB mungkin dapat berdifusi dengan efektif

ke dalam struktur pori karbon aktif karena ukurannya yang relatif lebih kecil. Namun, pemuatan CTAB dapat menjadi stabil pada konsentrasi surfaktan lebih tinggi.

Interaksi molekul surfaktan dengan permukaan adsorben mengakibatkan perubahan sifat permukaan arang aktif. Perubahan ini dipengaruhi oleh konsentrasi dari surfaktan yang akan berdampak pada pembentukan permukaan adsorben. Pada penelitian ini, variasi konsentrasi CTAB untuk modifikasi dilakukan dengan 3 variasi, tepat nilai konsentrasi misel kritis (CMC) hingga dua kali diatas CMC. Nilai CMC CTAB yaitu sebesar 0,92 mM (Nabi *et al.*, 2018; Karnjanakom dan Maneechakr, 2019). Variasi konsentrasi dilakukan untuk mengetahui efisiensi penambahan surfaktan pada arang aktif tempurung kelapa untuk mengadsorpsi anion Cr(VI) seiring peningkatan nilai CMC.



**Gambar 4.4** Ilustrasi Surfaktan Berikatan dengan Arang Aktif dan Cr(VI) Teradsorpsi Adsorben (Arnelli, Guswini dan Suseno, 2022; Meneses et al., 2022)

Galih N R Pargiman, Arnelli dan Astuti (2018) menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi surfaktan yang digunakan akan memengaruhi interaksi yang terjadi pada permukaan arang aktif untuk semakin meningkat. Peningkatan konsentrasi CTAB pada tahap modifikasi dengan nilai diatas CMC membentuk misel lamellar dimana ketika misel telah berinteraksi dengan arang aktif, kepala hidrofilik CTAB akan mencari situs aktif yang memiliki muatan berlawanan dari arang aktif (Ilustrasi gambar 4.5) (Arnelli et al., 2022). Selain itu, seiring meningkatnya konsentrasi mendekati CMC, pembentukan misel dapat mengakibatkan terbentuknya lapisan misel lamellar melalui interaksi hidrofob dari rantai alkil (Putra et al., 2022).

Arang aktif termodifikasi selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan akuades berulang kali dan dilanjutkan pengujian dengan larutan  $\text{AgNO}_3$ . Pencucian dilakukan untuk menghilangkan residu ion-ion anorganik bebas dari surfaktan yang tidak terikat pada permukaan arang aktif. Kemudian penambahan  $\text{AgNO}_3$  pada filtrat bertujuan menguji keberadaan ion seperti  $\text{Br}^-$  yang tidak terikat pada permukaan, yaitu untuk memastikan bahwa ion  $\text{Br}^-$  telah bersih dari arang aktif yang dapat dilihat dari tidak terbentuknya endapan  $\text{AgBr}$ .

## C. Karakterisasi Arang Aktif

### 1. Uji SNI 06-3730-1995

**Tabel 4.2** Persentase Kadar Arang Aktif

Variasi	Persentase Kadar (%)		
	Air	Abu	Volatil
Arang Tempurung Kelapa (AA)	7,833	0,542	93,1
Arang Teraktivasi ( $H_3PO_4$ ) (AAT)	8,053	0,109	90,9
AA + 0,92 mM	8,467	1,420	89,3
AAT + 0,92 mM	7,700	0,108	91,8
AA + 1,84 mM	8,900	1,207	89,6
AAT + 1,84 mM	7,600	0,108	91,4
AA + 2,76 mM	6,067	0,852	93,3
AAT + 2,76 mM	9,867	0,333	111,1

#### a. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui sifat higroskopis dari sampel AA, AAT, dan AAT + CTAB melalui metode gravimetri, yaitu dengan menguapkan komponen yang tidak diinginkan (air) pada temperature 105°C. Uji ini bertujuan untuk memaksimalkan dehidrasi arang karena kandungan air yang terjebak dalam rongga akan menguap, sehingga pori-pori arang semakin terbuka dan afinitas terhadap air tinggi. Penentuan kadar air dilakukan dengan penimbangan bobot konstan sampel sebelum diuapkan kandungan airnya dengan sesudah dilakukan penguapan arang aktif (Verayana et al., 2018).

Berdasarkan tabel 4.2, persentase kadar air yang ditunjukkan dari penelitian ini tidak jauh berbeda, yaitu berkisar 6 – 9,8%. Hasil tersebut memenuhi syarat baku mutu arang aktif mengacu SNI 06-3730-1995 bahwa kadar maksimum adalah 15%. Putri dan Wildansyah (2018) menjelaskan bahwa tingginya kadar air arang teraktivasi  $H_3PO_4$  maupun setelah termodifikasi dipengaruhi oleh semakin besarnya konsentrasi larutan yang digunakan dan lamanya waktu perendaman dengan pengaktif, sehingga mengurangi kadar tar yang berdampak pada pori-pori semakin besar dan kadar air juga meningkat. Rendahnya kadar air pada arang termodifikasi dibandingkan arang aktif murni dikaitkan dengan sifat hidrofobik surfaktan yang mengakibatkan berkurangnya afinitas AA maupun AAT terhadap air karena terhalangnya penyerapan molekul air ke dalam struktur pori.

#### b. Uji Kadar Abu

Kadar abu merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kualitas, sifat dari arang aktif. Verayana, Paputungan dan Iyabu (2018) menjelaskan bahwa kadar abu diasumsikan sebagai sisa mineral yang tertinggal ketika dibakar. Hal ini juga disebabkan tertinggalnya sebagian mineral yang belum hilang saat karbonisasi dan aktivasi, sehingga masih terdapat kandungan lain selain karbon, seperti

mineral. Nilai kadar abu menunjukkan jumlah sisa zat mineral yang tidak hilang selama prose pembakaran.

Proses ini dilakukan menggunakan *furnace* pada temperatur 650°C selama 4 jam yang bertujuan untuk mengetahui oksida-oksida logam dalam karbon aktif, berupa mineral yang *non-volatile* saat karbonisasi. Darminto, Baqiya dan Asih (2018) menjelaskan bahwa pada suhu 650°C, selulosa, hemiselulosa, lignin pada karbon akan terdekomposisi menjadi gas CO dan CO<sub>2</sub> menyisakan residu anorganik berupa abu. Namun, keberadaan abu berlebihan menyebabkan penyumbatan pori karbon aktif yang akan berdampak pada kualitas karbon aktif sebagai adsorben yaitu berkurangnya luas permukaan.

Tabel 4.2 menunjukkan persentase kadar abu yang sangat kecil berkisar 0,1 – 1,4% dan hasil ini memenuhi syarat baku mutu arang aktif mengacu SNI 06-3730-1995 bahwa kadar maksimum adalah 10%. Arang aktif teraktivasi (AAT) dan AAT termodifikasi menunjukkan kadar abu lebih rendah dibandingkan arang aktif murni maupun termodifikasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> memengaruhi kadar abu pada arang aktif, dimana larutan aktivasi dapat menyerap mineral pada prekursor arang aktif sehingga mencegah terbentuknya abu pada arang aktif (Putri dan Wildansyah, 2018).

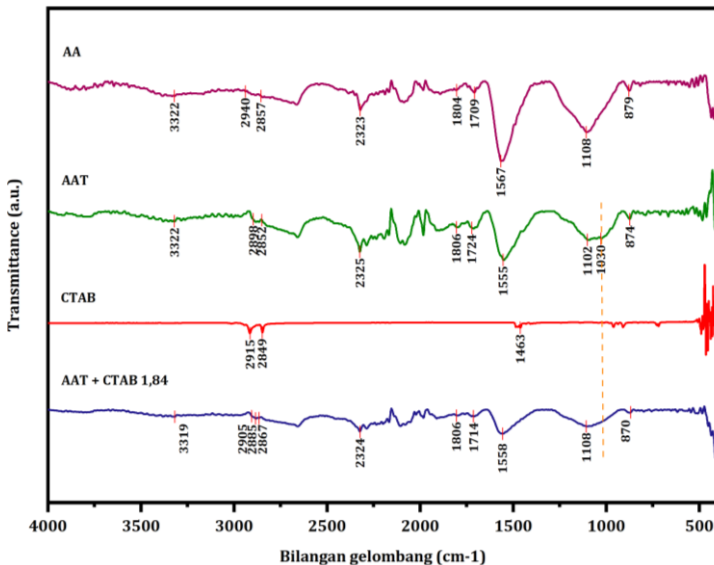
### c. Uji Kadar Zat Menguap

Pengujian kadar zat menguap dilakukan untuk mengetahui kandungan senyawa mudah menguap yang masih terkandung didalam AA, AAT, AAT/ AA + CTAB, seperti H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, serta uap-uap yang mengembun seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Putri dan Wildansyah, 2018). Tinggi rendahnya nilai uji kadar zat volatil menunjukkan bagaimana keberhasilan proses aktivasi telah menghilangkan bahan volatil atau pengotor dari karbon aktif. Selain itu, Kemampuan daya serap arang aktif dipengaruhi besarnya kadar zat menguap, dimana jika nilai tersebut terlalu tinggi akan berdampak pada daya adsorpsi yang rendah (Muhajir et al., 2021). Uji ini dilakukan dalam *furnace* suhu 900°C karena pada suhu yang cukup tinggi, komponen volatil, seperti sisa kandungan air, senyawa organik ringan, zat lain yang dapat menguap akan terurai dari karbon aktif serta tidak mengalami dekomposisi yang dapat mempengaruhi struktur porositas dari karbon aktif.

Berdasarkan tabel 4.2, nilai persentase kadar zat menguap antara AA, AAT, AA/AAT + CTAB berkisar 89 – 111%. Nilai ini menunjukkan bahwa seluruh variasi tidak memenuhi syarat baku mutu mengacu SNI 06-3730-1995, yaitu maksimal 25%.

#### D. Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Karakterisasi FTIR arang tempurung kelapa (AA), arang teraktivasi  $H_3PO_4$  (AAT), CTAB, dan AAT termodifikasi CTAB (AAT + CTAB 1,84) bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi yang ada sebelum dan sesudah aktivasi dengan  $H_3PO_4$  serta termodifikasi CTAB. Selain itu, karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui apakah sesudah proses aktivasi dan modifikasi, surfaktan CTAB berhasil terikat pada karbon aktif. Hasil spektrum FTIR dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.5** Spektrum FTIR AA, AAT, CTAB, AAT + CTAB 1,84

**Tabel 4.3** Perbedaan Bilangan Gelombang AA dan AAT

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )		
	Referensi	AA	AAT
O-H	3448 <sup>a</sup> ; 3415 <sup>b</sup> ; 3442 <sup>b</sup> ; 3691 <sup>c</sup> ; 3434 <sup>f</sup>	3322	3322
C-H alifatik, <sup>f</sup> C-H asimetrik	2924-2862 <sup>a</sup> ; 2920 <sup>f</sup>	2940-2857	2898-2852
C=O	2337 <sup>a</sup> ; 2357 <sup>b</sup> ; 2360 <sup>b</sup>	2323	2325
C=O	1708 & 1743 <sup>d</sup> ; 1687 <sup>f</sup>	1709	1724
C=C Aromatik	1681-1427 <sup>a</sup> ; 1543 <sup>b</sup> ; 1556 <sup>b</sup> ; 1600 <sup>c</sup> ; 1550 <sup>f</sup>	1567	1555
C-O	1381-833 <sup>a</sup> ; 1122 <sup>b</sup> ; 1120 <sup>b</sup> ; 1061 <sup>d</sup>	1108	1102
P=O, <sup>f</sup> P-O-C/ P-O-P/ C-O-C	1035 <sup>c</sup> ; 1174 <sup>e</sup> ; 1153-976 <sup>f</sup>	-	1030
C-H Aromatik	756-486 <sup>a</sup>	879	874

<sup>a</sup>Rampe *et al.*, (2021); <sup>b</sup>Sujiono *et al.*, (2022); <sup>c</sup>Waghmare *et al.*, (2024); <sup>d</sup>Lesaoana *et al.*, (2019); <sup>e</sup>Galih N R Pargiman, Arnelli dan Astuti, (2018); <sup>f</sup>Liang *et al.*, (2023)

Gambar 4.5 mempresentasikan bahwa arang aktif sebelum maupun sesudah aktivasi memiliki serapan puncak gugus fungsi yang sama, namun dengan intensitas yang berbeda. Hal ini juga terlihat pada arang aktif setelah termodifikasi. Terjadinya serapan puncak gelombang yang tidak mengalami perubahan signifikan juga telah dijelaskan oleh beberapa peneliti sebelumnya, dapat dilihat pada tabel 4.3 dan tabel 4.4. Spektrum FTIR pada AA dan AAT memiliki gugus fungsi spesifik, seperti O-H, C-H, C=O, C=C aromatik, C-O, C-H aromatik yang berurutan muncul pada gelombang 400

- 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Pergeseran serapan bilangan gelombang AA dan AAT dilihat pada tabel 4.3.

Pergeseran bilangan gelombang 3322  $\text{cm}^{-1}$  untuk AA dan AAT disebabkan terjadinya peregangan gugus hidroksil (OH) pada fenol dan alkohol. Vibrasi OH disebabkan adanya pembentukan ikatan hidrogen fenol dengan hidroksil. Puncak gelombang 2852 - 2940  $\text{cm}^{-1}$  dikaitkan dengan peregangan asimetrik C-H pada alkana. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya struktur alifatik yang melimpah. Namun, AAT memiliki puncak lebih jelas dan dapat dikaitkan hilangnya residu organik dan zat volatil yang menyebabkan spektrum tumpang tindih dan kurang jelas, sehingga vibrasi C-H dapat terdeteksi jelas. Selain itu, tingginya senyawa aromatik dapat melemahkan fungsi alifatik seperti C-H (Liang et al., 2023).

Serapan sekitar 2325  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi regangan karbonil bebas  $\text{CO}_2$  pada permukaan adsorben yang menunjukkan terjadinya oksidasi, dekomposisi senyawa karbonil. Serapan lain pada bilangan gelombang sekitar 1709 - 1724 merupakan gugus khas arang aktif tempurung kelapa yang mengindikasikan peregangan gugus karbonil (C=O) dari senyawa asam karboksilat, ester, keton karena terjadi dekomposisi hemiselulosa, selulosa, lignin. Terjadinya peningkatan intensitas puncak pada AAT disebabkan pembentukan gugus oksigen fungsional sehingga menjadi

lebih polar (Sujiono et al., 2022). Hadirnya gugus OH dan C=O dengan gugus oksigen fungsional menyebabkan perubahan karakteristik permukaan arang aktif menjadi lebih polar, bersifat hidrofilik yang berperan penting pada kemampuan adsorpsi adsorben dalam air (Oginni et al., 2019).

Vibrasi C=C aromatik diamati pada puncak kuat gelombang sekitar  $1555\text{ cm}^{-1}$  dan senyawa ini umumnya ditemukan dalam material arang yang merupakan penyusun struktur kristal heksagonal arang. Pelebaran puncak yang terjadi pada AAT menunjukkan peregangan aromatik C-C dan C-O dalam keton serta terjadi peningkatan kadar karbon akibat terjadinya pembentukan P-O karena dehidrasi dan dapat bereaksi dengan karbon menghasilkan CO (Hamadneh et al., 2022; Waghmare et al., 2024).

Gugus fungsi pada gelombang sekitar  $1800\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi peregangan gugus fungsi C-O dalam alkohol, fenol, eter. Selain itu, vibrasi ini dikaitkan dengan munculnya gugus baru yang ditunjukkan pada pelebaran puncak setelah penambahan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  merupakan vibrasi ikatan hidrogen P-O ke C-O hingga vibrasi ikatan P-O-C (aromatik), dan P-OOH/ polifosfat (P-O-P) yang dihasilkan dari interaksi AA dengan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan serapan pada 1030 memungkinkan terkait ikatan P-O- terionisasi dalam ester fosfat asam dan vibrasi simetris dalam P-O-P atau adanya

gugus R-OH (Hamadneh et al., 2022). Puncak serapan sekitar  $870\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan vibrasi gugus C-H aromatik yang mengindikasikan adanya senyawa hidrokarbon (Rampe et al., 2021).

Pergeseran vibrasi gelombang setelah perlakuan modifikasi pada AAT tidak ditemukan perbedaan secara signifikan, dapat dilihat pada tabel 4.3. Penurunan intensitas puncak yang dapat dilihat pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa modifikasi tidak meningkatkan gugus fungsional permukaan (Karnjanakom dan Maneechakr, 2019). AAT + 1,84 CTAB muncul serapan puncak sekitar  $2905 - 2867\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan pembentukan ikatan hidrogen antara gugus N dari surfaktan dan gugus karboksilat, fenolik, atau karbonil, regangan  $\text{CH}_3\text{-R}$  (Lydia et al., 2024). Bilangan gelombang  $1558\text{ cm}^{-1}$  merupakan regangan  $(\text{CH}_3)_3\text{-N}^+$  dari CTAB (Galih N. R. Pargiman et al., 2018a). Penurunan serapan ke  $1714\text{ cm}^{-1}$  terjadi disebabkan tarikan elektrostatis antara  $\text{N}^+$  dengan oksigen karbonil, membentuk lapisan hidrofobik dan ikatan C=O lebih stabil sehingga ikatan  $\pi$  melemah, vibrasi menurun. Serapan kuat yang ditunjukkan pada bilangan  $1108\text{ cm}^{-1}$  serta pelebaran sekitar  $1030\text{ cm}^{-1}$  setelah interaksi dengan CTAB mengindikasikan gugus P-O-R dan R merupakan akil dan aril. Bilangan gelombang  $870$  menunjukkan vibrasi C-X.

**Tabel 4.4** Perbandingan Bilangan Gelombang Arang Aktif Termodifikasi CTAB

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	
	Referensi	AAT + 1,84 CTAB
O-H	3450 <sup>a,b</sup> ; 3405-3414 <sup>e</sup>	3319
CH <sub>2</sub> -R, <sup>d</sup> CH <sub>3</sub> -R	2914 <sup>a</sup> ; 2900 <sup>c</sup> ; 2920 <sup>d</sup> ; 2918 <sup>e</sup>	2905-2867
C=O	1600 <sup>b,c</sup> ;	1714
C=C Aromatik; <sup>d</sup> CH <sub>3</sub> dari N-(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1557 <sup>a</sup> ; 1600 <sup>b</sup> ; 1653-1658 <sup>e</sup> ; 1500 <sup>d,e</sup>	1558
C-O	1161 <sup>a</sup> ; 1095-1099 <sup>e</sup>	1108-1030
C-X	564 <sup>a</sup> ;	870
Si-O	794-799 <sup>e</sup>	-

<sup>a</sup>Mazarji *et al.*, (2017); <sup>b</sup>Ji *et al.*, (2024); <sup>c</sup>Karnjanakom dan Maneechakr, (2019); <sup>d</sup>Galih N. R. Pargiman, Arnelli Arnelli dan Astuti, (2018); <sup>e</sup>Aprilia, Arnelli dan Astuti, (2020)

Hasil spektrum FTIR menunjukkan bahwa perlakuan asam dan modifikasi surfaktan CTAB tidak menunjukkan perubahan posisi puncak secara signifikan dibandingkan arang aktif yang tidak diberikan perlakuan. Kondisi ini juga telah dilaporkan pada peneliti sebelumnya baik menggunakan perlakuan asam maupun alkali (Mazarji *et al.*, 2017). Berkurangnya intensitas puncak AAT + CTAB 1,84 menunjukkan adanya interaksi elektrostatik yang mengakibatkan meningkatnya sifat permukaan arang, seperti hidrofobitas permukaan. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa modifikasi arang aktif dengan CTAB terbukti berhasil.

### E. Surface Area Analyzer (SAA)

Karakterisasi AA, AAT, AAT + 1,84 CTAB menggunakan SAA bertujuan untuk mengetahui karakteristik pori dari masing-masing variasi, meliputi ukuran luas permukaan spesifik, volume pori, dan diameter pori.

**Tabel 4.5** Luas Permukaan, Volume Pori, dan Ukuran Pori AA, AAT, dan AAT + 1,84 CTAB (AAM)

Variasi	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Volume Pori (cc/g)	Diameter Pori (nm)
AA	373,545	0,0237	2,0297
AAT	371,345	0,0215	2,0365
AAT + 1,84 CTAB	331,286	0,0216	2,0375

Hasil karakterisasi SAA yang dapat dilihat pada tabel 4.5, salah satunya luas permukaan. Luas permukaan pada arang aktif terlebih sebagai adsorben memiliki peran penting karena luas permukaan menjadi faktor utama yang memengaruhi proses dari adsorpsi. Tabel 4.5 menunjukkan bahwa luas permukaan arang aktif sebesar 373,545 m<sup>2</sup>/g setelah diaktivasi mengalami penurunan menjadi 371,345 m<sup>2</sup>/g. Menurut Sudibandriyo (2011) penurunan luas permukaan terjadi disebabkan reaksi berlebih antara AA dengan aktivator, sehingga memungkinkan struktur pori menjadi rusak dan menghasilkan luas permukaan yang lebih rendah dibandingkan arang aktif murni. Selain itu, Sudibandriyo (2011) dalam penelitian yang dilakukan

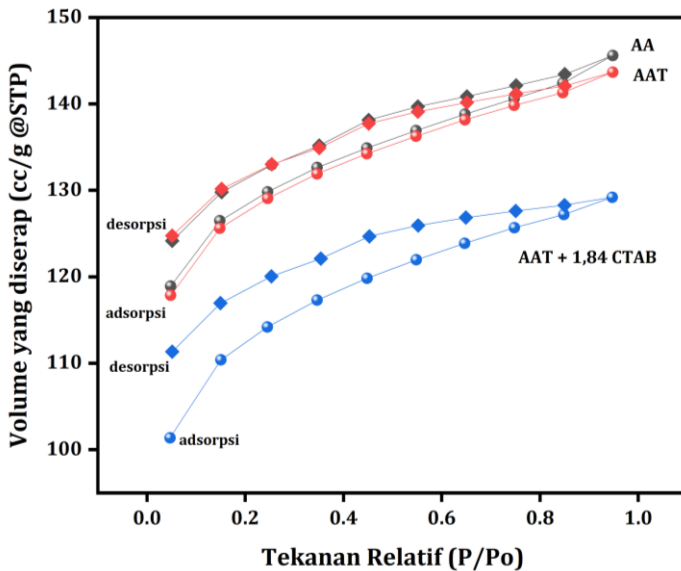
menggunakan tiga variasi (1:1, 2:1, 3:1) saat melakukan aktivasi dengan asam  $ZnCl_2$  untuk mengetahui karakteristik luas permukaan karbon aktif dan menunjukkan hasil penurunan luas permukaan ketika adsorben diaktivasi dengan rasio 3/1. Hal ini menunjukkan bahwa dalam proses aktivasi, jenis aktivator yang digunakan, rasio massa aktivator atau massa arang memengaruhi luas permukaan yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian tersebut, aktivasi adsorben dengan rasio massa arang aktif banding asam  $H_3PO_4$  40% (1:2) memungkinkan terjadi reaksi berlebih dan menyebabkan tertutupnya beberapa pori oleh fosfat.

Liang *et al.* (2023) menjelaskan bahwa penurunan luas permukaan spesifik dan disertai peningkatan diameter pori AAT terjadi akibat penyusutan pori dan pemutusan ikatan ester. Kondisi ini disebabkan tingginya temperatur karbonisasi mencapai  $700^\circ C$  dengan aktivasi  $H_3PO_4$  menyebabkan kerangka pori cenderung patah, menyebabkan pori runtuh, dan menghasilkan ester serta fosfor dalam zat volatil. Selain itu, kondisi ini juga menyebabkan terbentuknya fosfor-oksida yang meningkatkan gugus aromatik akibat dehidrasi, kondensasi, dan aromatisasi lignin dan selulosa (Liang *et al.*, 2023). Terbentuknya fosfor-oksida ini didukung hasil analisis FTIR pada gambar 4.5 dan tabel 4.3, yaitu muncul pada panjang gelombang  $1030\text{ cm}^{-1}$  pada AAT.

Penurunan luas permukaan kembali terjadi setelah adanya pemuatan CTAB menjadi  $331,286 \text{ m}^2/\text{g}$ . Pemuatan surfaktan CTAB menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi pada permukaan adsorben. Seiring peningkatan konsentrasi CTAB, porositas permukaan adsorben secara bertahap ditempati oleh CTAB (seperti yang diilustrasikan pada tabel 4.4) sehingga pelapisan ini menyebabkan penurunan, baik luas permukaan maupun volume pori. Pemuatan CTAB menyebabkan pori tidak dapat diakses dalam proses adsorpsi. Namun, kapasitas rendah tidak menjamin kemampuan adsorpsi yang rendah (Chen et al., 2012). Penurunan luas permukaan akibat pemuatan CTAB dipengaruhi oleh adanya interaksi elektrostatik dan adhesi molekul CTAB pada adsorben, dimana sebagian besar serpihan material (residu surfaktan yang tidak sepenuhnya terikat pada permukaan) mendeposisi pori atau permukaan yang mengakibatkan pengurangan luas permukaan, namun dapat menyediakan tempat situs adsorpsi dan pertukaran ion lebih besar (Kuang et al., 2020).

