

**ADSORPSI ION LOGAM Cd(II) MENGGUNAKAN
NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON SALAK (*Salacca
zalacca*) TERMODIFIKASI SISTEIN**

SKRIPSI

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



Oleh: **Rina Alivia Nurhidayati**

NIM: 1908036042

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023**

**ADSORPSI ION LOGAM Cd(II) MENGGUNAKAN
NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON SALAK (*Salacca
zalacca*) TERMODIFIKASI SISTEIN**

SKRIPSI

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

**Rina Alivia Nurhidayati
NIM 1908036042**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rina Alivia Nurhidayati

NIM : 1908036042

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**ADSORPSI ION LOGAM Cd(II) MENGGUNAKAN
NANOSELULOSA DARI PELEPAH POHON SALAK (*Salacca
zalacca*) TERMODIFIKASI SISTEIN**

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

Semarang, 5 Oktober 2023

Pembuat pernyataan,

Rina Alivia Nurhidayati

1908036042

PENGESAHAN

Naskah Skripsi berikut ini:

Judul : **Adsorpsi Ion Logam Cd(II) Menggunakan Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak (*Salacca zalacca*) Termodifikasi Sistein**

Penulis : Rina Alivia Nurhidayati

NIM : 1908036042

Jurusan : Kimia

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


Semarang, 20 Oktober 2023

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

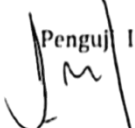
Sekretaris Sidang



Dr. Ervin Tri Suryandari
NIP. 197407162009122001


Rais Nur Latifah, M.Si
199203042019032019

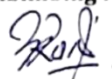
Penguj I

Pengujii II


Dr. Hj. Malikhatul Hidayah,
NIP. 198304152009122006


Zidni Azzati, M.Sc
NIP. 199011172018012001

Pembimbing I


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

NOTA DINAS

Semarang, 5 Oktober 2023

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 : **Adsorpsi Ion Logam Cd(II) Menggunakan Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak (*Salacca zalacca*) Termodifikasi Sistein**

Nama : Rina Alivia Nurhidayati

NIM : 1908036042

Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing I,



Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si
NIP. 19740716 200912 2001

ABSTRAK

Ion logam Cd(II) merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia jika konsentrasinya melebihi 0,003 mg/L. Ion logam Cd(II) di dalam air dapat ditangani dengan metode adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi, kinetika adsorpsi, dan isoterm adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein sebagai adsorben. Tahapan penelitian ini meliputi ekstraksi selulosa dari pelepah pohon salak, pembuatan nanoselulosa dengan hidrolisis asam dan ultrasonikasi, modifikasi dengan sistein, lalu dilanjut uji adsorpsi pada ion logam Cd(II) dengan metode *batch*. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan gugus yang berperan penting dalam adsorpsi yaitu gugus O-H dan C=O. Ukuran nanoselulosa dari pengujian PSA yaitu $\pm 250,5$ nm. Luas permukaan nanoselulosa mengalami peningkatan setelah dimodifikasi dengan sistein dari 0 menjadi $0,283$ m²/g. Isoterm adsorpsi-desorpsi N₂ mengikuti grafik isoterm adsorpsi-desorpsi N₂ tipe IV(a) dengan bentuk *hyteresis loop* tipe H4. Nanoselulosa termodifikasi sistein mengadsorpsi ion logam Cd(II) secara optimum pada pH 6, massa adsorben 0,15 g, waktu kontak 45 menit, dan konsentrasi 40 ppm. Kapasitas adsorpsi nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein yaitu sebesar 3,768 mg/g. Kinetika kimianya mengikuti persamaan *pseudo orde dua* dan isoterm adsorpsi mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir.