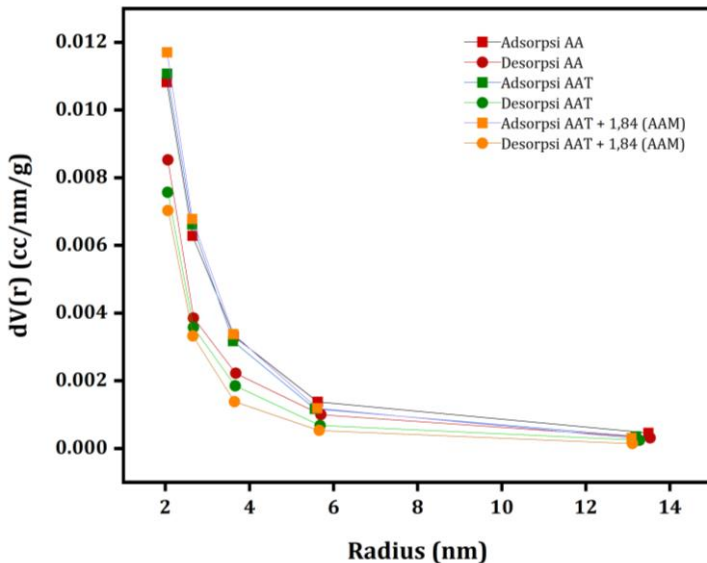
Isoterm adsorpsi pada gambar 4.6 berfungsi untuk membantu mengidentifikasi tipe adsorben serbuk halus dan padatan berpori melalui plot hubungan kuantitas zat yang diadsorpsi ke permukaan adsorben terhadap tekanan parsial ( $P/P_0$ ) pada temperatur sama (Tazikeh et al., 2022). Menurut

klasifikasi IUPAC, isoterm adsorpsi dalam penelitian ini pada gambar 4.6 dikategorikan dalam isoterm tipe VI, dimana tipe ini dianggap sebagai adsorpsi monolayer-multilayer yang terdapat pada dinding adsorben mesopori (Tazikeh *et al.*, 2022, Ji *et al.*, 2024). Pada tekanan relatif lebih rendah, adsorpsi nitrogen akan meningkat secara signifikan yang disebabkan oleh adsorpsi pori-pori sempit dan saat tekanan relatif meningkat, loop histeris H4 yang jelas dapat diamati yaitu menunjukkan adanya kondensasi kapiler di mesopori permukaan sampel adsorben (Mazarji *et al.*, 2017, Ji *et al.*, 2024).



**Gambar 4.6** Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi N<sub>2</sub> AA, AAT, AAT + 1,84 CTAB

Peningkatan adsorpsi  $N_2$  signifikan dengan jalur adsorpsi dan desorpsi berbeda (*loop histerisis*) terjadi karena perbedaan jumlah gas yang teradsorpsi maupun terdesorpsi. Kondisi ini disebabkan adanya kondensasi dalam material mesopori. Selain itu, isoterm tipe VI cenderung mengikuti *loop histerisis* mendekati 1 yang menunjukkan bahwa adsorben memiliki pori lebih besar dari lebar pori kritis tertentu (Tazikeh et al., 2022).



**Gambar 4.7** Grafik Distribusi Pori dengan Metode BJH Adsorpsi-Desorpsi

Ukuran mesopori yang ditunjukkan berdasarkan klasifikasi isoterm IUPAC, juga dapat dikonfirmasi dengan distribusi pori berdasarkan metode BJH. Distribusi pori

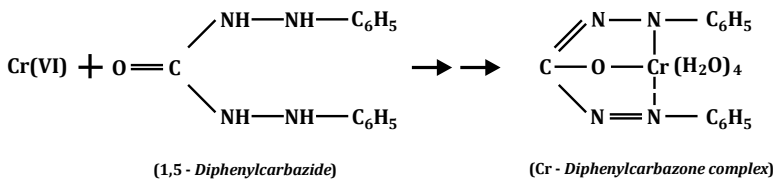
diperoleh melalui plot hubungan radius pori (nm) terhadap perubahan volume per gram sampel yang dapat dilihat pada gambar 4.7.

Gambar 4.7 menginterpretasikan sebaran distribusi pori pada AA, AAT, dan AAT + 1,84 (AAM) menunjukkan ukuran sekitar 2-13 nm. Menurut definisi IUPAC, pori-pori adsorben diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu mikropori ( $d < 2$  nm), mesopori ( $d = 2-50$  nm), dan makropori ( $d > 50$  nm) (Fazira et al., 2020). Berdasarkan hasil analisis grafik gambar 4.6 dan 4.7 dapat disimpulkan bahwa adsorben AA, AAT, AAM tergolong dalam padatan mesopori.

## **F. Adsorpsi**

Adsorpsi ion logam Cr(VI) dilakukan pada arang aktif (AA), arang aktif teraktivasi (AAT), dan AA serta AAT termodifikasi dengan tiga variasi konsentrasi CTAB yang sudah dilakukan. Selanjutnya larutan Cr(VI) yang telah diadsorpsi dilakukan uji menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan kadar Cr(VI) dimana Wiryawan *et al.*, (2018) menjelaskan bahwa penggunaan spektrofotometer dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai spesies kromium dengan lebih selektif.

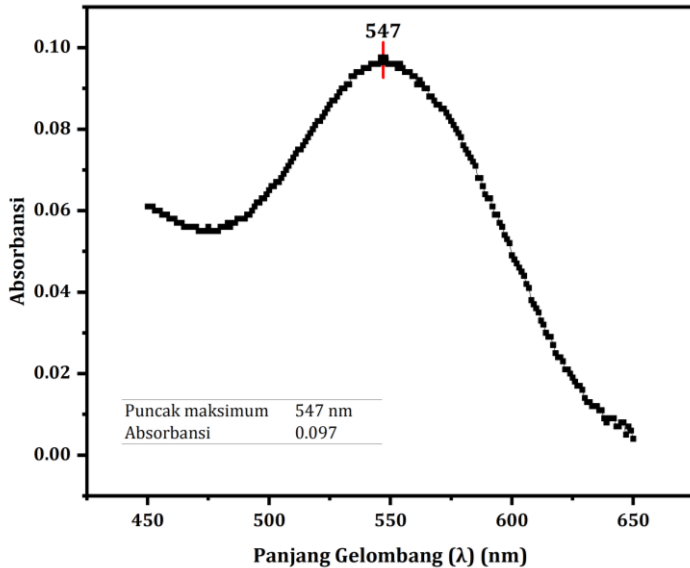
Penentuan kadar Cr(VI) dilakukan dengan menambahkan 1,5-*diphenylcarbazine* (1,5-DPC) ke dalam residu Cr(VI) untuk membentuk spesies penyerap sehingga dapat terespon dengan lebih selektif. Kemudian, analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan prinsip pengujian metode ion Cr(VI) yang bereaksi dengan pereaksi 1,5-DPC dalam suasana asam akan membentuk senyawa kompleks berwarna ungu menyebabkan terjadinya reaksi berikut:



**Gambar 4.7** Mekanisme Reaksi Cr(VI) dengan *Diphenylcarbazine* (Wiryawan et al., 2018)

Pembentukan senyawa ungu disebabkan terjadinya transisi elektronik yaitu adanya reaksi transfer muatan dalam molekul yang menyebabkan warna ungu, bukan transisi orbital d-d. Kemudian larutan diukur pada Panjang gelombang 450 – 650 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansi yang terserap dimana berdasarkan hukum *Lambert-Beer*, nilai absorbansi yang

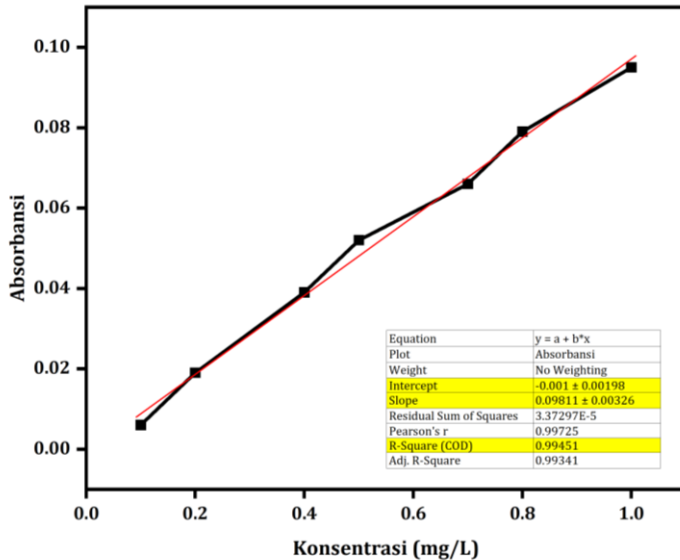
terukur pada UV-Vis sebanding dengan konsentrasi larutan Cr(VI) (Sulistiyowati dan Yanti, 2021).



**Gambar 4.8** Panjang Gelombang Maksimum Cr(VI)

Pengujian absorbansi diukur pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda$  maks) yang bertujuan untuk memberikan absorbansi maksimal sebelum digunakan mengukur kadar sampel, sehingga dapat diperoleh kepekaan sampel yang mengandung ion Cr(VI) secara maksimal. Nilai  $\lambda$  maks pada penelitian ini dilakukan pada konsentrasi 1 mg/L dengan rentang 450 - 650 nm yang didasarkan oleh warna komplementer dari warna larutan kompleks kromium yaitu ungu-violet, sehingga dan didapatkan  $\lambda$  maks pada gambar 4.9

(Hitsmi et al., 2020). Panjang gelombang yang didapatkan terdapat sedikit perbedaan dengan literatur lain, seperti SNI 6989.71: 2009 yaitu 540 nm (BSN, 2009).



**Gambar 4.9** Kurva Kalibrasi Larutan Standar Cr(VI)

Perbedaan  $\lambda$  maks akibat pergeseran dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan kondisi larutan, perbedaan kemurnian larutan, alat yang digunakan. Berdasarkan nilai  $\lambda$  maks didapatkan kurva kalibrasi Cr(VI) (gambar 4.10) dari uji larutan standar yang dilakukan pada variasi konsentrasi 0,1 – 1 mg/L. Tujuan pengujian yaitu untuk mengetahui korelasi antara konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya melalui persamaan regresi linear ( $r^2$ ).

Data absorbansi yang dihasilkan pada gambar 4.10 tergolong baik. Selain absorbansi yang dihasilkan memenuhi prinsip *lambert-beer*, korelasi ini juga membentuk garis linier pada grafik yang menunjukkan bahwa absorbansi merupakan fungsi dari konsentrasi dan didapatkan nilai ( $R^2$ ) sebesar 0,99451. Nilai ini menunjukkan bahwa linearitas dari kurva adalah baik karena nilai  $R^2$  mendekati satu, sehingga disimpulkan bagus dalam menganalisis konsentrasi sampel.

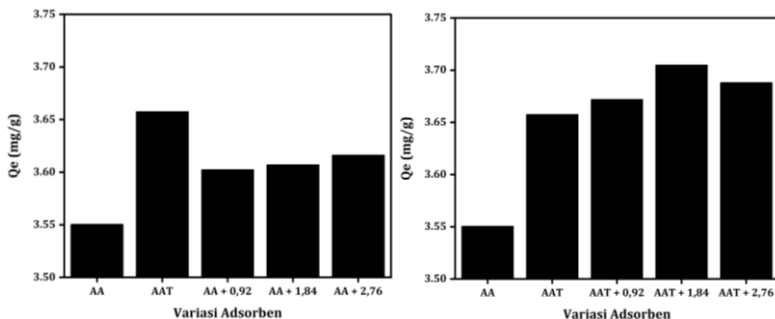
### G. Adsorpsi Awal Adsorben Terhadap Penyerapan Ion Logam Cr(VI)

**Tabel 4.6** Kapasitas Adsorpsi Maksimum Tiap Perlakuan Terhadap Ion Cr(VI)

Variasi Adsorben	Qe (mg/g)	Efisiensi Adsorpsi (%)
Arang T.K (AA)	3,55046	94,68
AA + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (AAT)	3,65749	97,53
AAT + 0,92 CTAB	3,67202	97,92
AAT + 1,84 CTAB	3,70489	98,80
AAT + 2,76 CTAB	3,68807	98,35
AA + 0,92 CTAB	3,60245	96,06
AA + 1,84 CTAB	3,60703	96,19
AA + 2,76 CTAB	3,61621	96,43

Modifikasi arang aktif dan teraktivasi dilakukan pada konsentrasi CTAB hingga dua kali lipat. Konsentrasi berdasarkan nilai CMC CTAB pada temperatur ruang yaitu 0,92 mM (Nabi et al., 2018). Adsorpsi awal tiap variasi adsorben

terhadap larutan Cr(VI) bertujuan untuk menentukan dan mengetahui kapasitas adsorpsi yang maksimal dari adsorben (Karnjanakom dan Maneechakr, 2019). Adsorben dengan kinerja adsorpsi ion Cr(VI) paling baik akan dilakukan uji lebih lanjut pada optimasi kondisi optimum. Adsorpsi awal dilakukan pada 30 mL larutan anionik Cr(VI) 25 mg/L dalam kondisi asam (pH 4) selama 3 jam dan diuji dengan spektroskopi UV-Vis didapatkan hasil kondisi kesetimbangan pada tabel 4.6 dan gambar 4.11.



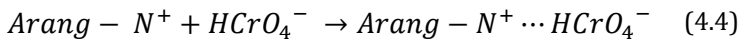
**Gambar 4.10** Kapasitas Adsorpsi Setiap Variasi terhadap Ion Cr(VI) ( 0,2 g, 25 ppm, Temperatur  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ , pH 4, 30 mL selama 3 jam)

Gambar 4.11 mempresentasikan adanya pengaruh perlakuan modifikasi pada AA maupun AAT terhadap kemampuan adsorpsi anion Cr(VI). Ditinjau dari hasil FTIR, kemampuan AAT dalam mengadsorpsi lebih tinggi dibandingkan AA disebabkan semakin polarnya permukaan adsorben. Hal serupa terjadi setelah adanya perlakuan

modifikasi, yaitu kemampuan adsorpsi AAT + CTAB > AA + CTAB. Selain itu, kapasitas adsorpsi terhadap Cr(VI) meningkat seiring peningkatan konsentrasi CTAB.

Tingginya efisiensi adsorpsi ion Cr(VI) pada pH 4 pada AAT dibandingkan AA disebabkan peningkatan situs aktif pada permukaan adsorben setelah teraktivasi, seperti munculnya gugus aktif baru P=O, P-O-C (gambar 4.5) dan menyebabkan terbentuknya ikatan hidrogen, interaksi dengan  $\text{HCrO}_4^-$ , artinya afinitas permukaan terhadap Cr(VI) meningkat (Liu et al., 2021). Selain itu ditinjau dari hasil SAA, adsorben tergolong dalam mesopori dengan kapasitas pori paling besar berada saat radius diameter pori 2 nm (gambar 4.7) dan sedangkan ion  $\text{HCrO}_4^-$  dan  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  berkisar 0,4 – 0,6 nm sehingga diameter pori cukup besar untuk dispersi Cr(VI) cukup tinggi (Xue et al., 2019). Diameter pori yang ditunjukkan pada tabel 4.5 mengalami peningkatan seiring adanya perlakuan aktivasi dan modifikasi, sehingga adanya ukuran ion Cr(VI) yang lebih kecil dibandingkan diameter pori menyebabkan kemampuan adsorpsi setelah teraktivasi lebih besar dibandingkan tanpa aktivasi. Oleh karena itu, penurunan luas permukaan pada AAT dapat mengadsorpsi ion Cr(VI) lebih optimal yang kemungkinan disebabkan pori-pori yang lebih fungsional (Liu et al., 2021).

Seiring meningkatnya konsentrasi CTAB mendekati nilai CMC, misel terbentuk pada permukaan adsorben yang menyebabkan kapasitas adsorpsi meningkat. Peningkatan kapasitas adsorpsi lebih tinggi pada kondisi modifikasi dalam mengadsorpsi ion Cr(VI) dijelaskan Arnelli, Guswini dan Suseno (2022) bahwa dalam bentuk misel,  $\text{HCrO}_4^-$  diadsorpsi oleh situs bermuatan positif, gugus ammonium kuartener  $(\text{CH}_3)_3\text{-N}^+$  pada kepala misel CTAB sebagai akibat adanya interaksi elektrostatik, sehingga meningkatkan penarikan ion-ion Cr(VI) ke permukaan adsorben.



Peningkatan konsentrasi lebih lanjut pada AAT + 2,76 mengalami penurunan yang kemungkinan disebabkan pembentukan misel dalam larutan, sehingga Cr(VI) dapat dilarutkan dan kapasitas adsorpsi mencapai konstan bahkan menurun (Mondal dan Majumder, 2021). Kakavandi *et al.* (2018) menjelaskan bahwa fenomena ini mungkin terkait adanya penyumbatan pori-pori setelah admisel terbentuk pada permukaan arang aktif pada pemuatan CTAB yang lebih tinggi, sehingga mengurangi kapasitas adsorpsi. Kondisi serupa terjadi pada penelitian sebelumnya oleh Kakavandi *et al.*, (2018), efisiensi adsorpsi meningkat pada pemuatan surfaktan pada GAC dari 0,5 – 1,5 CMC dan menurun pada konsentrasi setelahnya yang lebih tinggi.

Perbedaan efisiensi adsorpsi ion Cr(VI) pada AA dan AA + CTAB maupun AAT dan AAT+ CTAB hanya berkisar 1 – 2%. Hasil adsorpsi dengan persentase efisiensi paling tinggi sebesar 98,80% dan kapasitas adsorpsi sebesar 3,705 mg/g terjadi oleh AAT + 1,84 CTAB dan berhasil menurunkan konsentrasi Cr(VI) dari 25 mg/L menjadi 0,0285 mg/L. AAT + 1,84 CTAB dipilih sebagai adsorben terbaik yang selanjutnya digunakan untuk tahap optimasi kondisi.

Perbedaan efisiensi yang sangat kecil secara keseluruhan pada AA, AAT, dan AAM ditinjau dari hasil uji SAA (tabel 4.5) menunjukkan peningkatan diameter pori yang tidak signifikan. Selain itu pada AAM disebabkan surfaktan berbentuk monomer dimana dapat menjangkau seluruh permukaan adsorben, baik permukaan pori luar maupun dalam. Semakin banyak molekul surfaktan yang berinteraksi dengan permukaan adsorben, maka akan semakin banyak situs aktif yang tersedia (Arnelli et al., 2022).

#### **H. Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Ion Cr(VI) oleh Adsorben AAT + 1,84 CTAB**

Penentuan kondisi optimum dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum adsorben AAT + 1,84 CTAB saat mengadsorpsi ion logam Cr(VI) dengan melakukan variasi

kondisi setiap proses adsorpsi, meliputi pH, konsentrasi larutan, dan waktu kontak selama adsorpsi berlangsung.

### 1. pH Optimum

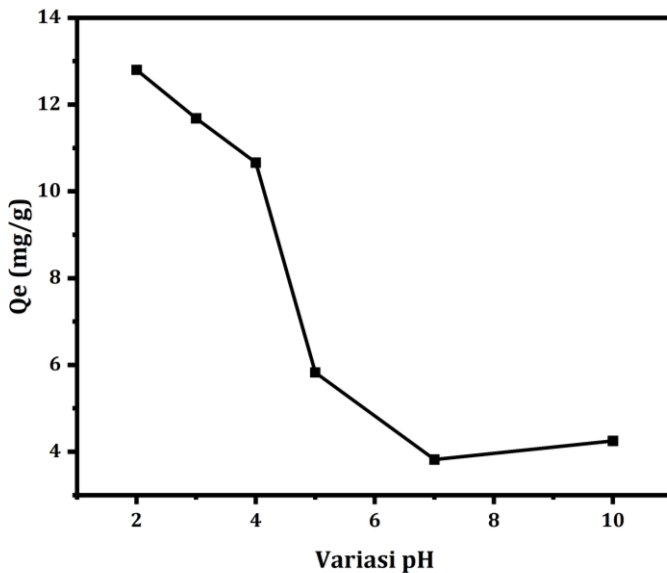
Tujuan dari optimasi pH untuk mengetahui pengaruh pH larutan terhadap jumlah adsorbat yang dapat teradsorpsi secara maksimum oleh permukaan adsorben AAT + 1,84 CTAB. pH larutan merupakan salah satu parameter penting yang mempunyai pengaruh besar terhadap adsorpsi ion Cr(VI) pada larutan karena pH memengaruhi muatan permukaan adsorben dan muatan spesies logam yang terkandung didalamnya (Kumar dan Jena, 2017). Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh pH terhadap adsorpsi ion Cr(VI), pH dilakukan 6 variasi, yaitu 2, 3, 4, 5, 7, 10 dan digunakan larutan NaOH 1M sebagai pengaturan pH larutan. Hasil data optimasi pH ditunjukkan pada tabel 4.7 dan diinterpretasikan dalam gambar 4.12.

**Tabel 4. 7** Hasil Data Adsorpsi Optimasi pH

pH	Qe (mg/g)
2	12,798
3	11,682
4	10,661
5	5,826
7	3,819
10	4,249

Berdasarkan gambar 4.12, perubahan pH memengaruhi jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh AAT + 1,84 CTAB.

Jumlah ion Cr(VI) teradsorpsi secara optimum pada pH 2. Pada pH rendah spesies muatan negatif dari dikromat secara elektrostatik mengikat gugus fungsi bermuatan positif pada permukaan adsorben. Selain itu, pada kondisi asam, permukaan adsorben memiliki lebih banyak gugus fungsional bermuatan positif karena protonasi melalui gugus polar yang mengakibatkan tarikan elektrostatik anion Cr(VI) sehingga lebih menguntungkan karena dapat mengadsorpsi lebih tinggi (Lesaoana et al., 2019).



**Gambar 4.11** Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi ion Cr(VI) ( $C_i = 100$  mg/L, Temperatur  $\pm 50^\circ\text{C}$ , Dosis Adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 g/30 mL, 60 menit)

Permukaan adsorben pada pH rendah memiliki muatan positif yang terbentuk dari misel sehingga sisi positif hidrofilik menjadi lebih efisien untuk mengikat adsorbat Cr(VI), tarikan elektrostatis antara ion Cr(VI) dan permukaan adsorben lebih dominan (Mondal dan Majumder, 2021). Penurunan tidak signifikan terjadi pada pH 3 dan 4. Penurunan signifikan terjadi pada pH 5 dan pada pH 7 adsorbat memiliki kemampuan adsorpsi paling rendah. Penurunan terjadi seiring peningkatan pH disebabkan permukaan adsorben yang bermuatan sama (negatif) dengan adsorbat sehingga mengakibatkan semakin meningkatnya gaya tolak antara adsorben dengan adsorbat. Selain itu peningkatan pH juga berpengaruh terhadap stabilitas ion  $\text{HCrO}_4^-$  yang terbentuk dari Cr(VI) pada larutan asam (Mondal dan Majumder, 2021). Kapasitas adsorpsi ion Cr(VI) pada pH asam lebih tinggi karena adsorben tetap terionisasi dan sebaliknya seiring peningkatan pH adanya ion OH karena pengaturan pH dengan NaOH menyebabkan adsorben terdeprotonasi, sehingga muatan menjadi negatif (Kumar dan Jena, 2017).

Lunk (2015) juga menjelaskan bahwa ion Cr(VI) memiliki berbagai bentuk dalam larutan dan stabilitas berbeda, seperti  $\text{HCrO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ , atau  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Pada kondisi asam (2-6) dominan berbentuk  $\text{HCrO}_4^-$  yang stabil dan ada dalam kondisi kesetimbangan berupa  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Seiring peningkatan pH

terjadi perubahan spesies menjadi  $\text{CrO}_4^{2-}$  yang membutuhkan dua sisi negatif, berbeda dengan  $\text{HCrO}_4^-$  yang hanya membutuhkan satu sisi negatif sehingga kondisi ini mengakibatkan lebih banyak ion yang teradsorpsi pada arang adsorben. Adsorpsi lebih menguntungkan dilakukan pada pH rendah karena lebih banyak jumlah ion  $\text{H}^+$  yang tersedia yang artinya mengurangi hambatan terhadap difusi ion kromat. Saat pH netral dan basa, adsorben tidak menyerap  $\text{Cr(VI)}$  secara signifikan karena terjadi persaingan antara  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  dengan ion  $\text{OH}^-$  untuk mengubah pH larutan dalam mendapatkan situs adsorpsi sehingga gaya tolak elektrostatis diantara keduanya semakin besar (Xia *et al.*, 2019, Niam *et al.*, 2022).

Berdasarkan tabel 4.7 dan grafik 4.12, pH optimum penelitian ini yaitu 2 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 12,798 mg/g dimana mengadsorpsi ion  $\text{Cr(VI)}$  dari 100 mg/L menjadi 14,678 mg/L dengan persentase efisiensi adsorpsi (EA) mencapai 85%. pH optimum yang dicapai pada penelitian ini tidak berbeda dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sadaoui, Hemidouche dan Allalou (2009) secara langsung dengan CTAB, Rai *et al.* (2016) dengan biji mangga, serta Kumar dan Jena (2016) dengan kacang fox tanpa modifikasi CTAB, yaitu optimum pada pH 2. Oleh karena itu, percobaan lebih lanjut dilakukan pada pH 2.

## I. Konsentrasi Optimum dan Isoterm Adsorpsi

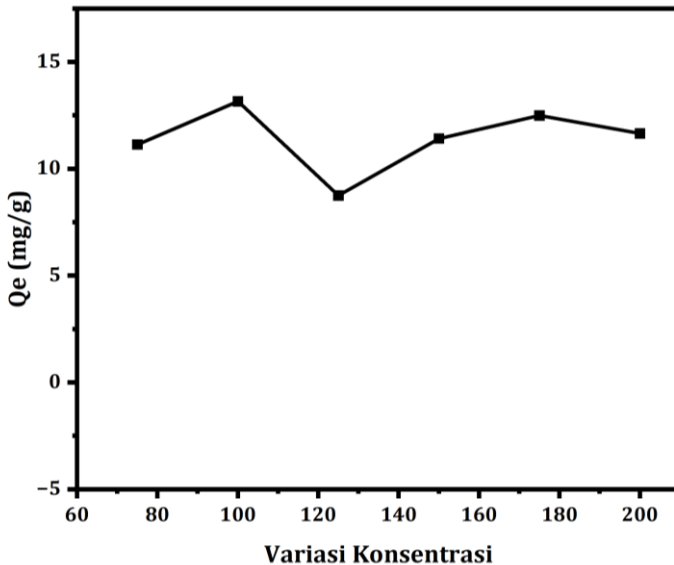
Pengaruh konsentrasi optimum terhadap adsorpsi ion Cr(VI) dapat diketahui melalui pengujian yang dilakukan pada berbagai konsentrasi larutan Cr(VI). Penelitian ini memvariasikan konsentrasi Cr(VI) dari 75 mg/L hingga 200 mg/L pada pH 2 dan massa adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 gram. Hasil kapasitas adsorpsi maksimum disajikan dalam tabel 4.8 dan pengaruh konsentrasi awal larutan Cr(VI) dipresentasikan pada gambar 4.13.

**Tabel 4.8** Hasil Data Adsorpsi Optimasi Konsentrasi

Konsentrasi (mg/L)	Qe (mg/g)
75	11,1322
100	13,1498
125	8,7474
150	11,4144
175	12,4885
200	11,6514

Berdasarkan tabel 4.8, peningkatan konsentrasi larutan Cr(VI) menghasilkan peningkatan kemampuan adsorpsi hingga kondisi optimum pada konsentrasi 100 mg/L dengan Qe 13,1498 mg/g. Peningkatan konsentrasi dengan jumlah adsorben yang sama menyebabkan persaingan ion Cr(VI) pada situs adsorpsi lebih tinggi karena Cr(VI) dapat mengakses permukaan aktif adsorben lebih banyak, sehingga menyebabkan permukaan sepenuhnya tertutup oleh Cr(VI), sehingga pada konsentrasi rendah menghasilkan kemampuan

adsorpsi ion Cr(VI) lebih tinggi (Niam et al., 2022). Selain itu, meningkatnya kapasitas adsorpsi merupakan hasil tumbukan yang lebih besar antara ion Cr(VI) dengan adsorben, sehingga mendorong terjadinya adsorpsi lebih tinggi (Waghmare et al., 2024).

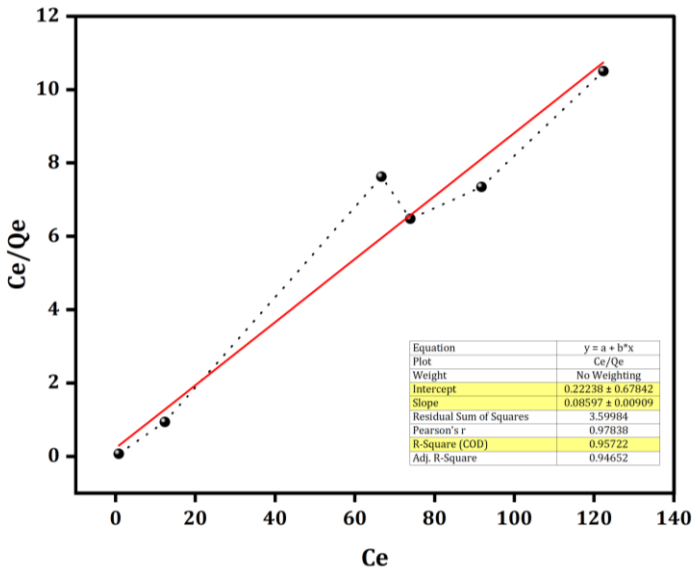


**Gambar 4.12** Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi ion Cr(VI) (pH 2, Temperatur  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ , Dosis Adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 g/30 mL, 60 menit)

Peningkatan kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi kembali meningkat pada konsentrasi 150 dan 175 mg/g setelah mengalami penurunan sebelumnya pada konsentrasi 125 mg/g dan menurun kembali saat konsentrasi mencapai 200 mg/g. Namun, kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) yang

ditunjukkan saat adsorben kembali meningkat lebih kecil dibandingkan saat konsentrasi 100 mg/g. Kondisi ini diduga bahwa ion Cr(VI) telah memenuhi sisi aktif aktif pada permukaan adsorben yang artinya telah mencapai kondisi optimum, sehingga menurunkan kemampuan adsorpsi selanjutnya. Waghmare *et al.* (2024) juga menjelaskan bahwa penurunan ini mungkin terjadi sebagai akibat dari peningkatan laju tumbukan antara anion Cr(VI) dengan permukaan adsorben karena peningkatan konsentrasi awal larutan sehingga seluruh situs aktif akan lebih cepat bereaksi dengan ion logam Cr(VI). Hal ini berdampak pada konsentrasi lebih tinggi, yaitu tidak akan meningkatkan kapasitas adsorpsi lebih lanjut karena permukaan telah mencapai keseimbangan.

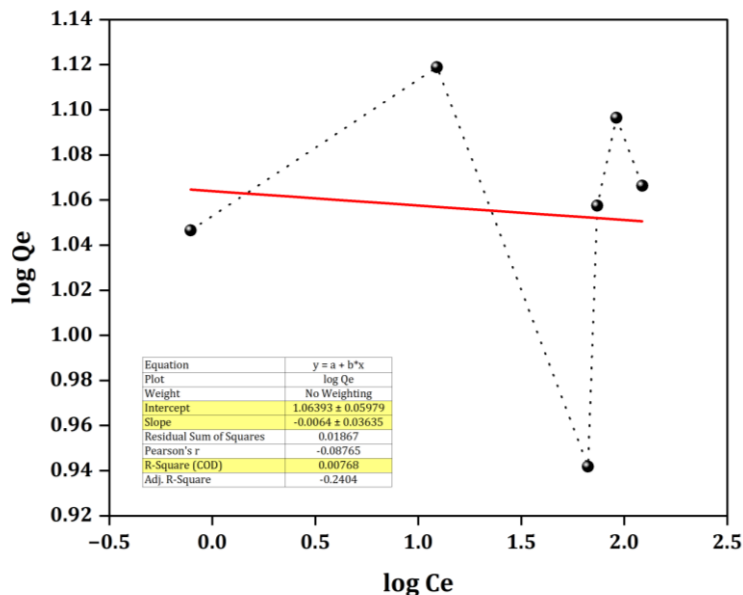
Hubungan keseimbangan antara adsorben dengan adsorbat dapat diidentifikasi melalui tabel 4.8. Interpretasi tabel 4.8 dalam gambar 4.13 menunjukkan bahwa konsentrasi awal larutan Cr(VI) memengaruhi kemampuan adsorpsi dari adsorben. Berdasarkan perolehan data tersebut, hubungan keseimbangan diantara keduanya dapat diketahui dengan analisis isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi merupakan parameter untuk mengetahui bagaimana sifat adsorben, kapasitas adsorpsi maksimum dan mekanisme yang terjadi (Waghmare *et al.*, 2024).



**Gambar 4.13** Isoterm Langmuir untuk Adsorpsi ion Cr(VI) (pH 2, Dosis Adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 g/ 30 mL selama 60 menit)

Penelitian ini menggunakan dua model isoterm, yaitu model *Langmuir* yang dibentuk melalui hubungan antara plot  $C_e$  sebagai fungsi X,  $C_e/Q_e$  sebagai fungsi Y dan sedangkan model *Freundlich* dibentuk melalui plot  $\log C_e$  sebagai fungsi X,  $\log Q_e$  sebagai fungsi Y (Kuang et al., 2020). Isoterm adsorpsi menunjukkan bagaimana molekul adsorpsi mendistribusikan antara adsorbat Cr(VI) dengan adsorben padat ketika proses adsorpsi mencapai keadaan setimbang. Selain itu, isoterm adsorpsi memiliki peranan penting karena menggambarkan bagaimana Cr(VI) berinteraksi dengan adsorben, sehingga

dapat mengadsorpsi lebih optimal (Khuluk dan Rahmat, 2019).



**Gambar 4.14** Isoterm Freundlich untuk Adsorpsi ion Cr(VI) (pH 2, Dosis Adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 g/ 30 mL selama 60 menit)

Pemodelan isoterm menunjukkan mekanisme yang berbeda. Isoterm *Langmuir* menunjukkan mekanisme adsorpsi pada permukaan monomer atau satu lapis dengan energi adsorpsi homogen dan sedangkan isoterm *Freundlich* menggambarkan mekanisme adsorpsi ion Cr(VI) pada permukaan adsorben tipe multilayer (berlapis-lapis) dengan energi adsorpsi heterogen (Sharaf El-Deen dan Sharaf El-Deen, 2016).

Representasi dari fenomena yang terjadi antara adsorben dengan ion Cr(VI) dikemas dalam gambar 4.14 dan 4.15. Masing-masing kurva menghasilkan nilai plot intersep dan kemiringan (slope) sebagai fungsi persamaan yang digunakan untuk menghitung konstanta, koefisien regresi ( $R^2$ ) dan  $Q_{max}$  yang berfungsi sebagai parameter data model adsorpsi, terangkum dalam tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir Terhadap Ion Cr(VI) dengan AAT + 1,84 CTAB

<i>Isoterm Langmuir</i>					
<i>Intercept</i>	<i>Slope</i>	$Q_{max}$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R_L$	$R^2$
0,22238	0,08597	11,6320	0,3866	0,0169	0,95722
<i>Isoterm Freundlich</i>					
<i>Intercept</i>	<i>Slope</i> (1/n)	n	$K_F$ (mg/g) (L/mg) <sup>n</sup>	$R^2$	
1,06393	-0,0064	-156,25	28,9774	0,00768	

Nilai-nilai yang ditunjukkan tabel 4.9 menunjukkan adsorpsi cenderung mengikuti model isoterm *Langmuir*. Perolehan nilai  $R^2$  *Langmuir* mendekati nilai 1, yaitu 0,95722 dibandingkan *Freundlich* hanya 0,00768. Regresi tersebut mendeskripsikan bahwa adsorpsi terjadi dalam bentuk lapisan tunggal (monolayer) dengan permukaan adsorben yang homogen. Selain itu, model ini mengasumsikan bahwa adsorbat tidak berpindah sepanjang bidang permukaan adsorben karena interaksi kimia mendominasi dalam proses

adsorpsi, sehingga ketika adsorben telah terisi membentuk monomer, maka tidak akan berikatan dengan molekul lain lagi. Nilai  $R^2$  menunjukkan jika kemampuan adsorpsi eksperimen digambarkan dengan lebih baik oleh isoterm *Langmuir*. Hasil pemodelan isoterm ini sejalan dengan hasil uji SAA (gambar 4.6) dimana adsorben dikategorikan dalam isoterm tipe VI, artinya adsorpsi berjalan membentuk monolayer dan grafik distribusi pori (gambar 4.7) menjelaskan bahwa adsorben memiliki pori homogen.

Berdasarkan tabel 4.9, didapatkan  $Q_{maks}$  AAT + 1,84 CTAB dalam menyerap ion Cr(VI) sebesar 11,6320 mg/g dengan konstanta laju ( $K_L$ ) 0,3866 L/mg. Konstanta dengan nilai positif ini menunjukkan bahwa afinitas adsorpsi antara adsorben dengan adsorbat berjalan secara kemisorpsi, yaitu terjadi interaksi yang kuat antara adsorben dan adsorbat. Selain itu, nilai  $R_L$  sebesar 0,0169 mendeskripsikan bahwa adsorpsi terjadi secara menguntungkan. Sifat proses adsorpsi didefinisikan berdasarkan nilai  $R_L$ , dimana dianggap tidak menguntungkan ( $R_L > 1$ ), menguntungkan ( $0 < R_L < 1$ ), tidak *irreversible* ( $R_L = 1$ ). Sehingga disimpulkan bahwa AAT + 1,84 CTAB dapat mengadsorpsi ion Cr(VI) secara efektif.

Kecenderungan model isoterm yang didapat terhadap proses adsorpsi yang terjadi dapat disimpulkan bahwa modifikasi arang aktif dengan CTAB (AAT + 1,84 CTAB)

berhasil meningkatkan interaksi elektrostatik dengan ion Cr(VI). Namun, adsorpsi yang terjadi tidak menyebabkan pembentukan multilayer. Hal ini kemungkinan disebabkan gugus aktif pada permukaan adsorben sudah jenuh dengan ion Cr(VI) pada konsentrasi awal yang cukup tinggi, sehingga tidak memungkinkan terjadinya adsorpsi multilayer karena.

#### J. Waktu Kontak Optimum dan Kinetika Adsorpsi

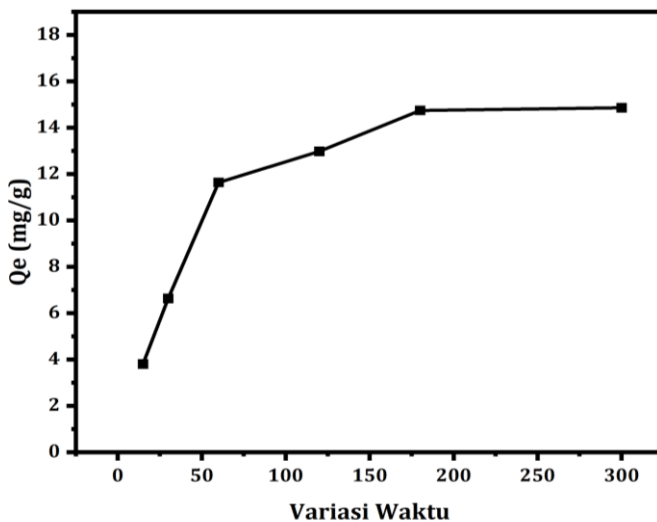
Penentuan waktu kontak optimum terhadap adsorpsi ion Cr(VI) 100 mg/L dilakukan dengan variasi waktu 15, 30, 60, 90, 180, 300 menit pada pH 2 dan menunjukkan hasil pada tabel 4.10 dan gambar 4.16.

**Tabel 4.10** Hasil Data Adsorpsi Optimasi Waktu Kontak

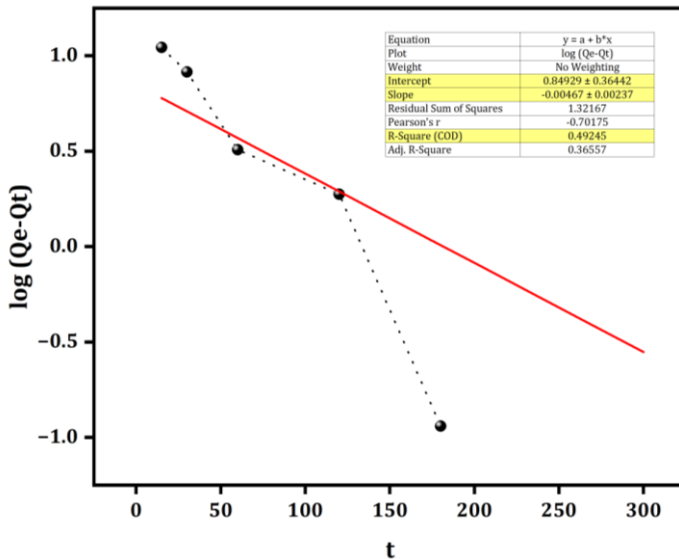
Waktu (menit)	Qe (mg/g)
15	3,7997
30	6,62844
60	11,6361
120	12,9740
180	14,7401
300	14,8547

Berdasarkan gambar 4.16, seiring bertambahnya waktu kemampuan adsorpsi ion Cr(VI) untuk berikatan dengan gugus aktif pada arang aktif termodifikasi CTAB semakin meningkat. Saat adsorpsi berlangsung, ion Cr(VI) mulai menempati situs aktif dan semakin tinggi konsentrasi akan semakin banyak situs yang ditempati sehingga menyebabkan

peningkatan resistensi agregasi Cr(VI) untuk berdifusi ke adsorben yang berdampak semakin berkurangnya laju adsorpsi (Hamadneh et al., 2022). Peningkatan signifikan terjadi pada 60 menit pertama. Namun, peningkatan masih terjadi hingga menit ke 180 dan setimbang setelahnya, dimana tidak mengalami peningkatan secara signifikan. Kondisi ini disebabkan permukaan adsorben telah jenuh (Hamadneh et al., 2022). Semakin lama waktu kontak terhadap adsorben mengakibatkan ketersediaan situs aktif yang tersisa semakin berkurang dan menyebabkan berkurangnya gaya pendorong, sehingga membutuhkan waktu lebih lambat untuk mencapai kesetimbangan (Mazarji et al., 2017).



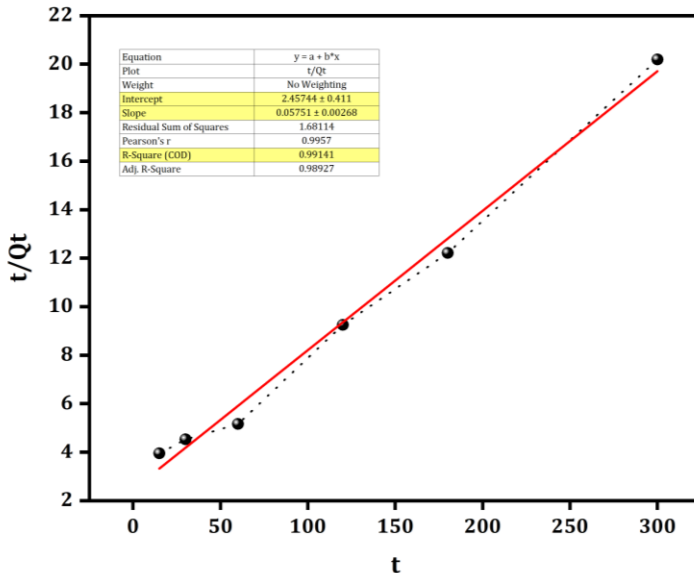
**Gambar 4.15** Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi ion Cr(VI) ( $C_i = 100$  mg/L, pH 2, Temperatur  $\pm 50^\circ\text{C}$ , Dosis Adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 g/30 mL)



**Gambar 4.16** Kinetika *Pseudo First Order* untuk Adsorpsi ion Cr(VI) 100 mg/L (pH 2, Dosis Adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 g/ 30 mL selama 60 menit)

Mekanisme reaksi adsorpsi dan laju reaksi dapat diketahui dan digambarkan melalui studi kinetika adsorpsi dimana untuk menyelidiki hal tersebut, penelitian ini menggunakan pemodelan kinetika *pseudo-first-order* dan *pseudo-second-order*. Kedua model kinetika tersebut digunakan untuk mengetahui lebih lanjut laju reaksi dari adsorpsi anion Cr(VI) oleh AAT + 1,84 CTAB yang dipengaruhi oleh waktu dalam bentuk konstanta laju. Masing-masing kinetika menjelaskan terkait laju adsorpsi yang berjalan secara linier dengan kapasitas adsorpsi (*pseudo-second-order*)

dan penyerapan kimia pada permukaan adsorben serta menganggap bahwa interaksi antara adsorbat dengan adsorben memengaruhi laju reaksi (*pseudo-second-order*) (Mazarji et al., 2017).



**Gambar 4.17** Kinetika *Pseudo Second Order* untuk Adsorpsi ion Cr(VI) 100 mg/L (pH 2, Dosis Adsorben AAT + 1,84 CTAB 0,2 g/ 30 mL selama 60 menit)

Nilai kinetika adsorpsi didasarkan pada tabel 4.10 dimana masing-masing model kinetika dapat ditentukan menggunakan data kapasitas adsorpsi pada variasi waktu kontak optimum dengan memplotkan waktu kontak sebagai sumbu X dan nilai log  $Q_e - Q_t$  sebagai sumbu Y atau  $t/Q_t$  sebagai sumbu Y (Kuang et al., 2020).

Gambar 4.17 dan 4.18 menunjukkan kinetika adsorpsi ion Cr(VI) pada AAT + 1,84 CTAB yang diinterpretasikan ke dalam kurva model kinetika *first order* dan *second order*. Adsorpsi yang ditunjukkan mencapai kesetimbangan dalam waktu 120 menit. Penentuan model kinetika adsorpsi dilakukan berdasarkan persamaan yang diperoleh dari model kinetik yang digunakan, tercantum dalam gambar 4.17 dan 4.18. Melalui model kinetika tersebut, diperoleh nilai-nilai parameter kinetika adsorpsi.

**Tabel 4.11** Parameter Kinetika Adsorpsi Ion Cr(VI) dengan AAT + 1,84 CTAB

<i>Pseudo First Order</i>				
<i>Intercept</i>	<i>Slope</i>	$Q_1$ (mg/g)	$K_1$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$
1,26275	-0,01114	35,3513	-0,0256	0,93149
<i>Pseudo Second Order</i>				
<i>Intercept</i>	<i>Slope</i>	$Q_2$ (mg/g)	$K_2$ (g/mg.min)	$R^2$
2,45744	0,05751	17,38828	0,00135	0,99141

Data eksperimen (tabel 4.11) menunjukkan kesesuaian yang lebih baik untuk menggambarkan mekanisme reaksi menggunakan model kinetika *pseudo second order*. Hal ini disebabkan perolehan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sangat tinggi dan mendekati satu, yaitu 0,99141. Selain itu, perolehan nilai kapasitas ( $Q_2$ ) 14,57% lebih besar (17,38828 mg/g) dari

Qe eksperimen (14,8547 mg/g) menunjukkan bahwa adsorpsi ion Cr(VI) lebih sesuai dengan model orde dua dibandingkan orde satu.

Gambar 4.18 dapat menjelaskan bahwa hubungan antara variabel  $t/Q_t$  dengan waktu, yaitu seiring bertambahnya waktu kontak antara Cr(VI) dengan adsorben AAT + 1,84 CTAB, nilai  $t/Q_t$  juga akan mengalami peningkatan. Berdasarkan gambar 4.18, diperoleh nilai konstanta laju ( $K_2$ ) saat adsorpsi ion Cr(VI) sebesar 0,00135 g/mg.min, artinya nilai ini menunjukkan bahwa dalam satu menit dengan menggunakan 1 mg adsorben dapat mengadsorpsi sebesar 0,00135 mg adsorbat. Hal ini menunjukkan jika adsorpsi berlangsung dengan kecepatan relatif lambat pada konsentrasi awal Cr(VI) yang tinggi, yaitu 100 mg/L dan setimbang pada menit ke 120.

Berdasarkan kecenderungan pemodelan mengikuti kinetika *pseudo second order*, adsorpsi yang terjadi mengindikasikan bahwa mekanisme adsorpsi antara Cr(VI) dengan AAT + 1,84 CTAB didominasi oleh interaksi kimia, yaitu adsorpsi terjadi disebabkan adanya pembentukan ikatan kimia antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Perolehan model kinetika ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Karnjanakom dan Maneechakr (2019), Mondal dan Majumder (2021),

Hamadneh *et al.* (2022) dengan nilai  $R^2 > 0,99$ . Interaksi antara adsorbat dengan adsorben yang telah mendapatkan perlakuan yang menyatakan bahwa adsorpsi yang terjadi tidak bergantung pada ketersediaan pori-pori dimana adsorben akan terdifusi ke dalamnya. Jadi dapat disimpulkan bahwa difusi intrapartikel bukan satu-satunya langkah pembatas laju dalam mengadsorpsi ion  $\text{Cr(VI)}$ , melainkan didominasi pertukaran muatan antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben (Hamadneh *et al.*, 2022).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. KESIMPULAN**

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perlakuan aktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  menunjukkan pembentukan gugus fungsi baru P-O, P-O-C, P-OOH pada spektrum bilangan gelombang  $1030 \text{ cm}^{-1}$ . Perlakuan modifikasi arang aktif teraktivasi dengan CTAB menunjukkan pembentukan gugus  $\text{CH}_2\text{-R}/\text{CH}_3\text{-R}$  dan  $\text{N}(\text{CH}_3)_3$  pada  $2905\text{-}2867 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1558 \text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, adanya perlakuan modifikasi memengaruhi karakteristik luas permukaan dan diameter volume adsorben. Perlakuan aktivasi dan modifikasi menurunkan luas permukaan dari  $373,545 \text{ m}^2/\text{g}$  (AA) menjadi  $371,345 \text{ m}^2/\text{g}$  (AAT) dan penurunan signifikan setelah modifikasi  $331,286 \text{ m}^2/\text{g}$ . Namun, diameter pori sebaliknya dimana penambahan perlakuan semakin meningkatkan ukuran diameter pori dari  $2,0297 \text{ nm}$  (AA) menjadi  $2,0365 \text{ nm}$  (AAT) dan  $2,0375 \text{ nm}$  (AAT + 1.84 CTAB). Modifikasi menyebabkan peningkatan kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi ion Cr(VI).

2. Kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan  $\pm 1-2\%$  setelah teraktivasi dan termodifikasi dimana mengalami peningkatan secara tidak signifikan pada adsorpsi awal dan perlakuan modifikasi AAT + 1,84 CTAB mengadsorpsi ion Cr(VI) dengan kapasitas 3,7 mg/g. AAT + CTAB 1,84 menunjukkan kemampuan efisiensi adsorpsi tertinggi, yaitu 99% pada kondisi optimum pH 2, waktu kontak selama 300 menit, dosis adsorben 0,2 g mampu menurunkan konsentrasi Cr(VI) dari 100 mg/L menjadi 0,9 mg/L dengan kapasitas adsorpsi sebesar 14,855 mg/g.
3. Model kinetika adsorpsi AAT + 1,84 CTAB dalam penelitian ini cenderung mengikuti *pseudo second order* dengan nilai  $Q_e$  teoritis sebesar 17,38828,  $K_2$  sebesar 0,00135, serta  $R^2$  0,99141 dan model isoterm cenderung mengikuti isoterm *Langmuir* dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,95722.

## **B. SARAN**

1. Disarankan penggunaan suhu karbonisasi  $< 700^\circ\text{C}$  agar dapat melihat dan mengidentifikasi perubahan kapasitas adsorpsi yang signifikan.
2. Disarankan penelitian selanjutnya melakukan modifikasi menggunakan temperatur lebih tinggi

dalam proses aktivasi dan melakukan variasi temperatur pada tahap modifikasi untuk mengeksplorasi pemuatan maksimal CTAB serta mengetahui pengaruhnya terhadap kemampuan optimum adsorben.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T.E., Faizal, M., Aprianti, T., Teguh, D., Rif'at, A.M., Putra, I.G., Prayesi, M.R., Fitrializa, U. 2018. Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen Menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*. 13: 60–69. <https://doi.org/10.23955/rkl.v13i1.10109>
- Alvarez, C.C., Bravo Gómez, M.E., Hernández Zavala, A. 2021. Hexavalent chromium: Regulation and health effects. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 65. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126729>
- Andriani, R., Hartini. 2017. Toksisitas limbah cair industri batik terhadap morfologi sisik ikan nila gift (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal SainHealth*. 1: 83–91. <https://doi.org/10.51804/jsh.v1i2.108.83-91>
- Aprilia, Y., Arnelli, A., Astuti, Y. 2020. Modification of Activated Carbon from Rice Husk using Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br) Surfactant and  $ZnCl_2$  activator and Microwaves for Nitrate Ion Adsorption. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 23: 377–382. <https://doi.org/10.14710/jksa.23.11.377-382>
- Apriyani, N. 2018. Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*. 3: 21–29. <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>
- Arnelli, Guswini, S., Suseno, A. 2022. Synthesis of Surfactant-Modified Activated Carbon (SMAC) Above Critical Micelle Concentration as Cr(VI) Ion Adsorbent. *Kimia Sains dan Aplikasi*. 25: 179–184.
- Ashraf, A., Bibi, I., Niazi, N.K., Ok, Y.S., Murtaza, G., Shahid, M., Kunhikrishnan, A., Li, D., Mahmood, T., Geoscience, S.C.,

- Biochar, K., National, K., Division, C.S., Science, E.,. 2017. Chromium (VI) sorption efficiency of acid-activated banana peel over organo-montmorillonite in aqueous solution. *International Journal of Phytoremediation*. 19: 605–613.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1256372>
- Asmadi, A., S, E., Oktiawan, W. 2018. Pengurangan chrom (Cr) dalam limbah cair industri kulit pada proses tannery menggunakan senyawa alkali  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$  dan  $\text{NaHCO}_3$  (studi kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang). *Jurnal Air Indonesia*. 5.  
<https://doi.org/10.29122/jai.v5i1.2431>
- Astuti, W.,. 2018. Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa, Unnes Press.
- Atkins, P.W. Paula, J. de.,. 2006. *Atkins' Physical Chemistry, Eight. ed*, Journal of the Franklin Institute. W. H. Freeman and Company, New York.  
[https://doi.org/10.1016/0016-0032\(61\)90576-2](https://doi.org/10.1016/0016-0032(61)90576-2)
- Baehaki, F., Fadhilah, K., Karmila, M. 2022. Stannum : Jurnal Sains dan Terapan Kimia Separation of Chromium(VI) Metal in Wastewater Using Electrocoagulation Method with NaCl Coagulant Pemisahan Logam Kromium(VI) Dalam Air Limbah Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Dengan Koagulan NaCl. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. 4: 27–33.  
<https://doi.org/10.33019/jstk.v4i1.2924>
- Billah, A.R. 2020. Penggunaan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Untuk Mengikat Logam Cromium Total (Cr) Pada Limbah Cair Batik, Repository Universitas Universitas Jember.
- Briffa, J., Sinagra, E., Blundell, R. 2020. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on

- humans. *Heliyon*. 6: e04691.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- BSN. 2009. Cara Uji Krom Heksavalen (Cr-VI) dalam Contoh Uji Secara Spektrofotometri, in: SNI 6989. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- C.E, G., Muiyiwa, T. 2008. Optimum conditions for carbonisation of coconut shell. *Scientia Africana*. 7: 12–21.
- Chen, J., Tian, Y. 2021. Hexavalent chromium reducing bacteria: mechanism of reduction and characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*. 28: 20981–20997. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13325-7>
- Chen, W., Zhang, Z., Li, Q., Wang, H. 2012. Adsorption of bromate and competition from oxyanions on cationic surfactant-modified granular activated carbon ( GAC ). *Chemical Engineering Journal*. 203: 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.07.047>
- Choi, H.D., Cho, J.M., Baek, K., Yang, J.S., Lee, J.Y. 2009. Influence of cationic surfactant on adsorption of Cr(VI) onto activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*. 161: 1565–1568. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.067>
- Darminto, Baqiya, M.A., Asih, R. 2018. Pengembangan Bahan Karbon dari Biomassa, I. ed. ITS Press, Surabaya.
- El-kordy, A., Elgamouz, A., Alrashdi, A.A., Kali, A., Abdelhamid, A., Kawde, A., Tijani, N. 2023. Development and characterization of a clay- HDTMABr composite for the removal of Cr ( VI ) from aqueous solutions with special emphasis on the electrochemical interface. *Arabian Journal of Chemistry*. 16: 105027. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105027>

- Elystia, S., Putri, R.R., Muria, S.R. 2018. Biosorpsi Kromium (Cr) Pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Biomassa Ragi Roti (*Saccharomyces cerevisiae*). *Jurnal Dampak*. 15: 1. <https://doi.org/10.25077/dampak.15.1.1-6.2018>
- Enniya, I., Rghioui, L., Jourani, A. 2018. Adsorption of hexavalent chromium in aqueous solution on activated carbon prepared from apple peels. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 7: 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2017.11.003>
- Esterlita, M.O., Herlina, N. 2015. Pengaruh penambahan aktivator  $ZnCl_2$ , KOH, dan  $H_3PO_4$  dalam pembuatan karbon aktif dari pelepah aren (*Arenga Pinnata*) 4.
- Fatimah, I. 2014. Adsorpsi dan Katalisis Menggunakan Material Berbasis Clay, Pertama. ed. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Fazira, R., Astuti, Y., Suseno, A. 2020. Synthesis of Sodium Lauryl Sulfate (SLS) and Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br) Surfactant Modified Activated Carbon as Adsorbent for  $Pb^{2+}$  and  $NO_3$ . *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 23: 396-402.
- Febiyanti, I.A., Suseno, A., Priyono, P. 2013. Pengaruh Konsentrasi Surfaktan CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide) pada Modifikasi Lempung dengan Oksida Besi sebagai Pemilar. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 16: 79-83. <https://doi.org/10.14710/jksa.16.3.79-83>
- Hamadneh, I., Abu-Zurayk, R.A., Aqel, A., Al-Mobydeen, A., Hamadneh, L., Al-Dalhmeh, Y., Hannon, F., Albuqain, R., Alstori, S., Al-Dujaili, A.H. 2022. Impact of  $H_3PO_4$ -activated carbon from pine fruit shells for paracetamol adsorption from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*. 264, 293-306.

<https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28589>

- Heidarinejad, Z., Dehghani, M.H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., Sillanpää, M. 2020. Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00955-0>
- Herdiana, Putri, S., Budiyo, Suhartono. 2018. Efektivitas Variasi Lama Kontak Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Dalam Menurunkan Logam Berat Kromium Heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ) Pada Limbah Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*. 6, 315–324.
- Hitsmi, M., Firdaus, M.L., Nurhamidah. 2020. Pengembangan Metode Citra Digital Berbasis Aplikasi Android Untuk Analisis Ion Logam Cr(VI). *ALOTROP, Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*. 4, 117–124.
- Indah, S. 2014. Studi regenerasi adsorben kulit jagung (*zea mays l.*) dalam menyisihkan logam besi (Fe) dan mangan (mn) dari air tanah. *Jurnal Dampak*. 11, 48. <https://doi.org/10.25077/dampak.11.1.48-58.2014>
- Jayan, A., Aryasree, G. 2008. Literature Review of Removal of Heavy Metals Using Coconut Shell Based Charcoal. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 3459.
- Ji, J., Zhang, Y., Wang, D., Wang, Y. 2024. Efficient removal of PAHs from peanut oil using coconut shell-based activated charcoal decorated by cationic (CTAB), anionic (SDS), non-ionic surfactant (Triton X-100). *Food Chemistry*. 438: 137962. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137962>
- Jobby, R., Jha, P., Yadav, A.K., Desai, N. 2018. Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr(VI)]: A

- comprehensive review. *Chemosphere*. 207, 255–266.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.050>
- K. Holmberg, B.K.B.J.B.L. 2002. *Surfactants And Polymers In Aqueous Solutions*, Second. ed, IEEE Electrical Insulation Magazine. John Wiley & Sons, Chichester, U. K.
- Kakavandi, B., Raofi, A., Peyghambarzadeh, S.M., Ramavandi, B., Niri, M.H., Ahmadi, M. 2018. Efficient adsorption of cobalt on chemical modified activated carbon: Characterization, optimization and modeling studies. *Desalination and Water Treatment*. 111: 310–321.  
<https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22238>
- Karnjanakom, S., Maneechakr, P. 2019. Adsorption behaviors and capacities of Cr(VI) onto environmentally activated carbon modified by cationic (HDTMA and DDAB) surfactants. *Journal of Molecular Structure*. 1186, 80–90.  
<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.03.022>
- Khuluk, R.H., Rahmat, A. 2019. Removal of Methylene Blue by Adsorption onto Activated Carbon From Coconut Shell ( *Cocous Nucifera L.* ). *Indonesian Journal of Science & Technology*. 4: 229–240.
- Kuang, Y., Zhang, X., Zhou, S. 2020. Adsorption of methylene blue in water onto activated carbon by surfactant modification. *Water (Switzerland)*. 12: 1–19.  
<https://doi.org/10.3390/w12020587>
- Kumar, A., Jena, H.M. 2017. Adsorption of Cr(VI) from aqueous solution by prepared high surface area activated carbon from Fox nutshell by chemical activation with  $H_3PO_4$ . *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5: 2032–2041. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.03.035>
- Kumar, A., Jena, H.M. 2016. Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by chemical activation with  $H_3PO_4$ .

Results in Physics. 6: 651–658.  
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2016.09.012>

- Kumar, V., Dwivedi, S.K. 2019. Hexavalent chromium reduction ability and bioremediation potential of *Aspergillus flavus* CR500 isolated from electroplating wastewater. *Chemosphere*. 237: 124567.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124567>
- Kusumaningtyas, M.P. 2017. Analisis Struktur Nano Batu Apung Lombok Menggunakan Metode BET (Brunauer-Emmet Teller). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 14–15.
- Labied, R., Benturki, O., Eddine Hamitouche, A.Y., Donnot, A. 2018. Adsorption of hexavalent chromium by activated carbon obtained from a waste lignocellulosic material (*Ziziphus jujuba* cores): Kinetic, equilibrium, and thermodynamic study. *Adsorption Science and Technology*. 36: 1066–1099.  
<https://doi.org/10.1177/0263617417750739>
- Lesaoana, M., Mlaba, R.P.V., Mtunzi, F.M., Klink, M.J., Edijike, P., Pakade, V.E. 2019. Influence of inorganic acid modification on Cr(VI) adsorption performance and the physicochemical properties of activated carbon. *South African Journal of Chemical Engineering*. 28: 8–18.  
<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.01.001>
- Liang, J., Li, C., Zhang, S., Mohamed, B.A., Wang, L., Xiang, J., Hu, S., Wang, Y., Hu, X. 2023. Activation of poplar and spirulina with  $H_3PO_4$ : Marked influence of biological structures of the biomasses on evolution structure of activated carbon. *Fuel Processing Technology*. 252: 107986. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2023.107986>
- Lin, S.Y., Chen, W.F., Cheng, M.T., Li, Q. 2013. Investigation of factors that affect cationic surfactant loading on activated

- carbon and perchlorate adsorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 434: 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.05.048>
- Liu, W., Zhang, Y., Wang, S., Bai, L., Deng, Y., Tao, J. 2021. Effect of Pore Size Distribution and Amination on Adsorption Capacities of Polymeric Adsorbents. *Journal of Molecules*. 26.
- Lunk, H.J. 2015. Discovery, properties and applications of chromium and its compounds. *ChemTexts*. 1. <https://doi.org/10.1007/s40828-015-0007-z>
- Lydia, S., Sanchez-cano, G., Cristobal-cueto, P., Nu, P., Lastra, A., Rojas, S., Horcajada, P. 2024. Journal of Environmental Chemical Engineering Control of chlorite and chlorate in drinking water using surfactant-modified activated carbon. 12. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112131>
- Mazarji, M., Aminzadeh, B., Baghdadi, M., Bhatnagar, A. 2017. Removal of nitrate from aqueous solution using modified granular activated carbon. *Journal of Molecular Liquids*. 233, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.03.004>
- Menéndez-Díaz, J.A., Martín-Gullón, I. 2006. Types of carbon adsorbents and their production. *Interface Science and Technology*. 7: 1–47. [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(06\)80010-4](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(06)80010-4)
- Meneses, I.P., Novaes, S.D., Dezotti, R.S., Oliveira, P.V., Petri, D.F.S. 2022. CTAB-modified carboxymethyl cellulose/bagasse cryogels for the efficient removal of bisphenol A, methylene blue and Cr(VI) ions: Batch and column adsorption studies. *Journal of Hazardous Materials*. 421, 0–3. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126804>
- Mondal, S., Majumder, S.K. 2021. Cationic surfactant-aided

surface modification of the activated carbon-based materials for the enhancement of phenol adsorption-capacity determined by ultraviolet-visible spectroscopy. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 0, 1-15. <https://doi.org/10.1080/01932691.2021.1884089>

Muhajir, A., Machdar, I., Mariana. 2021. Produksi karbon aktif arang tempurung kelapa menggunakan kombinasi metode aktivasi secara kimia dan steam tekanan rendah. *Jurnal Litbang Industri*. 11, 110. <https://doi.org/10.24960/jli.v11i2.7104.110-116>

Nabi, A., Tasneem, S., Jesudason, C.G., Lee, V.S., Zain, S.B.M. 2018. Study of interaction between cationic surfactant (CTAB) and paracetamol by electrical conductivity, tensiometric and spectroscopic methods. *Journal of Molecular Liquids*. 256, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.185>

Nabiela, M., Hidayah, M., Azizati, Z. 2020. Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Cr (VI) Dalam Larutan Menggunakan Zeolit Berlapis Oksida Mangan (MnO<sub>2</sub>). *Walisongo Journal of Chemistry*. 3: 52. <https://doi.org/10.21580/wjc.v3i2.6073>

Niam, A.C., Fenelon, E., Ningsih, E., Mirzayanti, Y.W., Kristanti, E. 2022. High-Efficiency Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Samanea saman Activated Carbon. *Adsorption Science and Technology*. <https://doi.org/10.1155/2022/8960379>

Oginni, O., Singh, K., Oporto, G., Dawson-Andoh, B., McDonald, L., Sabolsky, E. 2019. Effect of one-step and two-step H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation on activated carbon characteristics. *Bioresource Technology Reports* 8, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100307>

Pargiman, Galih N. R., Arnelli, A., Astuti, Y. 2018. Adsorption of

- HDTMA-Br surfactant with concentration variation by rice husk-based activated carbon produced by variation of carbonization temperature. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 21, 171-174.  
<https://doi.org/10.14710/jksa.21.4.171-174>
- Pargiman, Galih N. R., Arnelli, A., Astuti, Y. 2018. Adsorption of HDTMA-Br Surfactant with Concentration Variation by Rice Husk-Based Activated Carbon Produced by Variation of Carbonization Temperature. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 21, 171-174.  
<https://doi.org/10.14710/jksa.21.4.171-174>
- Pargiman, Galih N R, Arnelli, Astuti, Y. 2018. Adsorption of HDTMA-Br Surfactant with Concentration Variation by Rice Husk-Based Activated Carbon Produced by Variation of Carbonization Temperature 21, 171-174.
- Pesch, B., Kendzia, B., Pohlabein, H., Ahrens, W., Wichmann, H.E., Siemiatycki, J., Taeger, D., Zschesche, W., Behrens, T., Jöckel, K.H., Brüning, T. 2019. Exposure to Welding Fumes, Hexavalent Chromium, or Nickel and Risk of Lung Cancer. *American Journal of Epidemiology*. 188, 1984-1993. <https://doi.org/10.1093/aje/kwz187>
- Pranoto, P., Martini, T., Maharditya, W. 2020. Uji Efektivitas dan Karakterisasi Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe). *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*. 16: 50.  
<https://doi.org/10.20961/alchemy.16.1.33286.50-66>
- Putra, A., Rihayat, T., Dhinta, R., Astuti, D. 2022. Penyisihan ion logam fe menggunakan adsorben kaolin yang dimodifikasi surfaktan. *Jurnal Reaksi*. 20: 1-5.
- Putri, X.R.I., Wildansyah, R.L. 2018. Pembuatan karbon aktif dari biji kelor dapat menurunkan asam lemak bebas dan bilangan peroksida pada minyak jelantah. Institut

## Teknologi Sepuluh Nopember.

- Rahayu, L.H., Purnavita, S., Sriyana, H.Y. 2014. Potensi Sabut dan Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Untuk Meregenerasi Minyak Jelantah. *Momentum*. 10: 47–53.
- Rahmawanti, N., Dony, N. 2024. Sintesis komposit arang aktif tempurung kelapa aktivasi  $H_3PO_4$ -ZnO. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*. 7: 28. <https://doi.org/10.31602/dl.v7i1.13924>
- Rai, M.K., Shahi, G., Meena, V., Meena, R., Chakraborty, S., Singh, R.S., Rai, B.N. 2016. Removal of hexavalent chromium Cr (VI) using activated carbon prepared from mango kernel activated with  $H_3PO_4$ . *Resource-Efficient Technologies*. 2, S63–S70. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.11.011>
- Rakhunde, R., Deshpande, L., Juneja, H.D. 2012. Chemical speciation of chromium in water: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 42, 776–810. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.534029>
- Rampe, M.J., Santoso, I.R.S., Rampe, H.L., Tiwow, V.A., Apita, A. 2021. Infrared Spectra Patterns of Coconut Shell Charcoal as Result of Pyrolysis and Acid Activation Origin of Sulawesi, Indonesia. *E3S Web of Conferences*. 328, 3–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132808008>
- Riyanto, C.A., Kurniawan, E., Aminu, N.R. 2021. Pengaruh NaOH dan Suhu Aktivasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Sekam Padi Teraktivasi  $H_3PO_4$ . *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*. 1: 59–68.
- Rosyidan, C., Maulani, M., Samura, L., Ridaliani, O. 2022. Proses Pelapisan Nikel Diatas Al Dengan Metode Elektroplating. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 10, 121. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v10i1.2834>

- Sadaoui, Z., Hemidouche, S., Allalou, O. 2009. Removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by micellar compounds. *Desalination*. 249, 768-773. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.02.062>
- Sharaf El-Deen, G.E., Sharaf El-Deen, S.E.A. 2016. Kinetic and isotherm studies for adsorption of Pb(II) from aqueous solution onto coconut shell activated carbon. *Desalination and Water Treatment*. 57: 28910-28931. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1193825>
- Shrestha, R.M., Joshi, S. 2019. International Journal of Advanced Engineering Application of Coconut Shell for the Preparation of Activated Carbon to Remove Heavy Metal from Aqueous Solution. 02: 2586-7652.
- Shrivastava, P.K., Gupta, S.K. 2015. Removal of Chromium from Waste Water by Adsorption Method Using Agricultural Waste Materials. *International Journal of Chemical Sciences*. 6: 2278-6015.
- Song, W., Shi, T., Yang, D., Ye, J., Zhou, Y., Feng, Y. 2015. Pretreatment effects on the sorption of Cr(VI) onto surfactant-modified zeolite: Mechanism analysis. *Journal of Environmental Management*. 162: 96-101. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.010>
- Sudibandriyo, M. 2011. Karakteristik luas permukaan karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi kimia. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 3(10): 149-156.
- Sujiono, E.H., Zabrian, D., Zurnansyah, Mulyati, Zharvan, V., Samnur, Humairah, N.A. 2022. Fabrication and characterization of coconut shell activated carbon using variation chemical activation for wastewater treatment application. *Results in Chemistry*. 4: 100291. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100291>
- Sulistiyowati, R.Z., Yanti, I. 2021. Determination of Cr (VI) and

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Using UV-Vis Spectrophotometry in River Water Samples at the Environment Office of Semarang City  
Penentuan Cr (VI) and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dalam Sampel Air Sungai di Dinas Lingkungan Hidup Kota Sema. IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research. 6: 51-58.  
<https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss2.art1>

Syauqiah, I., Amalia, M., Kartini, H.A. 2011. Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Adsorpsi. Info Teknik. 12: 11-20.

Tazikeh, S., Shafiei, A., Yerkenov, T., Abenov, A., Seitmaganbetov, N. 2022. Review article A systematic and critical review of asphaltene adsorption from macroscopic to microscopic scale: Theoretical , experimental , statistical , intelligent , and molecular dynamics simulation approaches. Fuel Processing Technology. 329.

Tolkou, A.K., Trikalioti, S., Makrogianni, O., Xanthopoulou, M., Deliyanni, E.A., Katsoyiannis, I.A., Kyzas, G.Z. 2022. Chromium(VI) Removal from Water by Lanthanum Hybrid Modified Activated Carbon Produced from Coconut Shells. Nanomaterials. 12: 1-19.  
<https://doi.org/10.3390/nano12071067>

Triwijaya, B. 2022. Sintesis Komposit Kulit Jeruk Dengan Karbon Aktif Kulit Salak Sebagai Adsorben Zat Warna Methil Violet. Universitas Islam Indonesia.