Kata Kunci: *Adsorpsi, ion logam Cd(II), nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

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

Rasa syukur penulis ucapkan sekali lagi kepada Allah SWT yang selalu memberikan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “Adsorpsi Ion Logam Cd(II) Menggunakan Nanoselulosa dari Pelepap Pohon Salak (*Salacca zalacca*) Termodifikasi Sistein”. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains ilmu kimia di UIN Walisongo Semarang, Fakultas Sains dan Teknologi. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dukungan, serta doa. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

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

3. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T, M.Pd selaku Ketua Jurusan Kimia.
4. Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing penulis dengan sangat baik dan sabar, memberikan ilmu, arahan, saran, serta motivasi kepada penulis sehingga penulis sangat terbantu dalam menyelesaikan skripsi.
5. Ibu Mutista Hafshah, M.Si selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi agar tetap semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Segenap Dosen, Pegawai, dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
7. Ibu Yumaroh, sosok yang selalu menjadi penyemangat dan tempat bersandar penulis, senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, motivasi, dan memberikan segalanya kepada penulis. Teimakasih atas dukungan moral dan finansial, serta kerja kerasnya untuk kehidupan penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
8. Bapak Ahmad Riza (Alm), sosok hebat yang selalu penulis rindukan. Terima kasih untuk segala yang telah bapak berikan. Terima kasih sudah mendidik, membesarkan, dan menyayangi penulis dengan sepenuh hati.

9. Kakak tersayang dan terbaik bagi penulis, Riyan Hidayat yang selalu mendoakan dan memberikan semangat, dukungan, serta motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir.
10. Keluarga besar penulis yang tiada henti mendoakan dan memberikan dukungan serta motivasi selama penulis menyusun skripsi.
11. Tarisma dan Nur Nisa yang telah menjadi tempat berkeluh kesah dan rumah kedua bagi penulis di kota perantauan, selalu menemani, memberi dukungan serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
12. Teman-teman kelas Kimia B dan teman-teman seperjuangan Kimia 2019 yang senantiasa memberikan semangat satu sama lain.
13. Teman KKN MMK 44 terutama Vivi Aviliani, terimakasih atas kebersamaannya dan motivasinya.
14. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan susunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
15. *Last but not least*, untuk Rina Alivia Nurhidayati. Apresiasi karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, serta senantiasa menikmati setiap proses yang bisa dibilang tidak mudah.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menjadi tulisan yang lebih baik lagi. Semoga dari hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan pada umumnya dan ilmu kimia pada khususnya. Aamiin.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Semarang, 5 Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	7
C. Tujuan Penelitian.....	8
D. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Landasan Teori	9
B. Kajian Pustaka.....	40
C. Hipotesis.....	42
BAB III METODE PENELITIAN.....	43
A. Waktu dan Tempat Penelitian	43
B. Alat dan Bahan.....	43
C. Prosedur Penelitian.....	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Ekstraksi dan Karakterisasi Nanoselulosa	55
B. Modifikasi dan Karakterisasi Nanoselulosa-sistein.....	69
C. Adsorpsi	77
BAB V PENUTUP.....	99
A. Kesimpulan.....	99
B. Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN.....	117
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	175

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variasi Perbandingan Massa Nanoselulosa dan Sistein	47
Tabel 4. 1 Perbandingan Hasil Analisis FTIR (a) Serbuk Pelepah pohon salak, (b) setelah delignifikasi, (c) setelah bleaching, dan (d) hidrolisis asam.....	64
Tabel 4. 2 Interpretasi data hasil FTIR Sistein, Nanoselulosa(NS), Nanoselulosa-sistein(NSS).....	72
Tabel 4. 3 Hasil karakterisasi SAA.....	74
Tabel 4. 4 Hasil Uji Adsorpsi.....	78
Tabel 4. 5 Hasil Data Adsorpsi Optimasi pH.....	80
Tabel 4. 6 Hasil Data Adsorpsi Optimasi Massa	83
Tabel 4. 7 Hasil Data Adsorpsi Optimasi Waktu Kontak	86
Tabel 4. 8 Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cd(II) dengan Nanoselulosa Termodifikasi Sistein	90
Tabel 4. 9 Hasil Data Adsorpsi Optimasi Konsentrasi	92
Tabel 4. 10 Isoterm Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Nanoselulosa Termodifikasi Sistein	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pohon Salak	10
Gambar 2. 2 Struktur Molekul Selulosa	13
Gambar 2. 3 Struktur Molekul Sistein.....	15
Gambar 2. 4 Spesiasi Kadmium dalam Sistem Larutan.....	18
Gambar 2. 5 Mekanisme Kerja FTIR	29
Gambar 2. 6 Isoterm adsorpsi-desorpsi N ₂	34
Gambar 2. 7 <i>Hysteresis loop</i>	37
Gambar 2. 8 Cara Kerja AAS	39
Gambar 4. 1 Reaksi Pembentukan Lignin Menjadi Nitrolignin	57
Gambar 4. 2 Mekanisme Pemutusan Ikatan Antara Lignin dan Selulosa.....	58
Gambar 4. 3 Reaksi Oksidasi Lanjut dari Selulosa dengan oksidator ion hidroksil.....	60
Gambar 4. 4 Mekanisme Hidrolisis Asam.....	61
Gambar 4. 5 Spektrum FTIR (a) serbuk pelepah pohon salak,(b) setelah delignifikasi, (c) setelah bleaching, (d) setelah hidrolisis asam.....	63
Gambar 4. 6 Distribusi Ukuran Partikel Nanoselulosa Sebelum Perlakuan Ultrasonikasi	67
Gambar 4. 7 Distribusi Ukuran Partikel Nanoselulosa Setelah Perlakuan Ultrasonikasi.....	68