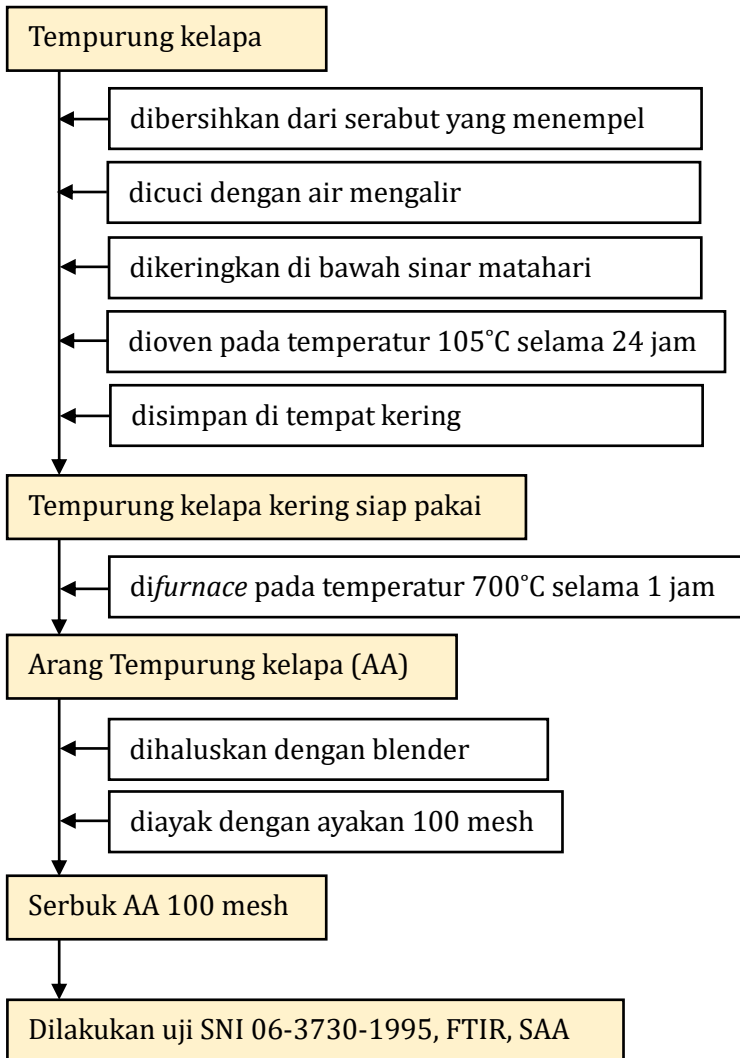
Tsagkaropoulou, G., Allen, F.J., Clarke, S.M., Camp, P.J. 2019. Self-assembly and adsorption of cetyltrimethylammonium bromide and didodecyldimethylammonium bromide surfactants at the mica-water interface. Soft Matter. 15, 8402-8411.  
<https://doi.org/10.1039/c9sm01464k>

- Turmiati, T. 2019. Modifikasi Bentonit Menggunakan Surfaktan Kationik Bensalkonium Klorida. *Skripsi*. 17–21.
- Verayana, Paputungan, M., Iyabu, H. 2018. Pengaruh Aktivator HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa Serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jambura Journal of Educational Chemistry*. 13: 67–75.
- Villota, S.M., Lei, H., Villota, E., Qian, M., Lavarias, J., Taylan, V., Agulto, I., Mateo, W., Valentin, M., Denson, M. 2019. Microwave-Assisted Activation of Waste Cocoa Pod Husk by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and KOH - Comparative Insight into Textural Properties and Pore Development. *ACS Omega*. 4: 7088–7095. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03514>
- Waghmare, C., Ghodmare, S., Ansari, K., Alfaisal, F.M., Alam, S., Khan, M.A., Ezaier, Y. 2024. Adsorption of methylene blue dye onto phosphoric acid-treated pomegranate peel adsorbent: Kinetic and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment*. 318: 100406. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100406>
- Wahyuni, D., Nurhanisa, M., Bahtiar, A., Rutdiyanti. 2022. Optimasi Sintesis Karbon Aktif dari Bambu Buluh (*Schizostachyum brachycladum*) dengan Variasi Suhu Karbonisasi untuk Penyerapan Besi pada Air Sumur Gambut. *Jurnal Fisika Unand*. 11: 292–298. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.3.292-298.2022>
- Widayatno, T., Yulawati, T., Susilo, A.A. 2017. Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. 1: 17–23.
- Winata, B.Y., Erliyanti, N.K., Yogaswara, R.R., Saputro, E.A. 2021. Pra Perancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Proses Aktifasi Kimia pada

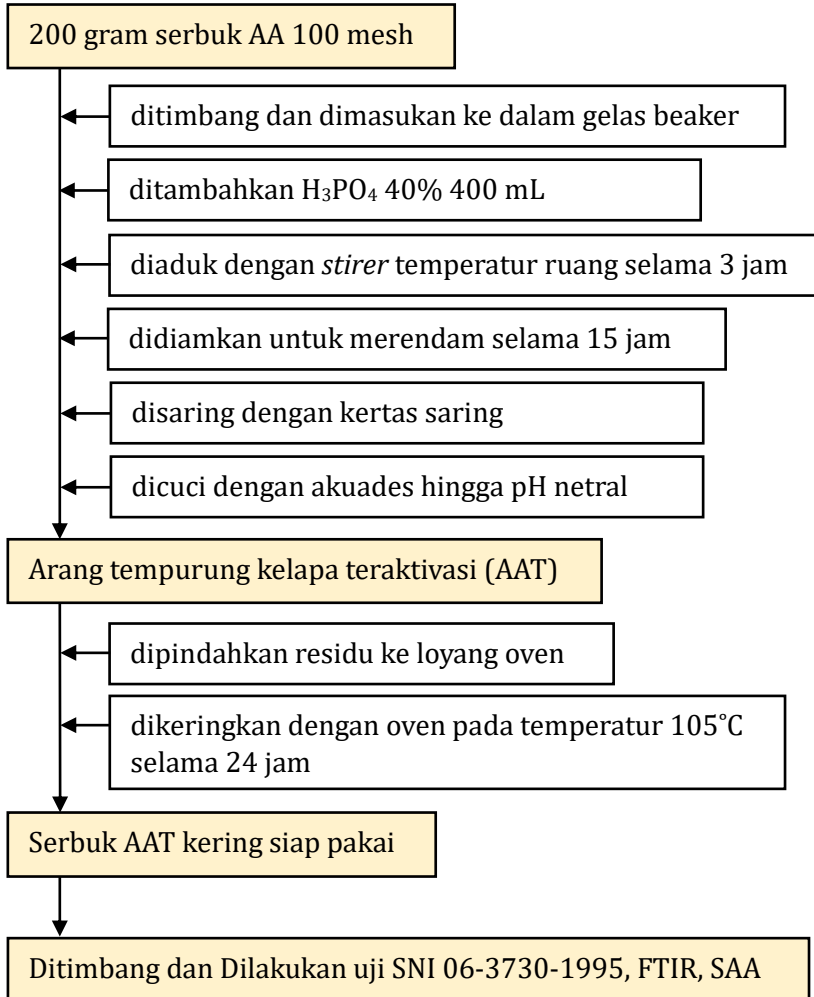
- Kapasitas 20.000 ton/tahun. Jurnal Teknik ITS. 9: 0–5.  
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.52338>
- Wiryawan, A., Retnowati, R., Burhan, R.Y.P., Syekhfani. 2018. Method of analysis for determination of the chromium (Cr) species in water samples by spectrophotometry with diphenylcarbazine. *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*. 05(1): 37–46.
- Worch, E. 2012. Adsorption Technology in Water Treatment (Fundamentals, Processes, And Modeling). De Gruyter. Germany. <https://doi.org/10.1515/9783110240238>
- Wulandari, D.D., Izzatunnisa, S., Herzhaputra, D.D., Wuryaningrum, A. 2021. Literatur Review: akumulasi dan toksisitas logam berat: kadmium (Cd), kromium (Cr) dan nikel (Ni). *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 11: 93–98.  
<https://doi.org/10.47718/jkl.v10i2.1172>
- Xia, S., Song, Z., Jeyakumar, P., Shaheen, S.M., Rinklebe, J., Ok, Y.S., Bolan, N., Wang, H., 2019. A critical review on bioremediation technologies for Cr(VI)-contaminated soils and wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 49: 1027–1078.  
<https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1564526>
- Xie, B., Qin, J., Wang, S., Li, X., Sun, H., Chen, W. 2020. Adsorption of Phenol on Commercial Activated Carbons: Modelling and Interpretation. *International journal of environmental research and public health*. 17.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17030789>
- Xue, C., Hao, W., Cheng, W., Ma, J., Li, R. 2019. Effects of pore size distribution of activated carbon ( AC ) on CuCl dispersion and CO adsorption for CuCl / AC adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. 375: 122049.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122049>
- Yusi, A. 2018. Sintesis Mg/Al-NO<sub>3</sub> Hydrotalcite-Like Dari Air

Laut Sebagai Adsorben Logam  $\text{Cu}^{2+}$  Dan  $\text{Cr}^{6+}$ . Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

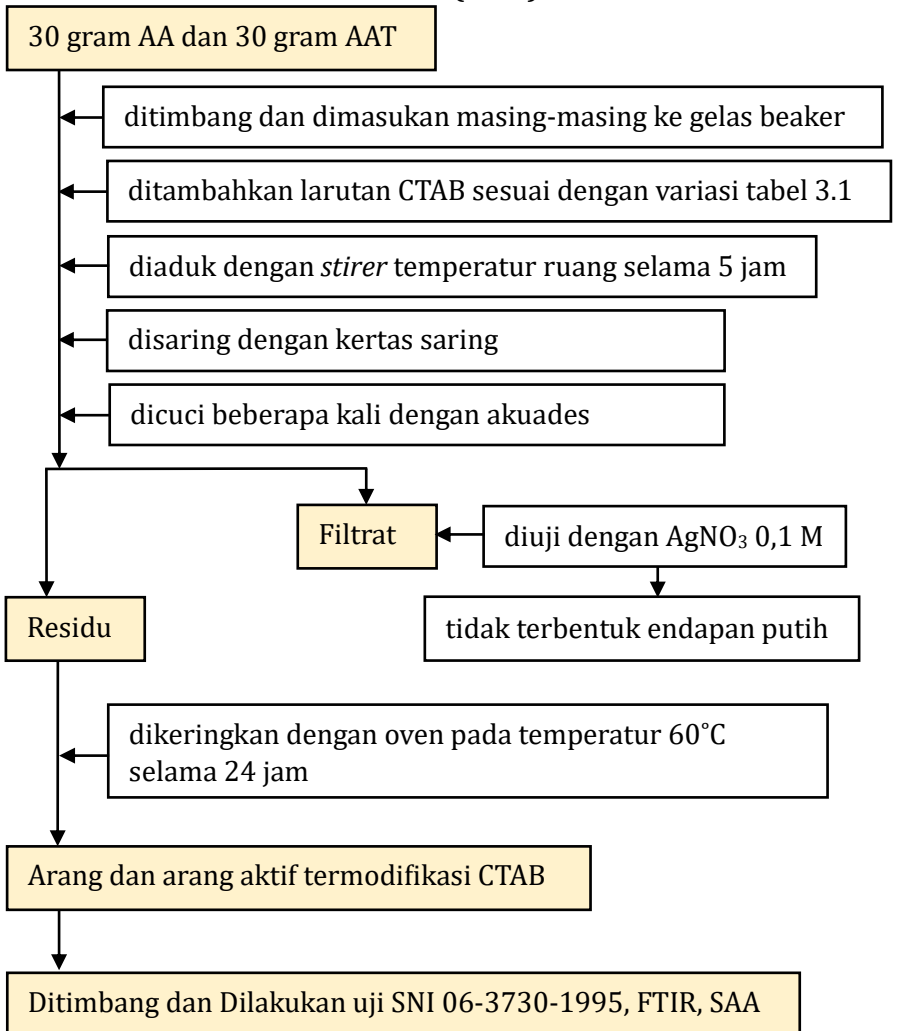
- Zayed, A.M., Terry, N. 2003. Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. 139-156. <https://doi.org/10.1023/A:1022504826342>
- Zhao, J., Yu, L., Ma, H. Zhou, F., Yang, K., Wu, G.,. 2020. Corn stalk-based activated carbon synthesized by a novel activation method for high-performance adsorption of hexavalent chromium in aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 578: 650-659. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.06.031>
- Zulfadhli, M., Iriany. 2017. Pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet dengan aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan aplikasinya sebagai penjerap  $\text{Cr(VI)}$ . *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6: 23-28. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i1.1564>

**LAMPIRAN****Lampiran 1. Diagram Alir Cara Kerja****1. Preparasi Arang Tempurung Kelapa (AA)**

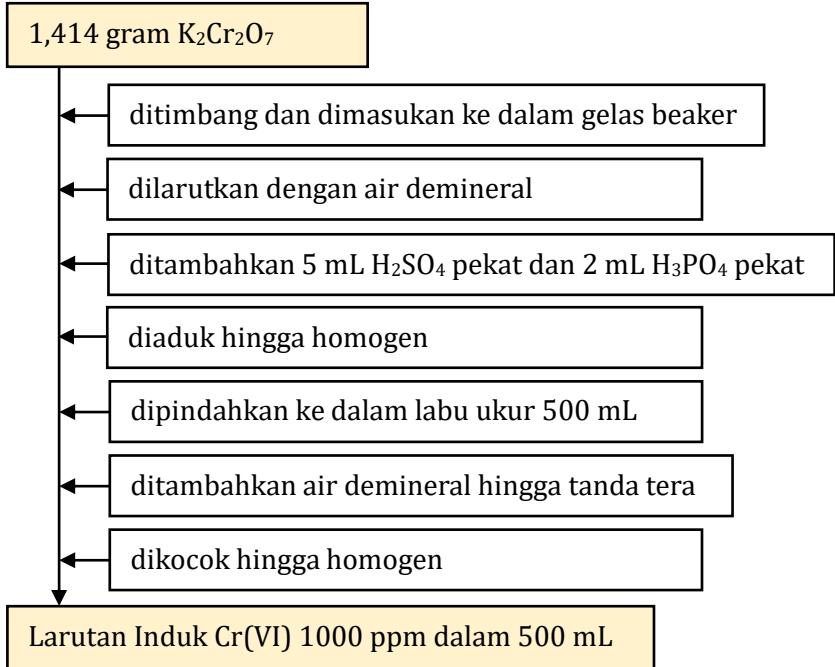
## 2. Proses Aktivasi Arang Tempurung Kelapa (AAT)



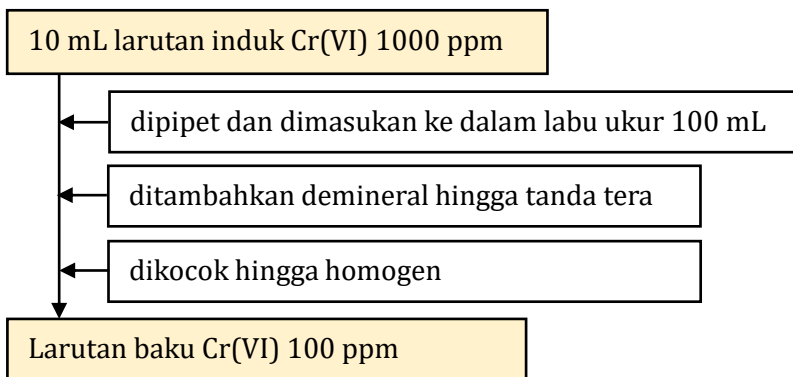
### 3. Proses Modifikasi AA dan AAT (AAM)



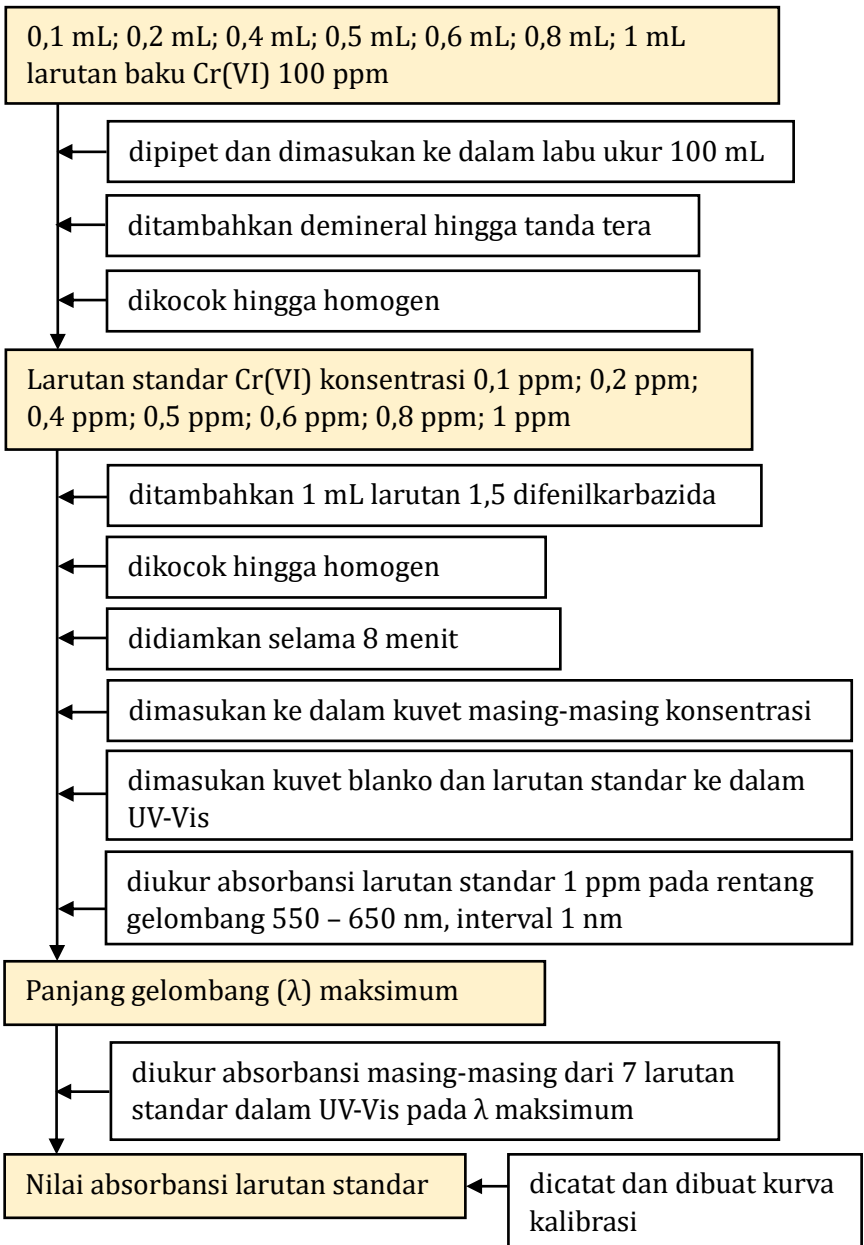
#### 4. Preparasi Larutan Logam Cr(VI) dalam K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>



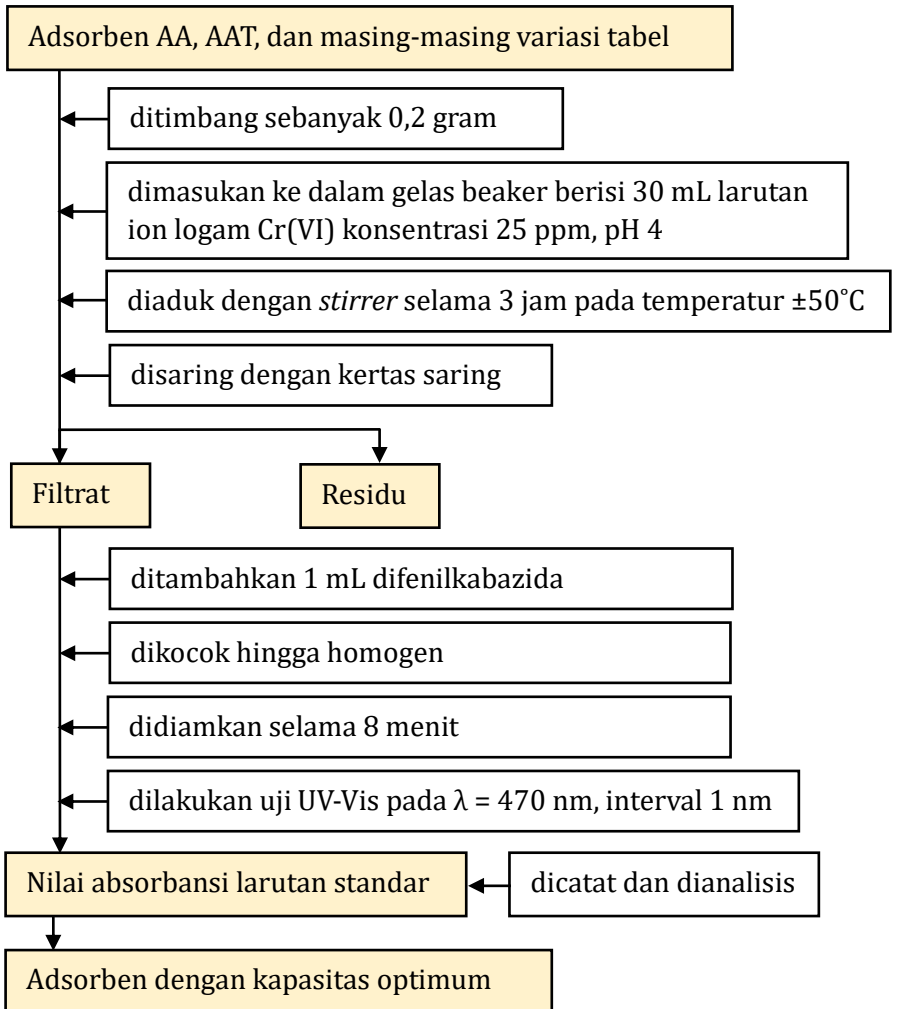
#### 5. Preparasi Larutan Baku Cr(VI) 100 ppm