Gambar 4. 8	Reaksi Sintesis Nanoselulosa-sistein.....	70
Gambar 4. 9	Spektrum FT-IR (a) sistein,(b) nanoselulosa, dan (c) nanoselulosa-sistein.....	71
Gambar 4. 10	Grafik Isoterm Adsorpsi-desorpsi N ₂ NS, NSS, NSSS	75
Gambar 4. 11	Grafik Distribusi Pori dengan Metode BJH Adsorpsi-desorpsi	77
Gambar 4. 12	Interaksi Antara Nanoselulosa Termodifikasi Sistein dengan Ion Logam Cd(II)	79
Gambar 4. 13	Grafik Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi.....	81
Gambar 4. 14	Grafik Pengaruh Massa Terhadap Kapasitas Adsorpsi.....	84
Gambar 4. 15	Grafik Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi.....	87
Gambar 4. 16	Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu	89
Gambar 4. 17	Kinetika Reaksi Pseudo Orde Dua	89
Gambar 4. 18	Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi.....	93
Gambar 4. 19	Isoterm Adsorpsi Langmuir.....	95
Gambar 4. 20	Isoterm Adsorpsi Freundlich.....	95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Cara Kerja.....	117
Lampiran 2. Data Hasil Percobaan.....	124
Lampiran 3. Perhitungan Analisis Data.....	127
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian	146
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi.....	148

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jumlah limbah logam berat semakin banyak akibat berkembangnya berbagai industri. Logam yang sering ditemui antara lain timbal (Pb), kromium (Cr), tembaga (Cu), kadmium (Cd), nikel (Ni), dan seng (Zn). Ion logam Cd(II) merupakan logam berat yang memiliki toksisitas tinggi. Level maksimum ion logam Cd(II) dalam air limbah yang diperbolehkan berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri adalah sebesar 0,05 ppm. Ion logam Cd(II) dapat menyebabkan keracunan kronik pada manusia jika konsentrasinya melebihi 0,003 mg/L (Permenkes RI Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan kualitas Air Minum).

Ion logam Cd(II) dapat menyebabkan kerusakan jika masuk kedalam tubuh, terutama pada ginjal, tulang, hati, jantung, otak, sistem peredaran darah serta gangguan psikologi yang disebabkan kemiripan sifat kimianya dengan seng (Indirawati, 2017). Ion logam Cd(II) secara luas digunakan pada berbagai industri antara lain

pelapisan logam, peleburan logam, pewarnaan, baterai, minyak pelumas, dan bahan bakar (Agustina, 2014). Pertambangan dan Industri merupakan sumber ion logam Cd(II) terbesar. Ion logam Cd(II) merupakan bahan ikutan pada pengolahan tambang serta produksi seng, batu bara, dan minyak. Ion logam Cd(II) kemudian berinteraksi dengan rantai makanan yang akan mencemari perairan hingga akan sampai pada manusia (Hajar *et al.*, 2018).

Pencemaran lingkungan oleh ion logam Cd(II) memberikan dampak buruk terhadap lingkungan sekitar. Allah berfirman dalam surat Ar-Rum ayat 41 bahwa kerusakan lingkungan disebabkan oleh manusia,

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

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”.