## 6. Preparasi Larutan Standar Cr(VI)

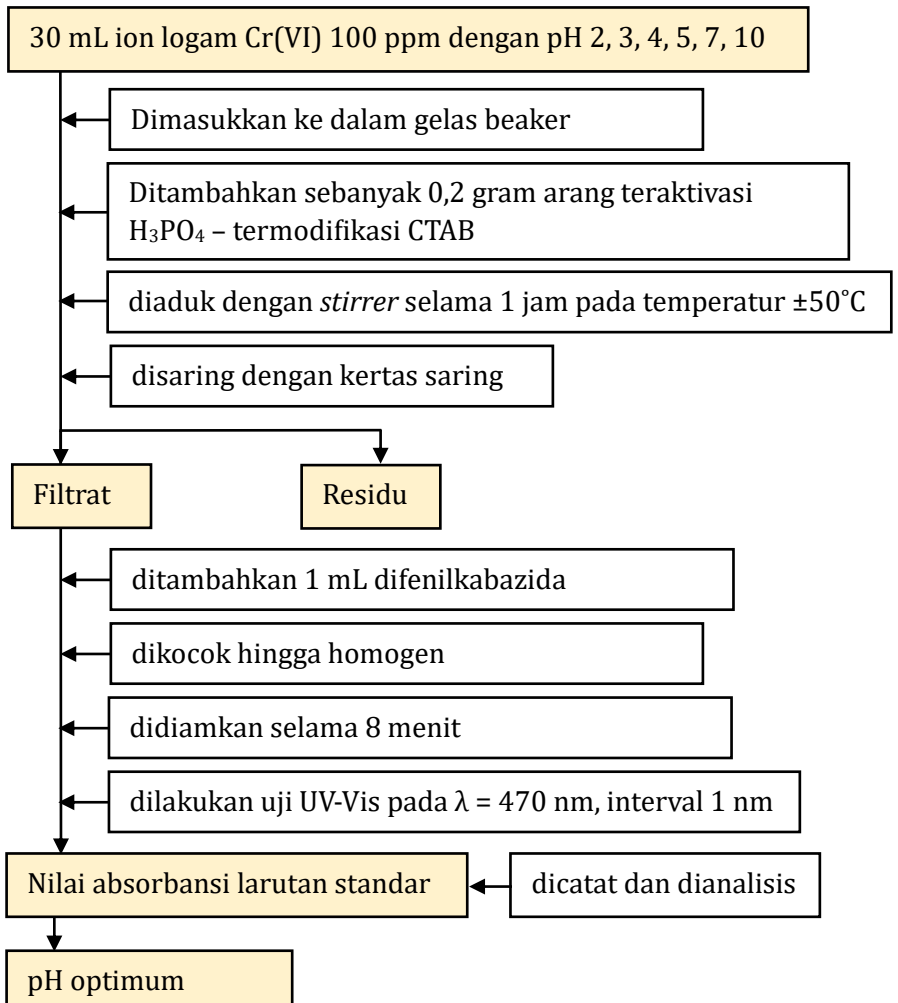


## 7. Adsorpsi Awal

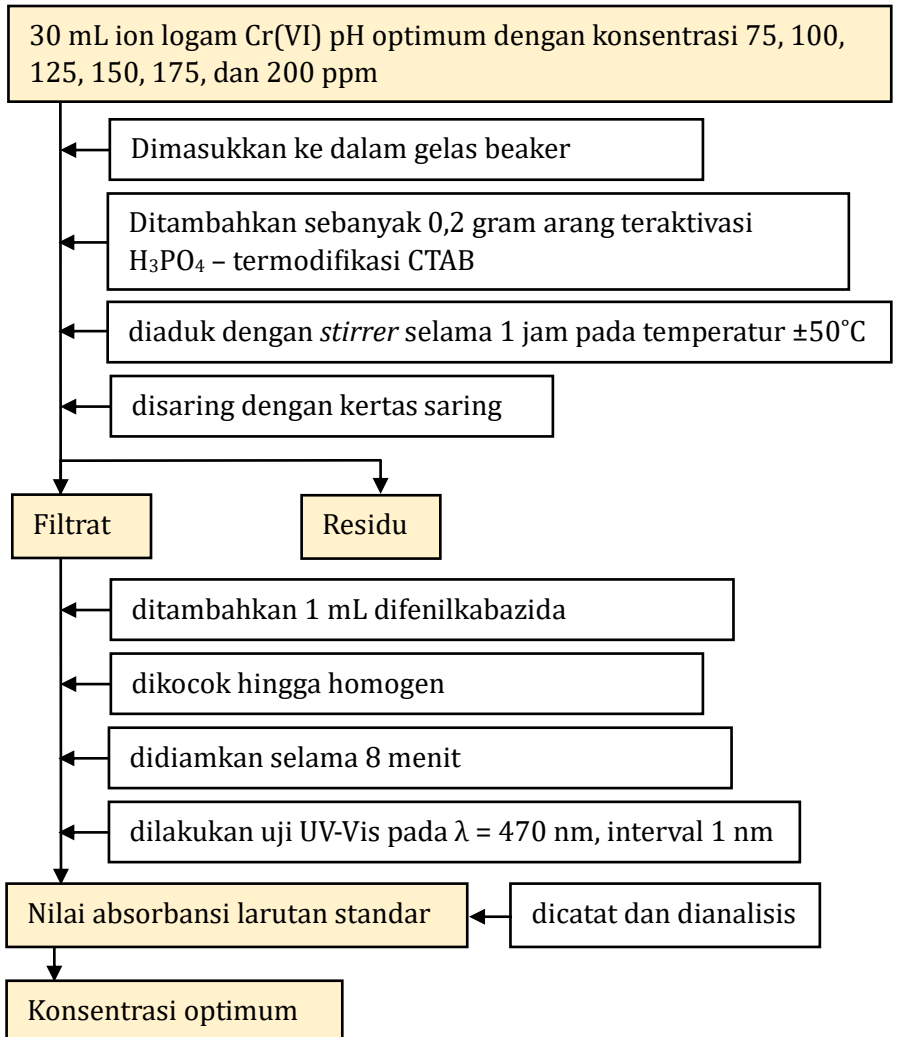


## 8. Optimasi Adsorpsi

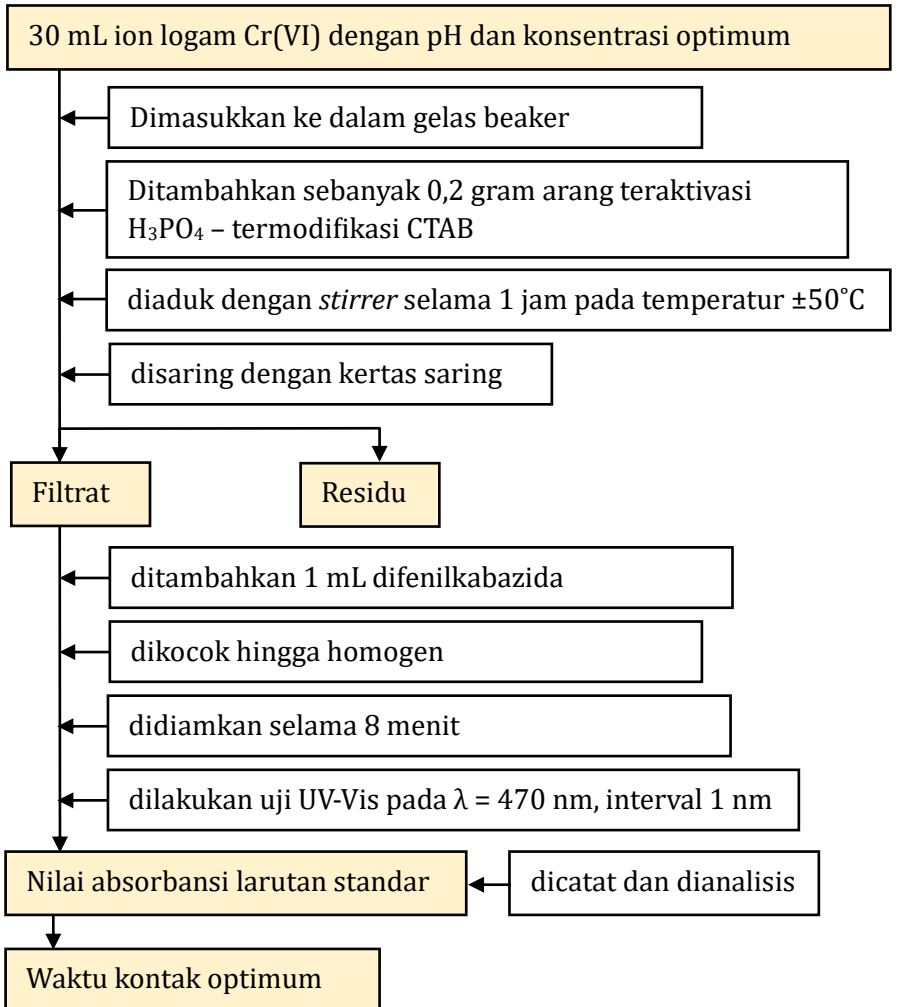
### 1. Optimasi pH



## 2. Optimasi Konsentrasi



### 3. Optimasi Waktu Kontak



## Lampiran 2. Data Hasil Percobaan

### 1. Data Uji SNI

**Tabel L2.1** Data Massa Cawan Kosong

Cawan	Hasil Timbangan Cawan Kosong (g)			
	Oven 1	Oven 2	Oven 3	Rata-Rata
AA	43.655	43.653	43.653	43.653
AAT	52.960	52.960	52.960	52.960
AA + 0,92	34.678	34.678	34.678	34.678
AAT + 0,92	52.638	52.638	52.638	52.638
AA + 1,84	63.038	63.036	63.036	63.036
AAT + 1,84	59.451	59.450	59.450	59.450
AA + 2,76	41.382	41.381	41.381	41.381
AAT + 2,76	52.079	52.075	52.075	52.075

**Tabel L2.2** Data Uji Kadar Air (massa = 1 g)

Cawan	Hasil Timbangan (C.K + arang) (g)			
	Oven 1	Oven 2	Oven 3	Rata-Rata
AA	44.576	44.574	44.574	44.575
AAT	53.887	53.877	53.874	53.879
AA + 0,92	35.594	35.593	35.593	35.593
AAT + 0,92	53.564	53.561	53.558	53.561
AA + 1,84	63.947	63.947	63.947	63.947
AAT + 1,84	60.374	60.374	60.374	60.374
AA + 2,76	42.321	42.320	42.320	42.320
AAT + 2,76	52.978	52.976	52.975	52.976

**Tabel L2.3** Data Uji Kadar Air, Kadar Abu, dan Zat Volatil

Cawan	Hasil Timbangan (g)		
	Kadar Air (105°C)	Kadar Abu (650°C)	Kadar Volatil (950°C)
AA	44.575	43.658	43.644
AAT	53.879	52.961	52.965
AA + 0,92	35.593	34.691	34.700
AAT + 0,92	53.561	52.639	52.643

AA + 1,84	63.947	63.047	63.051
AAT + 1,84	60.374	59.451	59.46
AA + 2,76	42.320	41.389	41.387
AAT + 2,76	52.976	52.078	51.865

## 2. Data Panjang Gelombang Maksimum

**Tabel L2.4** Data Pengujian Panjang Gelombang Maksimum Cr(VI)

Bilangan Gelombang ( $\lambda$ )	Absorbansi	Bilangan Gelombang ( $\lambda$ )	Absorbansi	Bilangan Gelombang ( $\lambda$ )	Absorbansi
450	0.061	518	0.08	586	0.068
451	0.061	519	0.081	587	0.068
452	0.061	520	0.082	588	0.066
453	0.06	521	0.082	589	0.064
454	0.06	522	0.083	590	0.063
455	0.06	523	0.084	591	0.063
456	0.059	524	0.085	592	0.061
457	0.059	525	0.086	593	0.059
458	0.059	526	0.087	594	0.059
459	0.058	527	0.087	595	0.057
460	0.058	528	0.088	596	0.056
461	0.058	529	0.089	597	0.054
462	0.057	530	0.09	598	0.053
463	0.057	531	0.09	599	0.052
464	0.057	532	0.091	600	0.049
465	0.056	533	0.091	601	0.048
466	0.056	534	0.093	602	0.047
467	0.056	535	0.093	603	0.046
468	0.056	536	0.094	604	0.045
469	0.056	537	0.094	605	0.044
470	0.056	538	0.094	606	0.042
471	0.055	539	0.095	607	0.041
472	0.055	540	0.095	608	0.038
473	0.055	541	0.095	609	0.037

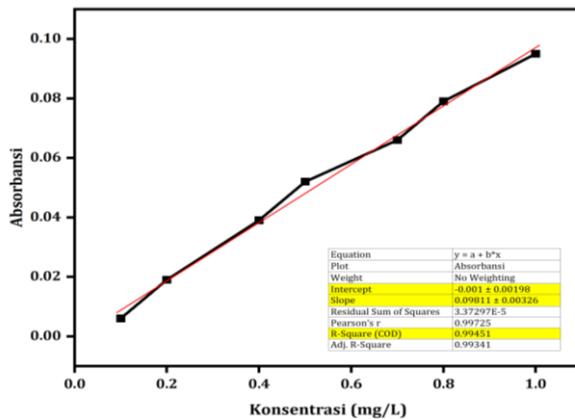
474	0.055	542	0.096	610	0.036
475	0.056	543	0.096	611	0.035
476	0.055	544	0.096	612	0.033
477	0.055	545	0.096	613	0.032
478	0.055	546	0.097	614	0.03
479	0.055	547	0.097	615	0.029
480	0.056	548	0.097	616	0.029
481	0.056	549	0.096	617	0.027
482	0.056	550	0.096	618	0.025
483	0.057	551	0.096	619	0.024
484	0.056	552	0.096	620	0.024
485	0.057	553	0.095	621	0.023
486	0.057	554	0.096	622	0.021
487	0.058	555	0.095	623	0.021
488	0.058	556	0.094	624	0.02
489	0.058	557	0.094	625	0.019
490	0.058	558	0.094	626	0.018
491	0.059	559	0.093	627	0.017
492	0.059	560	0.093	628	0.017
493	0.06	561	0.091	629	0.016
494	0.061	562	0.092	630	0.014
495	0.062	563	0.091	631	0.013
496	0.062	564	0.09	632	0.013
497	0.063	565	0.09	633	0.012
498	0.063	566	0.088	634	0.012
499	0.064	567	0.088	635	0.012
500	0.065	568	0.087	636	0.011
501	0.066	569	0.086	637	0.011
502	0.066	570	0.086	638	0.009
503	0.067	571	0.085	639	0.008
504	0.067	572	0.085	640	0.009
505	0.068	573	0.084	641	0.009
506	0.069	574	0.083	642	0.009
507	0.07	575	0.082	643	0.007
508	0.071	576	0.081	644	0.007

509	0.072	577	0.08	645	0.008
510	0.073	578	0.079	646	0.008
511	0.074	579	0.078	647	0.005
512	0.075	580	0.076	648	0.007
513	0.075	581	0.075	649	0.006
514	0.076	582	0.074	650	0.004
515	0.077	583	0.073		
516	0.078	584	0.072		
517	0.079	585	0.071		

### 3. Data Kurva Standar

Tabel L2.5 Data Pengujian Larutan Standar Cr(VI)

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0.1	0.006
0.2	0.019
0.4	0.039
0.5	0.052
0.7	0.066
0.8	0.079
1	0.095



Gambar L2.1 Grafik Kurva Standar Cr(VI)

Berdasarkan perolehan data tabel L.5, dapat dibuat grafik kurva standar Cr(VI) yang diilustrasikan dalam Gambar L3.1.

#### 4. Data Uji Adsorpsi

**Tabel L2.6** Data Uji Adsorpsi Awal

Sampel	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Rata-Rata	Massa (g)	Volume larutan (L)
AA	0.129	0.13	0.1295	0.2	0.03
AAT	0.066	0.053	0.0595	0.2	0.03
AAT + 0,92	0.046	0.054	0.0500	0.2	0.03
AAT + 1,84	0.029	0.028	0.0285	0.2	0.03
AAT + 2,76	0.043	0.036	0.0395	0.2	0.03
AA + 0,92	0.097	0.094	0.0955	0.2	0.03
AA + 1,84	0.097	0.088	0.0925	0.2	0.03
AA + 2,76	0.088	0.085	0.0865	0.2	0.03

Sampel	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	EA (%)
AA	25	1.3303	3.5504	94.68
AAT	25	0.6167	3.6575	97.53
AAT + 0,92	25	0.5199	3.6720	97.92
AAT + 1,84	25	0.3007	3.7049	98.80
AAT + 2,76	25	0.4128	3.6881	98.35
AA + 0,92	25	0.9837	3.6024	96.06
AA + 1,84	25	0.9531	3.6070	96.19
AA + 2,76	25	0.8919	3.6162	96.43

#### 5. Data Optimasi pH

**Tabel L2.7** Data Uji Optimasi dengan Variasi pH

pH	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Rata-Rata	massa (g)	Volume larutan (L)
2	0.149	0.137	0.143	0.2	0.03

3	0.102	0.113	0.1075	0.2	0.03
4	0.113	0.112	0.1125	0.2	0.03
5	0.121	0.117	0.119	0.2	0.03
7	0.113	0.119	0.116	0.2	0.03
10	0.109	0.114	0.1115	0.2	0.03

pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
2	100	14.6789	12.7982
3	100	22.1203	11.6819
4	100	28.9246	10.6613
5	100	61.1621	5.8257
7	100	74.5413	3.8188
10	100	71.6743	4.2488

## 6. Data Optimasi Konsentrasi Awal

**Tabel L2.8** Data Uji Optimasi dengan Variasi Konsentrasi Awal Cr(VI)

Co (mg/L)	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Rata-Rata	massa (g)	Volume larutan (L)
5	-0.005	-0.003	-0.004	0.2	0.03
10	0	-0.007	-0.003	0.2	0.03
25	-0.002	-0.001	-0.001	0.2	0.03
50	-0.003	0	-0.001	0.2	0.03
75	0.078	0.074	0.076	0.2	0.03
100	0.059	0.06	0.0595	0.2	0.03
125	0.082	0.073	0.0775	0.2	0.03
150	0.056	0.058	0.057	0.2	0.03
175	0.066	0.076	0.071	0.2	0.03
200	0.094	0.096	0.095	0.2	0.03

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
75	0.7849	11.1323
100	12.3343	13.1498

125	66.6836	8.7474
150	73.9042	11.4144
175	91.7431	12.4885
200	122.324	11.6514

## 7. Data Optimasi Waktu Kontak

**Tabel L2.9** Data Uji Optimasi dengan Variasi Waktu Kontak Adsorpsi

Waktu (menit)	Absorbansi 1	Absorbansi 2	Rata-Rata	massa (g)	Volume larutan (L)
15	0.146	0.145	0.1455	0.2	0.03
30	0.109	0.108	0.1085	0.2	0.03
60	0.042	0.044	0.043	0.2	0.03
120	0.023	0.028	0.0255	0.2	0.03
180	0.017	0.015	0.016	0.2	0.03
300	0.01	0.007	0.0085	0.2	0.03

Waktu (menit)	Co (mg/L)	Ct (mg/L)	Qe (mg/g)
15	100	74.6687	3.7997
30	100	55.8104	6.6284
60	100	22.42609	11.6361
120	100	13.5066	12.9740
180	100	1.7329	14.7401
300	100	0.9684	14.8547

## 8. Data Isoterm Adsorpsi

**Tabel L2.10** Data Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

<i>Isoterm Langmuir</i>					
<i>Intercept</i>	<i>Slope</i>	Q <sub>max</sub> (mg/g)	K <sub>L</sub> (L/mg)	R <sub>L</sub>	R <sup>2</sup>
0.22238	0.08597	4.49681	2.59	0.25541	0.95722
<i>Isoterm Freundlich</i>					

<i>Intercept</i>	<i>Slope (1/n)</i>	<i>n</i>	$K_F$ (mg/g) (L/mg) <sup>n</sup>	$R^2$
1.06393	-0.0064	-156.25	3.15321	0.00768

## 9. Data Kinetika Adsorpsi

**Tabel L2.11** Data Parameter Kinetika Adsorpsi First Order dan Second Order

<i>Pseudo First Order</i>				
<i>Intercept</i>	<i>Slope</i>	$Q_1$ (mg/g)	$K_1$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$
0.84929	-0.00467	-214.1328	-181.8608	0.49245
<i>Pseudo Second Order</i>				
<i>Intercept</i>	<i>Slope</i>	$Q_2$ (mg/g)	$K_2$ (g/mg.min)	$R^2$
2.45744	0.05751	17.38828	0.00135	0.99141

### Lampiran 3. Perhitungan Analisis Data

#### 1. Preparasi Larutan

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Keterangan:

$C_1$  = Konsentrasi larutan awal (mg/L)/ (%)

$C_2$  = Konsentrasi larutan yang diinginkan (mg/L)/ (%)

$V_1$  = Volume larutan yang dibutuhkan (mL)

$V_2$  = Volume larutan setelah pengenceran (mg/L)

##### a. Larutan $H_3PO_4$ 40%

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$85\% \times V_1 = 40\% \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 47,1 \text{ mL}$$

##### b. Larutan NaOH 1M

$$M = \frac{m \text{ (g)}}{Mr} \times \frac{1000}{V \text{ (mL)}}$$

$$\text{massa} = \frac{1 \text{ M} \times 100 \text{ mL} \times 40 \text{ g/mol}}{1000}$$

$$\text{massa} = 4 \text{ gram}$$

Jadi, untuk membuat larutan NaOH 1M, ditimbang 4 gram NaOH kemudian dilarutkan ke dalam 100 mL demineral.

##### c. Larutan Induk 1000 mg/L

Untuk membuat larutan induk Cr(VI) konsentrasi 1000 mg/L dibutuhkan massa padatan  $K_2Cr_2O_7$  sebanyak:

$$\text{massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \frac{\text{Mr K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{2 \times \text{Ar Cr(VI)}} \times \left(1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,5 \text{ L}\right)$$

$$\text{massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \frac{294,181 \text{ g/mol}}{2 \times 51,996 \text{ g/mol}} \times 500 \text{ mg}$$

$$\text{massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 2,829 \times 500 \text{ mg}$$

$$\text{massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 2,829 \times 500 \text{ mg}$$

$$\text{massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 1,414 \text{ gram}$$

Jadi, pembuatan larutan induk 1000 mg/L diperlukan padatan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  sebanyak 1,414 gram untuk dilarutkan dengan demineral volume 500 mL.

d. Pengenceran Larutan Cr(VI)

Pembuatan larutan standar diperlukan pengenceran dari larutan induk 1000 mg/L. Pengenceran dapat dilakukan dengan:

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

dimana,

$M_1$  &  $M_2$  = Konsentrasi larutan induk dan konsentrasi yang diinginkan (mg/L)

$V_1$  &  $V_2$  = Volume larutan induk dan volume setelah pengenceran (mL)

1) Larutan Cr(VI) 100 mg/L

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

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 100 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

2) Larutan Cr(VI) 10 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 10 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

3) Larutan Cr(VI) 1 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 1 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

4) Larutan Cr(VI) 0,8 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,8 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 8 \text{ mL}$$

5) Larutan Cr(VI) 0,6 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,6 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

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

6) Larutan Cr(VI) 0,5 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,5 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

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

7) Larutan Cr(VI) 0,4 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,4 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

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

8) Larutan Cr(VI) 0,2 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,2 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

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

9) Larutan Cr(VI) 0,1 mg/L

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

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,1 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

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

## 2. Perhitungan Kadar Air, Kadar Abu, Kadar Zat Volatil

a. Persentase Kadar Air

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{\text{massa awal} - \text{massa setelah dipanaskan}}{\text{massa awal}} \times 100\%$$

1) Arang Tempurung Kelapa (AA)

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{1 \text{ g} - (44.574 - 43.653) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Air} = 7.9\%$$

2) AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{1 \text{ g} - (53.879 - 52.960) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Air} = 8.1\%$$

3) AA + 0,92 mM

$$\%Kadar\ Air = \frac{1\ g - (35.593 - 34.678)\ g}{1\ g} \times 100\%$$

$$\%Kadar\ Air = 8.5\%$$

4) AAT + 0,92 mM

$$\%Kadar\ Air = \frac{1\ g - (53.561 - 52.638)\ g}{1\ g} \times 100\%$$

$$\%Kadar\ Air = 7.7\%$$

5) AA + 1,84 mM

$$\%Kadar\ Air = \frac{1\ g - (63.947 - 63.036)\ g}{1\ g} \times 100\%$$

$$\%Kadar\ Air = 8.9\%$$

6) AAT + 1,84 mM

$$\%Kadar\ Air = \frac{1\ g - (60.374 - 59.450)\ g}{1\ g} \times 100\%$$

$$\%Kadar\ Air = 7.6\%$$

7) AA + 2,76 mM

$$\%Kadar\ Air = \frac{1\ g - (42.320 - 41.381)\ g}{1\ g} \times 100\%$$

$$\%Kadar\ Air = 6.1\%$$

8) AAT + 2,76 mM

$$\%Kadar\ Air = \frac{1\ g - (52.976 - 52.075)\ g}{1\ g} \times 100\%$$

$$\%Kadar\ Air = 9.9\%$$

## b. Persentase Kadar Abu

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{\text{massa setelah pengabuan} - m. \text{cawan}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$

## 1) Arang Arang Tempurung Kelapa (AA)

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(43.658 - 43.653) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 0.5\%$$

2) AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(52.961 - 52.960) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 0.1\%$$

## 3) AA + 0,92 mM

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(34.691 - 34.678) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 1.3\%$$

## 4) AAT + 0,92 mM

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(52.639 - 52.638) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 0.1\%$$

## 5) AA + 1,84 mM

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(63.047 - 63.036) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 1.1\%$$

## 6) AAT + 1,84 mM

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(59.451 - 59.450) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 0.1\%$$

7) AA + 2,76 mM

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(41.389 - 41.381) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 0.8\%$$

8) AAT + 2,76 mM

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{(52.078 - 52.075) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Abu} = 0.3\%$$

c. Persentase kadar zat v156olatil

$$\% \text{Kadar volatil} = \frac{\text{m. pengeringan} - \text{m. setelah } 95^{\circ}\text{C}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$

1) Arang Tempurung Kelapa (AA)

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(44.575 - 43.653) - (43.644 - 43.653) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 93.1\%$$

2) AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(53.874 - 52.960) - (52.965 - 52.960) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 90.9\%$$

3) AA + 0,92 mM

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(35.593 - 34.678) - (34.7 - 34.678) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 89.3\%$$

4) AAT + 0,92 mM

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(53.561 - 52.638) - (52.643 - 52.638) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 91.8\%$$

5) AA + 1,84 mM

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(63.947 - 63.036) - (63.051 - 63.036) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 89.6\%$$

6) AAT + 1,84 mM

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(60.374 - 59.450) - (59.460 - 59.450) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 91.4\%$$

7) AA + 2,76 Mm

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(42.320 - 41.381) - (41.387 - 41.381) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 93.3\%$$

8) AAT + 2,76 mM

$$\% \text{Kadar Volatil} = \frac{(52.976 - 52.075) - (51.865 - 52.075) \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\% \text{Kadar Volatil} = 111.1\%$$

### 3. Perhitungan Konsentrasi dan Kapasitas Adsorpsi

Kadar Cr(VI) yang terkandung dalam sampel dapat diketahui melalui ekstrapolasi persamaan 3.4 yang ditunjukkan dalam Gambar L2.1. Perhitungan dilakukan dengan persamaan  $y = 0.09811X - 0.001$ , dimana  $y$  merupakan nilai absorbansi.

$$X = \frac{\text{Absorbansi } (y) + 0.001}{0.0981}$$

Untuk mengetahui konsentrasi sebenarnya setelah pengenceran:

$$X = \frac{\text{Absorbansi (y)} + 0.001}{0.0981} \times \text{faktor pengenceran}$$

Selanjutnya, kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) dapat diketahui melalui:

$$Q_e = \frac{\text{Konsentrasi awal (C}_o\text{)} - \text{Konsentrasi akhir (C}_e\text{)}}{\text{massa adsorben}} \times V$$

a. Adsorpsi Awal ( $C_o = 25 \text{ mg/L}$ )

1) Arang Tempurung Kelapa (AA)

$$X = \frac{0.1295 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 1.3303$$

$$Q_e = \frac{(25 - 1.330) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.55045 \text{ mg/g}$$

2) AA +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (AAT)

$$X = \frac{0.0595 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 0.6167$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0.6167) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.65749 \text{ mg/g}$$

3) AAT + 0,92 mM

$$X = \frac{0.05 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 0.5199$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0.5199) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.6720 \text{ mg/g}$$

4) AAT + 1,84 mM

$$X = \frac{0.0285 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 0.3007$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0.3007) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.7049 \text{ mg/g}$$

5) AAT + 2,76 mM

$$X = \frac{0.0395 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 0.4128$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0.4128) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.6881 \text{ mg/g}$$

6) AA + 0,92 mM

$$X = \frac{0.0955 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 0.9837$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0.9837) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.6024 \text{ mg/g}$$

7) AA + 1,84 mM

$$X = \frac{0.0925 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 0.9531$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0.9531) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.6070 \text{ mg/g}$$

8) AA + 2,76 mM

$$X = \frac{0.0865 + 0.001}{0.0981}$$

$$X = 0.8919$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0.8919) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.6162 \text{ mg/g}$$

b. Optimasi pH ( $C_o = 100 \text{ mg/L}$ )

1) pH 2

$$X = \frac{0.143 + 0.001}{0.0981} \times \frac{20}{2}$$

$$X = 14.6789$$

$$Q_e = \frac{(100 - 14.6789) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 12.7982 \text{ mg/g}$$

2) pH 3

$$X = \frac{0.1075 + 0.001}{0.0981} \times \frac{20}{1}$$

$$X = 22.1203$$

$$Q_e = \frac{(100 - 22.1203) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 11.682 \text{ mg/g}$$

3) pH 4

$$X = \frac{0.1125 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{1}$$

$$X = 28.9246$$

$$Q_e = \frac{(100 - 28.9246) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 10.6613 \text{ mg/g}$$

4) pH 5

$$X = \frac{0.119 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.5}$$

$$X = 61.1621$$

$$Q_e = \frac{(100 - 61.1621) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 5.8257 \text{ mg/g}$$

5) pH 7

$$X = \frac{0.116 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.4}$$

$$X = 74.5413$$

$$Q_e = \frac{(100 - 74.5413) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.8188 \text{ mg/g}$$