Menurut tafsir al-Muyassar, kerusakan telah terlihat di darat dan di laut sebagai akibat dari tindakan orang. Hal ini agar mereka dapat menerima hukuman atas beberapa tindakan mereka di dunia kemudian berpaling kepada Allah dan kembali kepada-Nya dengan meninggalkan

kemaksiatan, selanjutnya kondisi mereka akan membaik dan urusan mereka akan lancar.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa kerusakan lingkungan disebabkan oleh manusia. Oleh sebab itu, manusia harus dapat menjaga kelestarian lingkungan. Ion logam Cd(II) yang mencemari lingkungan juga penyebab utamanya adalah manusia. Untuk itu, manusia perlu mengatasi pencemaran ion logam Cd(II).

Berbagai metode telah dilakukan untuk menurunkan konsentrasi ion logam, diantaranya yaitu pengendapan, mikrofiltrasi, flotasi, pertukaran ion, dan adsorpsi. Masing-masing metode memiliki kelemahan misalnya, metode mikrofiltrasi memiliki masalah dengan pengotor sehingga membran yang digunakan tidak berumur lama. Sedangkan metode flotasi udara memiliki kelemahan dalam mempertahankan ikatan antara gelembung dengan materi yang akan dipisahkan (Karamah & Sari, 2010). Metode adsorpsi memiliki beberapa kelebihan seperti prosesnya yang relatif sederhana, ekonomis, efektivitas dan efisiensinya cukup tinggi, serta tidak memberikan efek samping bagi lingkungan atau manusia berupa zat beracun.

Saat ini telah dikembangkan beberapa jenis adsorben untuk mengadsorpsi logam berat dari bahan

alam yang keberadaannya cukup melimpah. Selulosa adalah salah satu bahan alam yang dapat digunakan untuk adsorpsi logam berat. Penelitian mengenai pemanfaatan selulosa sebagai adsorben logam berat telah banyak dilakukan. Kusumawardani *et al.*, (2018) memanfaatkan selulosa dari ampas tebu untuk adsorpsi ion logam Cd(II) dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,215 mg/g. Pada penelitian Desianna *et al.*, (2017) dilakukan adsorpsi logam kromium (Cr) pada limbah cair batik menggunakan selulosa dari kulit jagung. Selain mampu mengadsorpsi kadar logam Cr, selulosa kulit jagung juga mampu menjernihkan limbah cair batik. Safrianti *et al.*, (2012) memanfaatkan selulosa dari limbah jerami padi untuk penyerapan ion timbal(II). Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat dibuktikan bahwa selulosa dapat digunakan untuk adsorpsi limbah logam berat.

Pelepah pohon salak memiliki kandungan serat berupa selulosa 31,7%, hemiselulosa 33,9%, lignin 17,4%, dan silika 0,6%. Kandungan selulosa yang cukup besar tersebut maka pelepah pohon salak dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat. Pelepah pohon salak dipilih sebagai sumber selulosa karena keberadaannya yang cukup melimpah di Jawa Tengah, terutama di wilayah Wonosobo. Pelepah salak biasanya dipangkas 3-4 kali

setiap 4 bulan untuk menjaga tingkat produktivitas tanaman salak. Limbah pelepah pohon salak ini belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah pelepah salak sebagian dimanfaatkan petani sebagai bahan organik bagi tanaman salak, sebagian kecil di buat kerajinan, dan sebagian dibuang begitu saja atau dibakar (Triyastiti & Krisdiyanto, 2018).

Selulosa memiliki kekurangan jika diaplikasikan sebagai adsorben, yaitu memiliki luas permukaan yang sangat rendah sehingga efisiensi penyerapan terhadap ion logam juga relatif rendah (Li *et al.*, 2019). Nanoselulosa merupakan bentuk lain dari selulosa yang memiliki ukuran nanometer. Nanoselulosa dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki gugus fungsi karboksil dan hidroksil yang mampu berikatan dengan ion logam. Nanoselulosa merupakan material yang dapat diisolasi dari selulosa (Safrianti *et al.*, 2012). Nanoselulosa memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dari selulosa karena memiliki ukuran partikel yang lebih kecil serta luas permukaan lebih tinggi.