6) pH 10

$$X = \frac{0.1115 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.4}$$

$$X = 71.6743$$

$$Q_e = \frac{(100 - 71.6743) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 4.2488 \text{ mg/g}$$

c. Optimasi Konsentrasi

1)  $C_0 = 75 \text{ mg/L}$

$$X = \frac{0.076 + 0.001}{0.0981} \times \frac{10}{10}$$

$$X = 0.7849$$

$$Q_e = \frac{(75 - 0.7849) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 11.1323 \text{ mg/g}$$

2)  $C_0 = 100 \text{ mg/L}$

$$X = \frac{0.0595 + 0.001}{0.0981} \times \frac{20}{1}$$

$$X = 12.3343$$

$$Q_e = \frac{(100 - 12.3343) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 13.1498 \text{ mg/g}$$

3)  $C_0 = 125 \text{ mg/L}$

$$X = \frac{0.0775 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.3}$$

$$X = 66.6836$$

$$Q_e = \frac{(125 - 66.6836) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 8.7474 \text{ mg/g}$$

4)  $C_0 = 150 \text{ mg/L}$

$$X = \frac{0.057 + 0.001}{0.0981} \times \frac{50}{0.4}$$

$$X = 73.9042$$

$$Q_e = \frac{(150 - 73.9042) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 4.2488 \text{ mg/g}$$

5)  $C_0 = 175 \text{ mg/L}$

$$X = \frac{0.071 + 0.001}{0.0981} \times \frac{50}{0.4}$$

$$X = 91.7431$$

$$Q_e = \frac{(175 - 91.7431) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 12.4885 \text{ mg/g}$$

6)  $C_0 = 200 \text{ mg/L}$

$$X = \frac{0.095 + 0.001}{0.0981} \times \frac{50}{0.4}$$

$$X = 122.3241$$

$$Q_e = \frac{(200 - 122.3241) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 11.6514 \text{ mg/g}$$

d. Optimasi Waktu Kontak ( $C_0 = 100 \text{ mg/L}$ )

1)  $t = 15 \text{ menit}$

$$X = \frac{0.1455 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.5}$$

$$X = 74.6687$$

$$Q_e = \frac{(100 - 74.6687) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 3.7997 \text{ mg/g}$$

2)  $t = 30$  menit

$$X = \frac{0.1085 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.5}$$

$$X = 55.8104$$

$$Q_e = \frac{(100 - 55.8104) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 6.6284 \text{ mg/g}$$

3)  $t = 60$  menit

$$X = \frac{0.043 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.5}$$

$$X = 22.4261$$

$$Q_e = \frac{(100 - 22.4261) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 11.6361 \text{ mg/g}$$

4)  $t = 120$  menit

$$X = \frac{0.0255 + 0.001}{0.0981} \times \frac{25}{0.5}$$

$$X = 13.5066$$

$$Q_e = \frac{(100 - 13.5066) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 12.9740 \text{ mg/g}$$

5)  $t = 180$  menit

$$X = \frac{0.016 + 0.001}{0.0981} \times \frac{10}{1}$$

$$X = 1.7329$$

$$Q_e = \frac{(100 - 1.7329) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 14.7401 \text{ mg/g}$$

6)  $t = 300$  menit

$$X = \frac{0.0085 + 0.001}{0.0981} \times \frac{10}{1}$$

$$X = 0.9684$$

$$Q_e = \frac{(100 - 0.9684) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ g}} \times 0.03 \text{ L}$$

$$Q_e = 14.8547 \text{ mg/g}$$

#### 4. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

a) Isoterm Langmuir

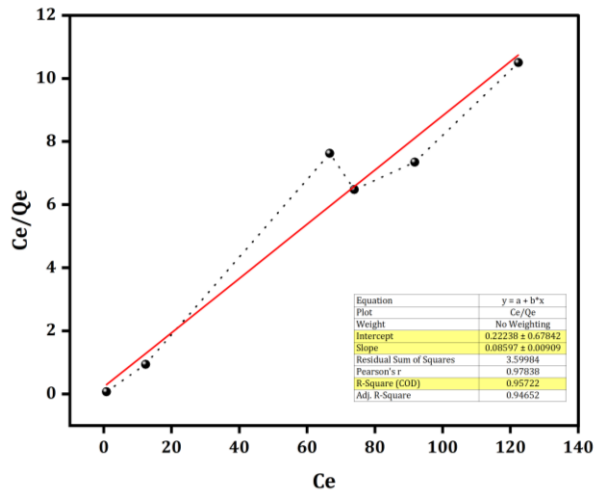
**Tabel L3.1** Data Penentuan Isoterm *Langmuir*

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
75	0.7849	11.1323	0.0705
100	12.3343	13.1498	0.9380
125	66.6836	8.7474	7.6232
150	73.9042	11.4144	6.4746
175	91.7431	12.4885	7.3462
200	122.324	11.6514	10.4987

Berdasarkan data Tabel L3.1 dapat diketahui persamaan linier Ce terhadap Ce/Qe dengan intersep

$$= \frac{1}{K_L Q_{maks}} \text{ dan slope} = \frac{1}{Q_{maks}} \text{ yang diilustrasikan dalam}$$

Gambar L3.1.



**Gambar L3.1** Grafik Kurva Isoterm *Langmuir*

Gambar L3.1 menunjukkan persamaan isoterm *Langmuir*  $y = 0.08597x + 0.22238$  dengan nilai  $R^2 = 0.95722$ . Oleh karena itu,  $K_L$  dan  $Q_e$  dapat diketahui melalui perhitungan:

- Perhitungan  $Q_{maks}$

$$\frac{1}{Q_{maks}} = a$$

$$\frac{1}{Q_{maks}} = 0.08597$$

$$Q_{maks} = 11.6320 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

- Perhitungan  $K_L$

$$\frac{1}{Q_{maks} \times K_L} = b$$

$$\frac{1}{11.6320 \times K_L} = 0.22238$$

$$K_L = \frac{1}{0.22238 \times 11.6320}$$

$$K_L = 0.3866 \frac{\text{L}}{\text{mg}}$$

- Perhitungan  $R_L$

$$R_L = \frac{1}{1 + (K_L \times C_0)}$$

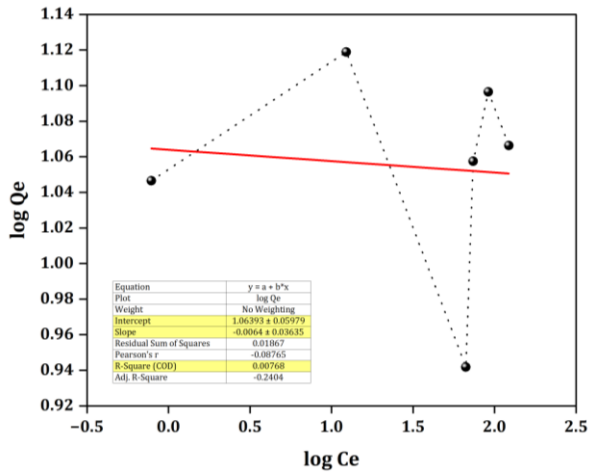
$$R_L = \frac{1}{1 + (0.3866 \frac{\text{L}}{\text{mg}} \times 150 \frac{\text{mg}}{\text{L}})} = 0.0169$$

b) Isoterm Freundlich

**Tabel L3.2** Data Penentuan Isoterm *Freundlich*

$C_0$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	$Q_e$ (mg/g)	Log $C_e$	Log $Q_e$
75	0.7849	11.1323	-0.1052	1.0466
100	12.3343	13.1498	1.0911	1.11892
125	66.6836	8.7474	1.8244	0.9419
150	73.9042	11.4144	1.8687	1.0574
175	91.7431	12.4885	1.9626	1.0965
200	122.324	11.6514	2.0875	1.0664

Berdasarkan Tabel L3.2 dapat diketahui persamaan linear antara Log  $C_e$  terhadap Log  $Q_e$  dengan intersep = Log  $K_f$  dan slope =  $\frac{1}{n}$  yang diilustrasikan dalam Gambar L3.2.



**Gambar L3.2** Grafik Kurva Isoterm Langmuir

Gambar L3.2 menunjukkan persamaan isoterm *Freundlich*  $y = -0.0064x + 1.06393$  dengan nilai  $R^2 = 0.00768$ . Oleh karena itu,  $K_f$  dan  $n$  dapat diketahui melalui perhitungan:

- Perhitungan  $\frac{1}{n}$

$$\frac{1}{n} = a \text{ (slope)}$$

$$n = \frac{1}{-0.0064}$$

$$n = -156.25$$

- Perhitungan  $K_f$

$$\text{Log } K_f = b \text{ (intersep)}$$

$$K_f = \text{Antilog } b$$

$$K_f = 10^{1.06393} = 28.9774$$

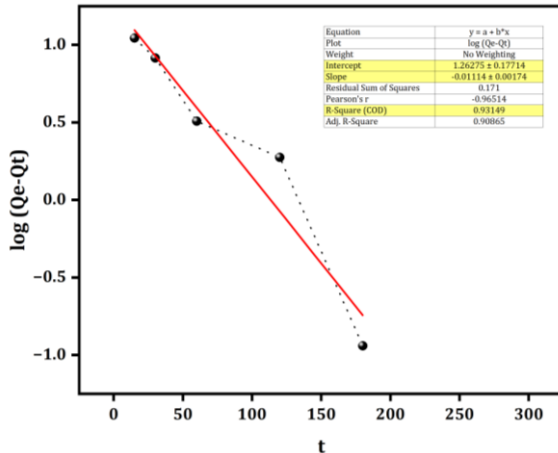
## 5. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

### a) *Pseudo First Order*

**Tabel L3.3** Data Penentuan Kinetika Adsorpsi *Pseudo First Order*

t (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	Qe-Qt	Log (Qe-Qt)
15	3.7997	14.8547	11.0550	1.0436
30	6.6284	14.8547	8.2263	0.9152
60	11.6361	14.8547	3.2186	0.5077
120	12.9740	14.8547	1.8807	0.2743
180	14.7401	14.8547	0.1147	-0.9405
300	14.8547	14.8547	0	-

Berdasarkan Tabel L3.3 dapat diketahui persamaan linear antara t terhadap Log Qe-Qt dengan intersep =  $Q_e$  dan slope =  $K_1$  melalui grafik kurva yang diilustrasikan dalam Gambar L3.3.



**Gambar L3.3** Grafik Kurva *Pseudo First Order*

Gambar L3.3 menunjukkan persamaan kinetika adsorpsi  $y = -0.01114x + 1.26275$  dengan nilai

$R^2 = 0.93149$ . Oleh karena itu, nilai  $K_1$  dan  $Q_e$  dapat diketahui melalui perhitungan:

- Perhitungan  $K_1$

$$\frac{K_1}{2.303} = a$$

$$K_1 = -0.01114 \times (2.303)$$

$$K_1 = -0.0256$$

- Perhitungan  $Q_e$

$$\text{Log } Q_e = b$$

$$Q_e = \text{Antilog } b$$

$$Q_e = 10^{1.26275}$$

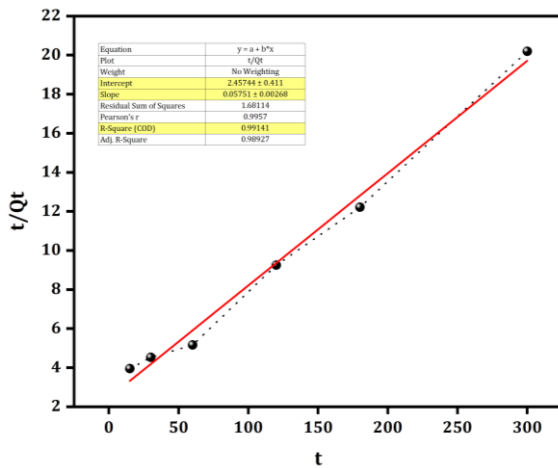
$$Q_e = 35.3513$$

b) *Pseudo Second Order*

**Tabel L3.4** Data Penentuan Kinetika Adsorpsi *Pseudo Second Order*

t (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	t/Qt
15	3.7997	14.8547	3.9477
30	6.6284	14.8547	4.5259
60	11.6361	14.8547	5.1564
120	12.9740	14.8547	9.2493
180	14.7401	14.8547	12.2116
300	14.8547	14.8547	20.1956

Data Tabel L3.4 dapat digambarkan kurva persamaan linear antara  $t$  terhadap  $t/Q_t$  dengan intersep =  $\frac{1}{K_2 \times Q_e^2}$  dan slope =  $\frac{1}{Q_e}$  untuk mengetahui persamaan liniernya, seperti ditunjukkan dalam Gambar L3.4.



**Gambar L3.4** Grafik Kurva *Pseudo Second Order*

Gambar L3.4 menunjukkan persamaan kinetika adsorpsi  $y = 0.05751x + 2.45744$  dengan nilai  $R^2 = 0.99141$ . Maka, nilai  $K_2$  dan  $Q_e$  dapat diketahui melalui perhitungan:

- Perhitungan  $Q_e$

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

$$Q_e = \frac{1}{0.05751} = 17.3883$$

- Perhitungan  $K_2$

$$\frac{1}{K_2 \times Q_e^2} = b$$

$$\frac{1}{K_2 \times 17.3883^2} = 2.45744$$

$$K_2 = \frac{1}{2.45744 \times 17.3883^2} = 0.00135$$

**Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian**

Pencucian tempurung kelapa



Pengeringan tempurung kelapa

Tempurung kelapa setelah karbonisasi  $T=700^{\circ}\text{C}$ 

Penghalusan arang tempurung kelapa



Pengayakan arang ukuran 100 mesh

Aktivasi 200 g arang 100 mesh dengan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  40%, perbandingan 1:2



Setelah penyaringan,  
penetralan, dan pengeringan  
arang teraktivasi



Modifikasi 30 g arang aktif  
(AA) dan arang teraktivasi  
(AAT) dengan CTAB  
konsentrasi 0,92; 1,84; 2,76  
mM (1:5)



Penyaringan AA dan AAT  
termodifikasi



Filtrat AA dan AAT tidak  
terbentuk endapan putih  
setelah diuji dengan  $\text{AgNO}_3$



AA dan AAT termodifikasi  
setelah pengeringan



Uji kadar air temperatur 105°C



Setelah uji kadar air



Setelah uji kadar abu  
temperatur 650°C



Setelah uji kadar zat volatil  
temperatur 950°C



Uji  $\lambda$  maksimum Cr(VI) dan  
larutan standar



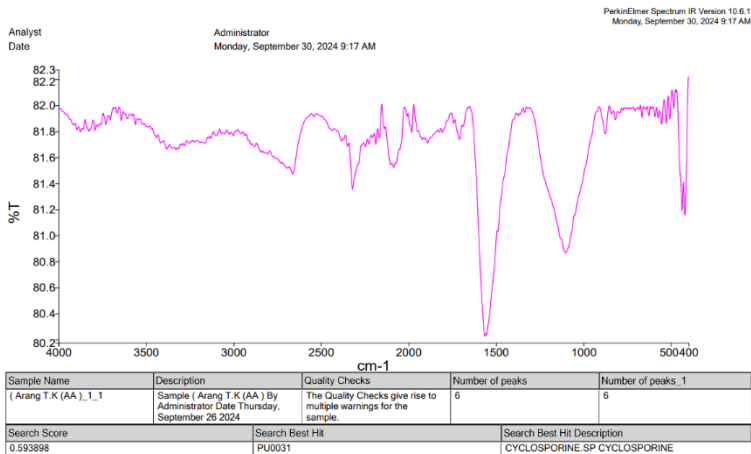
Uji adsorpsi awal Cr(VI)  
dengan tiap variasi adsorben



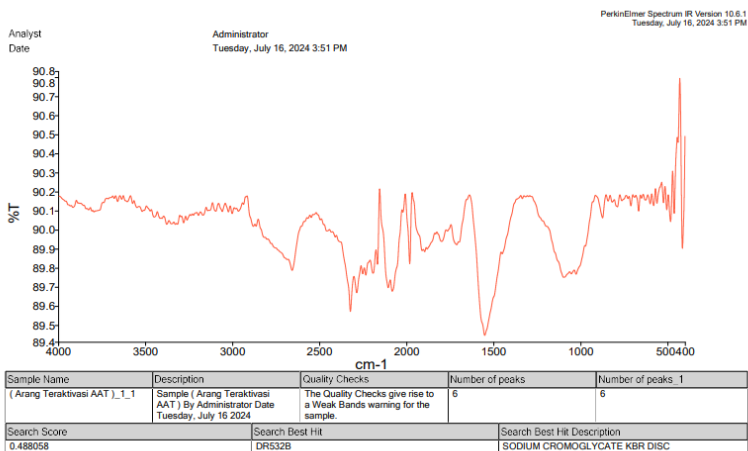
Uji adsorpsi pada optimasi  
kondisi (atas: sebelum; bawah:  
setelah penambahan 1,5  
difenilkarbazida dan  
didiamkan selama 8 menit)

## Lampiran 5. Hasil Karakterisasi

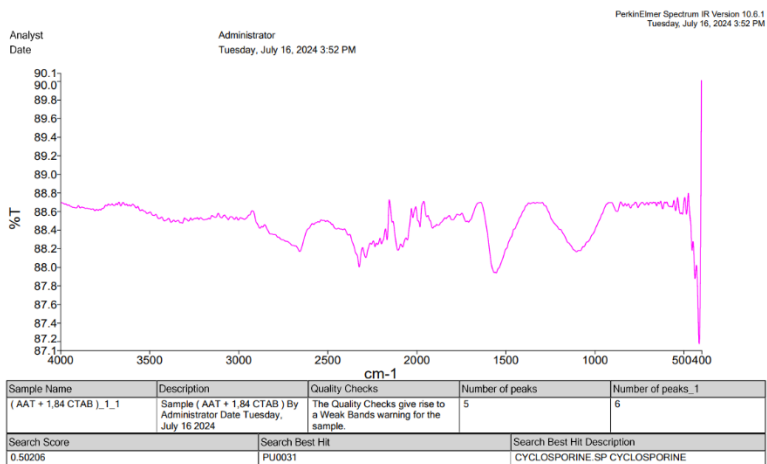
### A. Hasil Karakterisasi FTIR



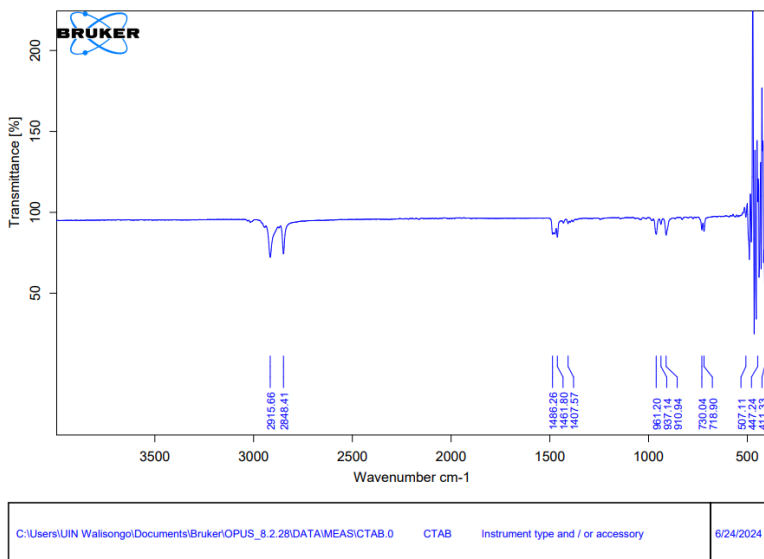
**Gambar L5.1** Hasil Uji FTIR Arang Tempurung Kelapa (AA)



**Gambar L5.2** Hasil Uji FTIR AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)



**Gambar L5.4** Hasil Uji FTIR AAT + 1,84 CTAB



**Gambar L5.3** Hasil Uji FTIR Surfaktan Kationik CTAB

## B. Hasil Karakterisasi SAA

### a. Arang Aktif Tempurung Kelapa (AA)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA			
Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta LABORATORIUM TERPADU Quantachrome TouchWin v1.22			
<b>Report date:</b> Thu Oct 3 2024 <b>Filename:</b> 11800924_1.qcuPhysIso		<b>Operator:</b> Yusuf	
Analysis Information			
<b>Sample ID</b>	1180_1	<b>Weight</b>	0.0773 <sub>g</sub>
<b>Description</b>	AA		
<b>Data ID</b>	(219061e5-0102-4720-94a6-7b4c8dfe5edd)	<b>Date</b>	2024.10.02
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Duration</b>	119.7 <sub>min</sub>
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	<b>Firmware</b>	1.07
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.18 <sub>°c</sub>	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 <sub>sec</sub>
<b>Cell ID</b>	41	<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g/mol</sub>
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/ <sub>mol</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>°c</sub>
<b>Degas information</b>		<b>Cross Section Area</b>	16.2 <sub>A/m<sup>2</sup></sub>
<b>Time</b>	6.0 <sub>hour</sub>	<b>Temp</b>	100.000000 <sub>°c</sub>
Data Reduction Parameters			
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0 <sub>A</sub>
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 <sub>mm</sub>		
<b>Adsorbate Model</b>		<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g</sub>
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Cross Section Area</b>	16.2 <sub>A/m<sup>2</sup></sub>
<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>°c</sub>		
BET Multi-point BET results			
<b>Isotherm Branch</b>	Adsorption		
<b>Slope</b>	9.54471		
<b>Intercept</b>	-0.22182		
<b>Correlation coeff., r</b>	0.995026		
<b>C constant</b>	-42.0291		
<b>Surface area</b>	373.545 m <sup>2</sup> /g		
Table - BET Multi-point BET			
<b>Relative Pressure</b>	<b>Volume Adsorbed @ STP cc/g</b>	<b>1 / [ W((P/Po) - 1) ]</b>	
0.0490299	118.928	0.3469	
0.150924	126.467	1.1246	
0.245691	129.807	2.0077	
0.345551	132.626	3.1854	

**Gambar L5.5 Hasil Uji SAA-BET Arang Tempurung Kelapa (AA)**

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



<b>Report date:</b>	Thu Oct 3 2024	<b>Operator:</b>	Yusuf
<b>Filename:</b>	11800924_1.qcuPhysiso		
Analysis Information			
<b>Sample</b>	ID 1180_1	<b>Weight</b>	0.0773g
<b>Description</b>	AA		
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	{219061e5-0102-4720-94a6-7b4c8dfe5edd}	<b>Date</b>	2024.10.02
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Duration</b>	119.7 min
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	<b>Firmware</b>	1.07
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.18 °C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300 sec
<b>Cell ID</b>		<b>Cell ID</b>	41
<b>Po Mode</b>		<b>Po Mode</b>	Continuous
<b>Adsorbate</b>	<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.013 g/mol	<b>Cross Section Area</b> 16.2 Å <sup>2</sup> /mol
<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/min	<b>Bath Temperature</b> 77.35 K	
<b>Degas information</b>	<b>Time</b> 6.0 hour	<b>Temp</b> 100.000000 °C	
Data Reduction Parameters			
<b>Thermal Transpiration</b>	yes	<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0 Å
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 mm		
<b>Temp. Comp</b>	no		
<b>Thickness Method</b>	deBoer		
<b>Adsorbate Model</b>	<b>Name</b> Nitrogen	<b>Molecular Weight</b> 28.0134g	<b>Cross Section Area</b> 16.2 Å <sup>2</sup> /mol
<b>Bath Temperature</b>	77.35 K		
Total Pore Volume results			
	<b>Total Pore Volume</b>	2.2577e-01 cc/g	
	<b>for pores smaller than</b>	19.98 Å (at 0.05 bar)	
	<b>at relative pressure</b>	0.94935	

**Gambar L5.6** Hasil Uji SAA-Total Volume Pori Arang Tempurung Kelapa (AA)

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



<b>Report date:</b>	Thu Oct 3 2024		<b>Operator:</b>	Yusuf		
<b>Filename:</b>	11800924_1.qcuPhysIso					
Analysis Information						
<b>Sample</b>	ID	1180_1	<b>Weight</b>	0.0773 <sub>g</sub>		
<b>Description</b>	AA					
<b>Analysis</b>						
<b>Data ID</b>	(219061e5-0102-4720-94a6-7b4c8dfe5edd)		<b>Date</b>	2024.10.02		
<b>Operator</b>	Yusuf		<b>Duration</b>	119.7 <sub>min</sub>		
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		<b>Firmware</b>	1.07		
<b>Comments</b>	description of sample					
<b>Ambient Temp.</b>	21.18 <sub>°C</sub>		<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode		
<b>Cell Type</b>	9mm with rod		<b>Thermal Delay</b>	300 <sub>sec</sub>		
<b>Adsorbate</b>	Nitrogen		<b>Molecular Weight</b>	28.013 <sub>g/mol</sub>		
<b>Name</b>	6.580000e-05 <sub>1/min</sub>		<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>°C</sub>		
<b>Non-ideality</b>			<b>Cross Section Area</b>	16.2A <sub>1/molec</sub>		
<b>Degas information</b>	Time 6.0 <sub>hour</sub>		<b>Temp</b>	100.000000 <sub>°C</sub>		
Data Reduction Parameters						
<b>Thermal Transpiration</b>	yes		<b>Eff. Molec. Diameter</b>	0A		
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 <sub>mm</sub>					
<b>Thickness Method</b>	deBoer					
<b>P-tags below 0.35</b>	included		<b>Moving Pt. Average</b>	off		
<b>Adsorbate Model</b>	Name Nitrogen		<b>Molecular Weight</b>	28.0134 <sub>g</sub>		
<b>Bath Temperature</b>	77.35 <sub>°C</sub>		<b>Cross Section Area</b>	16.2A <sub>1/molec</sub>		
BJH Pore Size Distribution Adsorption results						
		<b>Surface Area</b>	13.1514 <sub>m<sup>2</sup>/g</sub>			
		<b>Pore Volume</b>	0.0236557 <sub>cc/g</sub>			
		<b>Pore radius Dv(r)</b>	2.02973 <sub>nm</sub>			
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
2.02973	5.247795e-03	5.170932e+00	1.082633e-02	1.066776e+01	5.035680e-02	4.961924e+01
2.64034	9.874730e-03	8.675732e+00	6.282327e-03	4.758723e+00	3.794516e-02	2.874261e+01
3.62287	1.394840e-02	1.092450e+01	3.315844e-03	1.630509e+00	2.793340e-02	1.512255e+01
5.61733	1.773856e-02	1.227405e+01	1.273053e-03	4.888628e+01	1.739628e-02	6.193784e+00
13.4886	2.365574e-02	1.315141e+01	4.557941e-04	6.758214e-02	1.298642e-02	1.925542e+00

**Gambar L5.7 Hasil Uji SAA-BJH Adsorpsi Arang Tempurung Kelapa (AA)**

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



<b>Report date:</b>		Thu Oct 3 2024		<b>Operator:</b>		Yusuf		
<b>Filename:</b>		11800924_1.qcuPhysIso						
Analysis Information								
<b>Sample</b>	ID	1180_1	<b>Weight</b>	0.0773g				
<b>Description</b>	AA							
<b>Analysis</b>	<b>Data ID</b>	[219061e5-0102-4720-94a6-7b4c8dfe5edd]			<b>Duration</b>	119.7 min		
	<b>Operator</b>	Yusuf			<b>Date</b>	2024.10.02		
	<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:1701705100001]			<b>Firmware</b>	1.07		
	<b>Comments</b>	description of sample						
<b>Ambient Temp.</b>	21.18°C		<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode		<b>Cell ID</b>	41	
<b>Cell Type</b>	9mm with rod		<b>Thermal Delay</b>	300sec		<b>Po Mode</b>	Continuous	
<b>Adsorbate</b>	<b>Name</b>	Nitrogen		<b>Molecular Weight</b>	28.013 g/mol		<b>Cross Section Area</b>	16.2A7mod
	<b>Non-ideality</b>	6.580000e-05 1/psi		<b>Bath Temperature</b>	77.35°C			
<b>Degas information</b>	<b>Time</b>	6.0 hours						
	<b>Temp</b>	100.000000°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>P-tags below 0.35</b>	included							
<b>Adsorbate Model</b>	<b>Name</b>	Nitrogen		<b>Molecular Weight</b>	28.0134g		<b>Cross Section Area</b>	16.2A7modcc
	<b>Bath Temperature</b>	77.35x						
BJH Pore Size Distribution Desorption results								
	<b>Surface Area</b>	9.25209 m <sup>2</sup> /g						
	<b>Pore Volume</b>	0.0165701 cc/g						
	<b>Pore radius Dv(r)</b>	2.05516 nm						
Table - BJH Pore Size Distribution Desorption								
<b>radius</b>	<b>Pore Volume</b>	<b>Pore Surf.</b>	<b>dV(r)</b>	<b>dS(r)</b>	<b>dV(log r)</b>	<b>dS(log r)</b>		
<b>nm</b>	<b>cc/g</b>	<b>Area</b>	<b>cc/nm<sup>3</sup>g</b>	<b>m<sup>2</sup>/nm<sup>3</sup>g</b>	<b>cc/g</b>	<b>m<sup>2</sup>/g</b>		
		<b>m<sup>2</sup>/g</b>						
2.05516	4.127765e-03	4.016978e+00	8.528258e-03	8.299364e+00	4.017002e-02	3.909188e+01		
2.66536	6.966152e-03	6.146811e+00	3.854445e-03	2.892250e+00	2.350433e-02	1.763689e+01		
3.67262	9.801731e-03	7.690983e+00	2.218547e-03	1.208155e+00	1.857028e-02	1.011282e+01		
5.69892	1.256233e-02	8.659797e+00	9.949974e-04	3.491881e-01	1.279451e-02	4.490153e+00		
13.5329	1.657007e-02	9.252093e+00	3.108346e-04	4.593760e-02	8.902596e-03	1.315696e+00		

**Gambar L5.8** Hasil Uji SAA-BJH Desorpsi Arang Tempurung Kelapa (AA)

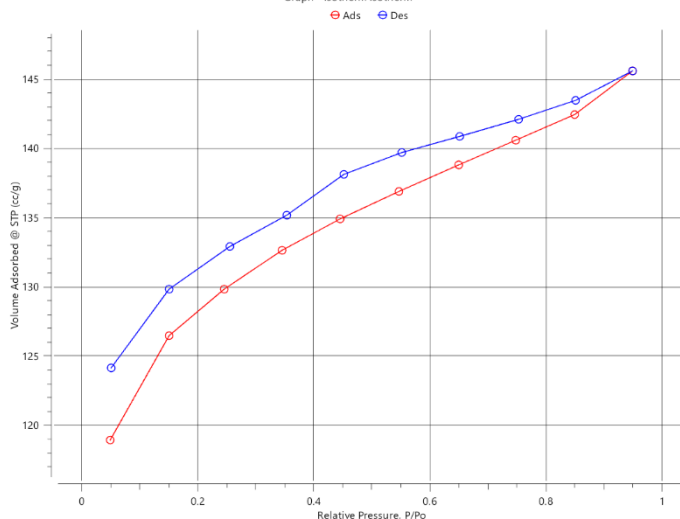
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



<b>Report date:</b>	Thu Oct 3 2024	<b>Operator:</b>	Yusuf
<b>Filename:</b>	11800924_1.qcuPhysIso		
Analysis Information			
<b>Sample ID</b>	1180_1	<b>Weight</b>	0.0773g
<b>Description</b>	AA		
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	{219061e5-0102-4720-94a6-7b4c8dfe5edd}	<b>Duration</b>	119.7 min
<b>Operator</b>	Yusuf	<b>Date</b>	2024.10.02
<b>Instrument</b>	St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	<b>Firmware</b>	1.07
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.18 °C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	300sec
<b>Adsorbate</b>		<b>Cell ID</b>	41
<b>Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28.013 g/mol
<b>Non-ideality</b>	6.5800000e-05 1/psv	<b>Bath Temperature</b>	77.35 °C
<b>Degas information</b>		<b>Cross Section Area</b>	16.2A7mm²
<b>Time</b>	6.0 hours	<b>Temp</b>	100.000000 °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



**Gambar L5.9** Hasil Uji SAA-Grafik Isotherm Arang Tempurung Kelapa (AA)

b. AA teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA						
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta LABORATORIUM TERPADU Quantachrome TouchWin v1.22						
Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf			
Filename:	11800924_2.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	1180_2	Weight	0.0734g			
Description	AAT					
Analysis Data ID	#7b7750f-77f6-495e-a52e-8227019ef62a				Duration	118.2min
Operator	Musuf	Date	2024.10.02	Firmware	1.07	
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]				Comments	description of sample
Ambient Temp.	21.15°C	Void Volume Mode	NOVA mode	Cell ID	42	
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300sec	Po Mode	Continuous	
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013g/mol	Cross Section Area	16.2A <sup>2</sup> /mol	
Non-ideality	6.580000e-05 1/loop	Bath Temperature	77.35K			
Degas information Time	6.0min	Temp	100.000000°C			
Data Reduction Parameters						
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A			
Eff. Cell Diameter	0mm					
Adsorbate Model Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g	Cross Section Area	16.2A <sup>2</sup> /mol	
Bath Temperature	77.35K					
BET Multi-point BET results						
Isotherm Branch	Adsorption					
Slope	9.59903					
Intercept	-0.220926					
Correlation coeff., r	0.995945					
C constant	-42.4491					
Surface area	371.345 m <sup>2</sup> /g					
Table - BET Multi-point BET						
Relative Pressure	Volume Adsorbed @ STP	1 / [ W((P/Po) - 1) ]				
0.0482491	cc/g					
0.148455	117.943	0.3442				
0.245681	125.608	1.1105				
0.346183	129.059	2.0192				
	131.898	3.2119				

Gambar L5.10 Hasil Uji SAA-BET AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf
Filename:	11800924_2.qcuPhysIso		
Analysis Information			
Sample ID	1180_2	Weight	0.0734g
Description	AAT		
Analysis			
Data ID	{7b:7750f-77f6-495e-a52e-8227019ef62a}	Date	2024.10.02
Operator	Yusuf	Duration	118.2 min
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:1701705100001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	21.15 °C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 sec
Adsorbate		Cell ID	42
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol
Non-ideality	6.580000e-05 1/psi	Bath Temperature	77.35 °C
Degas information		Cross Section Area	16.2A7 mod
Time	6.0 hours	Temp	100.000000 °C
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0 mm		
Temp. Comp	no		
Thickness Method	deBoer		
Adsorbate Model			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g
Bath Temperature	77.35x	Cross Section Area	16.2A7/molec
Total Pore Volume results			
Total Pore Volume	2.2279e-01 cc/g		
for pores smaller than	19.49 nm (radius)		
at relative pressure	0.94804		

**Gambar L5.11** Hasil Uji SAA-Total Volume Pori AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf			
Filename:	11800924_2.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	1180_2	Weight	0.0734g			
Description	AAT					
Data ID	{7b:7750f-77f6-495e-a52e-8227019ef62a}	Date	2024.10.02			
Operator	Yusuf	Duration	118.2 min			
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:1701705100001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	21.15°C	Void Volume Mode	NOVA mode			
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 sec			
Cell ID	42	Po Mode	Continuous			
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol			
Non-ideality	6.580000e-05 1/300	Bath Temperature	77.35°C			
Degas information Time	6.0 hours	Temp	100.000000°C			
Data Reduction Parameters						
Thermal Transpiration Eff. Cell Diameter	yes 0 mm	Eff. Molec. Diameter	0 Å			
Thickness Method	deBoer	Moving Pt. Average	off			
P-tags below 0.35	included					
Adsorbate Model Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g			
Bath Temperature	77.35°C	Cross Section Area	16.2A1/molec			
BJH Pore Size Distribution Adsorption results						
Surface Area	12.7877 m <sup>2</sup> /g					
Pore Volume	0.0215004 cc/g					
Pore radius Dv(r)	2.03651 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
2.03651	5.345889e-03	5.250059e+00	1.107406e-02	1.087554e+01	5.168471e-02	5.075822e+01
2.63557	1.008005e-02	8.842576e+00	6.617641e-03	5.021793e+00	3.991216e-02	3.028732e+01
3.60589	1.396221e-02	1.099581e+01	3.168432e-03	1.757363e+00	2.605200e-02	1.444968e+01
5.55361	1.707456e-02	1.211665e+01	1.165599e-03	4.197629e-01	1.461358e-02	5.262735e+00
13.1903	2.150041e-02	1.287772e+01	3.511687e-04	5.324652e-02	9.797836e-03	1.485613e+00

**Gambar L5.12** Hasil Uji SAA-BJH Adsorpsi AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf			
Filename:	11800924_2.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	1180_2	Weight	0.0734g			
Description	AAT					
Data ID	{7b:7750f-77f6-495e-a52e-8227019ef62a}	Date	2024.10.02			
Operator	Yusuf	Duration	118.2_min			
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	21.15°C	Void Volume Mode	NOVA mode			
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300_sec			
Adsorbate	Nitrogen	Molecular Weight	28.013g/mol			
Non-ideality	6.580000e-05 1/psi	Bath Temperature	77.35°C			
Degas information	Time 6.0 hours	Temp	100.000000°C			
Data Reduction Parameters						
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0Å			
Eff. Cell Diameter	0mm					
Thickness Method	deBoer	Moving Pt. Average	off			
P-tags below 0.35	included					
Adsorbate Model	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g			
Bath Temperature	77.35°C	Cross Section Area	16.2Å <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>			
BJH Pore Size Distribution Desorption results						
Surface Area	7.94267 m <sup>2</sup> /g					
Pore Volume	0.0134909 cc/g					
Pore radius Dv(r)	2.05414 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
2.05414	3.700124e-03	3.602604e+00	7.569670e-03	7.370165e+00	3.563365e-02	3.469449e+01
2.66291	6.304425e-03	5.58582e+00	3.573697e-03	2.684050e+00	2.177498e-02	1.635425e+01
3.65763	8.632580e-03	6.831623e+00	1.846735e-03	1.009799e+00	1.539799e-02	8.419657e+00
5.67527	1.051201e-02	7.493945e+00	6.773713e-04	2.387190e-01	8.672531e-03	3.056256e+00
13.2772	1.349093e-02	7.942672e+00	2.396690e-04	3.610226e-02	6.756592e-03	1.017771e+00

Gambar L5.13 Hasil Uji SAA-BJH Desorpsi AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

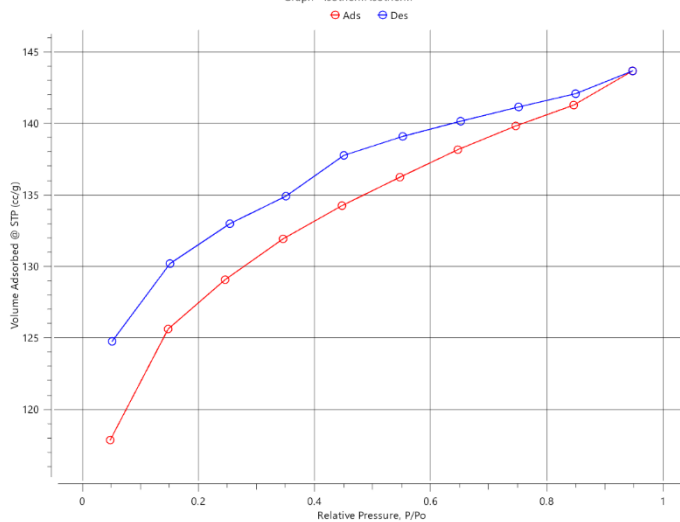
## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf	
Filename:	11800924_2.qcuPhysIso			
Analysis Information				
Sample ID	1180_2	Weight	0.0734g	
Description	AAT			
Data ID	#7b7750f-77f6-495e-a52e-8227019ef62a			
Operator	Yusuf	Date	2024.10.02	
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Duration	118.2 min	
Comments	description of sample		Firmware	1.07
Ambient Temp.	21.15 °C	Void Volume Mode	NOVA mode	
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 sec	
Adsorbate		Cell ID	42	
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol	
Non-ideality	6.580000e-05 1/psv	Bath Temperature	77.35 °C	
Degas information		Cross Section Area	16.2A7 mm <sup>2</sup>	
Time	6.0 hours	Temp	100.000000 °C	
Data Reduction Parameters				
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0 Å	
Eff. Cell Diameter	0 mm			

Graph - Isotherm Isotherm



Quantachrome TouchWin™ v1.22

(Report ID: QC20241003152434822-22517) Page 1 of 1

Gambar L5.14 Hasil Uji SAA-Grafik Isotherm AA + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (AAT)

## c. AAT + 1,84 CTAB (AAM)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA							
Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta LABORATORIUM TERPADU Quantachrome TouchWin v1.22							
Report date:		Thu Oct 3 2024		Operator:		Yusuf	
Filename:		11800924_3.qcuPhysIso					
Analysis Information							
Sample ID		1180_3		Weight		0.0747g	
Description		AAM					
Analysis							
Data ID		[e6f8c450-3c7f-46c4-9ed7-1e7450bc45c9]					
Operator		Nusuf		Date		2024.10.02	
Instrument		St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		Duration		113.9min	
Comments		description of sample					
Ambient Temp.		21.13-c		Void Volume Mode		NOVA mode	
Cell Type		9mm with rod		Thermal Delay		300sec	
Cell ID		43		Po Mode		Continuous	
Adsorbate Name		Nitrogen		Molecular Weight		28.013g/mol	
Non-ideality		6.580000e-05 1/air		Bath Temperature		77.35c	
Cross Section Area		16.2A7/mol					
Degas information							
Time		6.0hour		Temp		100.000000-c	
Data Reduction Parameters							
Thermal Transpiration		yes		Eff. Molec. Diameter		0A	
Eff. Cell Diameter		0mm					
Adsorbate Model		Name Nitrogen		Molecular Weight		28.0134g	
Bath Temperature		77.35c		Cross Section Area		16.2A7/molcc	
BET Multi-point BET results							
Isotherm Branch		Adsorption					
Slope		10.7397					
Intercept		-0.227364					
Correlation coeff., r		0.995188					
C constant		-46.1941					
Surface area		331.286 m <sup>2</sup> /g					
Table - BET Multi-point BET							
Relative Pressure		Volume Adsorbed @ STP		1 / [ W((P/Po) - 1) ]			
		cc/g					
0.0470116		101.360		0.3894			
0.150353		110.379		1.2827			
0.245215		114.185		2.2765			
0.346216		117.287		3.6125			

## Gambar L5.15 Hasil Uji SAA-BET AAT + 1,84 CTAB (AAM)

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf
Filename:	11800924_3.qcuPhysIso		
Analysis Information			
Sample ID	1180_3	Weight	0.0747 g
Description	AAM		
Analysis			
Data ID	{e6f8c450-3c71-46c4-9ed7-1e7450bc45c9}	Date	2024.10.02
Operator	Misuf	Duration	113.9 min
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:1701705100001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	21.13 °C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 sec
Adsorbate		Cell ID	43
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol
Non-ideality	6.580000e-05 1/300	Bath Temperature	77.35 °C
Degas information		Cross Section Area	16.2A7 mod
Time	6.0 hours	Temp	100.000000 °C
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0 mm		
Temp. Comp	no		
Thickness Method	deBoer		
Adsorbate Model		Molecular Weight	28.0134 g
Name	Nitrogen	Cross Section Area	16.2A7/molec
Bath Temperature	77.35 °C		
Total Pore Volume results			
Total Pore Volume	2.0033e-01 cc/g		
for pores smaller than	19.18 mm (radius)		
at relative pressure	0.94717		

## Gambar L5.16 Hasil Uji SAA-Total Volume Pori AAT + 1,84 CTAB (AAM)

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf			
Filename:	11800924_3.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	1180_3	Weight	0.0747 g			
Description	AAM					
Analysis						
Data ID	{e6f8c450-3c71-46c4-9ed7-1e7450bc45c9}	Date	2024.10.02			
Operator	Yusuf	Duration	113.9 min			
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:1701705100001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	21.13 °C	Void Volume Mode	NOVA mode			
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 sec			
Cell ID	43	Po Mode	Continuous			
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol			
Non-ideality	6.580000e-05 1/300	Bath Temperature	77.35 °C			
Degas information Time	6.0 hours	Temp	100.000000 °C			
Data Reduction Parameters						
Thermal Transpiration Eff. Cell Diameter	yes 0 mm	Eff. Molec. Diameter	0 Å			
Thickness Method	deBoer					
P-tags below 0.35	included	Moving Pt. Average	off			
Adsorbate Model Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134 g			
Bath Temperature	77.35 °C	Cross Section Area	16.2A/m <sup>2</sup> acc			
BJH Pore Size Distribution Adsorption results						
Surface Area	13.2604 m <sup>2</sup> /g					
Pore Volume	0.0216375 cc/g					
Pore radius Dv(r)	2.03751 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
2.03751	5.654050e-03	5.549951e+00	1.170466e-02	1.148916e+01	5.465479e-02	5.364852e+01
2.63334	1.045825e-02	9.198700e+00	6.779867e-03	5.149248e+00	4.086043e-02	3.103313e+01
3.61003	1.466482e-02	1.152919e+01	3.379369e-03	1.872211e+00	2.781012e-02	1.540714e+01
5.60849	1.793037e-02	1.269369e+01	1.186551e-03	4.231269e-01	1.501058e-02	5.352809e+00
13.0833	2.163754e-02	1.326039e+01	3.039300e-04	4.646080e-02	8.449295e-03	1.291617e+00

**Gambar L5.17** Hasil Uji SAA-BJH Adsorpsi AAT + 1,84 CTAB (AAM)

## UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Thu Oct 3 2024	Operator:	Yusuf			
Filename:	11800924_3.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	1180_3	Weight	0.0747 g			
Description	AAM					
Analysis						
Data ID	{e6f8c450-3c71-46c4-9ed7-1e7450bc45c9}	Date	2024.10.02			
Operator	Misuf	Duration	113.9 min			
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	21.13 °C	Void Volume Mode	NOVA mode			
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 sec			
Cell ID	43	Po Mode	Continuous			
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol			
Non-ideality	6.580000e-05 1/psi	Bath Temperature	77.35 °C			
Degas information Time	6.0 hours	Temp	100.000000 °C			
Data Reduction Parameters						
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0 Å			
Eff. Cell Diameter	0 mm					
Thickness Method	deBoer	Moving Pt. Average	off			
P-tags below 0.35	included					
Adsorbate Model Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134 g			
Bath Temperature	77.35 °C	Cross Section Area	16.2A1/molec			
BJH Pore Size Distribution Desorption results						
Surface Area	6.82142 m <sup>2</sup> /g					
Pore Volume	0.0106612 cc/g					
Pore radius Dv(r)	2.05876 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
2.05876	3.420474e-03	3.322842e+00	7.030600e-03	6.829923e+00	3.317274e-02	3.222587e+01
2.65496	5.763923e-03	5.088178e+00	3.319899e-03	2.500903e+00	2.017532e-02	1.519821e+01
3.64066	7.509034e-03	6.046857e+00	1.378971e-03	7.575394e-01	1.144246e-02	6.285930e+00
5.65606	8.969848e-03	6.563406e+00	5.282687e-04	1.867974e-01	6.740641e-03	2.383511e+00
13.1104	1.066116e-02	6.821417e+00	1.392793e-04	2.124721e-02	3.884486e-03	5.925827e-01

**Gambar L5.18** Hasil Uji SAA-BJH Desorpsi AAT + 1,84 CTAB (AAM)

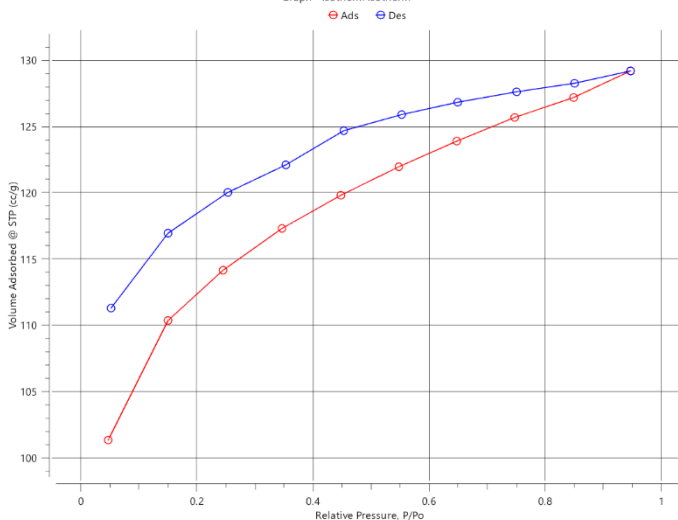
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



<b>Report date:</b> Thu Oct 3 2024		<b>Operator:</b> Yusuf	
<b>Filename:</b> 11800924_3.qcuPhysIso			
Analysis Information			
<b>Sample</b>	ID 1180_3	Weight 0.0747 g	
<b>Description</b>	AAM		
<b>Analysis</b>			
<b>Data ID</b>	{e6f8c450-3c71-46c4-9ed7-1e7450bc45c9}		
<b>Operator</b>	Misuf	<b>Date</b>	2024.10.02
<b>Instrument</b>	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
<b>Comments</b>	description of sample		
<b>Ambient Temp.</b>	21.13 °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/psv	<b>Bath Temperature</b>	77.35 °C
<b>Degas information</b>		<b>Temp</b>	100.000000 °C
<b>Time</b>	6.0 hours	<b>Cross Section Area</b>	16.2A7 mm²
<b>Thermal Transpiration</b> yes		<b>Data Reduction Parameters</b>	
<b>Eff. Cell Diameter</b>	0 mm	<b>Eff. Molec. Diameter</b> 0 Å	

Graph - Isotherm Isotherm



**Gambar L5.19** Hasil Uji SAA-Grafik Isotherm AAT + 1,84 CTAB (AAM)

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Identitas Diri

1. Nama : Khofifah Dwi Safitri
2. TTL : Semarang, 22 Desember 2001
3. Alamat : Randugarut RT 03 RW 02, Randugarut,  
Tugu, Semarang
4. No.HP : 085893119902
5. E-mail : [Khofifahds1201@gmail.com](mailto:Khofifahds1201@gmail.com)

### B. Riwayat Pendidikan

1. SD Negeri Randugarut
2. SMP Negeri 16 Semarang
3. SMA Negeri 7 Semarang
4. UIN Walisongo Semarang

Semarang, 17 Desember 2024

Khofifah Dwi Safitri

1908036039