Penelitian mengenai adsorpsi ion logam menggunakan nanoselulosa telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Khoo *et al.*, (2018) melakukan adsorpsi logam berat menggunakan nanoselulosa dari ampas tebu.

Fitriana *et al.*, (2018) melakukan sintesis nanoselulosa dari batang bambu sebagai adsorben logam Kadmium(II) dalam limbah industri elektroplating. Menurut Li *et al.*, (2019), kapasitas adsorpsi nanoselulosa tidak terlalu tinggi karena kurangnya gugus aktif yang dapat mengikat ion logam.

Nanoselulosa dapat dimodifikasi untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi logam. Modifikasi ini dilakukan dengan mengganti beberapa gugus aktif pada nanoselulosa dengan gugus-gugus aktif yang lain yaitu salah satunya dengan senyawa organik. Salah satu senyawa organik yang dapat digunakan adalah sistein. Sistein merupakan tiol yang mempunyai situs aktif gugus R-SH sehingga dapat membantu selulosa yang mempunyai gugus aktif OH dalam mengadsorpsi ion logam Cd(II) dalam medium berair. Atom S dalam gugus tiol (-SH-) pada sistein ini bersifat sebagai basa lunak sehingga mampu mengikat ion logam Cd(II) yang merupakan asam dengan kategori asam lunak berdasarkan prinsip HSAB (*Hard and Soft Acids and Bases*). Kemudian keunggulan lain dari sistein ini adalah lebih mudah diimobilisasi dan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi (Cigil *et al.*, 2021).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dilakukan penelitian mengenai “Adsorpsi Ion Logam

Cd(II) Menggunakan Nanoselulosa dari Pelepah Pohon Salak (*Salacca zalacca*) Termodifikasi Sistein". Karakterisasi dilakukan menggunakan instrumen FTIR (*fourier transform infra red*) untuk mengetahui karakter vibrasi pada selulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein. *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) digunakan untuk mengetahui konsentrasi ion logam Cd(II) yang berhasil diadsorpsi oleh nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein. PSA (*particle size analyzer*) digunakan untuk mengetahui ukuran nanoselulosa dari pelepah pohon salak. *Surface Area Analyzer* (SAA) digunakan untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori adsorben.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik nanoselulosa pelepah pohon salak dan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein?
2. Bagaimana kapasitas adsorpsi nanoselulosa pelepah pohon salak dan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein terhadap ion logam Cd(II)?
3. Bagaimana model kinetika dan isoterm adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik nanoselulosa pelepah pohon salak dan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein.
2. Untuk menentukan kapasitas adsorpsi nanoselulosa pelepah pohon salak dan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein terhadap ion logam Cd(II).
3. Untuk mengetahui model kinetika dan isoterm adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein.

D. Manfaat Penelitian

1. Mengurangi pencemaran lingkungan terhadap limbah yang mengandung ion logam Cd(II).
2. Mengetahui kemampuan menyerap dari nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein terhadap ion logam Cd(II).
3. Meningkatkan nilai guna limbah pelepah pohon salak (*Salacca zalacca*).

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Pelepah Pohon Salak (*Salacca zalacca*)

Salak merupakan tanaman buah tropis asli Indonesia. Buah ini tumbuh subur di daerah tropis. Salak termasuk dalam famili *Palmae* yang diduga berasal dari Jawa. Selain di Indonesia, salak juga bisa tumbuh di Malaysia, Filipina, Brunei, dan Thailand. Indonesia memiliki kurang lebih 13 spesies salak dan kerabatnya (Harahap *et al.*, 2020).

Salak tumbuh sebagai palem yang sangat berduri dengan beberapa varian yang hampir tidak bertangkai dan pendek. Tanaman ini dapat tumbuh hingga ketinggian 6 m dan rata-rata produktif selama 50 tahun. Tanaman salak biasanya tumbuh di dataran rendah dengan kelembaban yang tinggi. Tanaman salak memiliki panjang daun sekitar 10 m, ukurannya besar, dan menyirip dengan mengkilat serta tangkai daun panjang berwarna hijau tua (Saleh *et al.*, 2018).



Gambar 2. 1 Pohon Salak (Dokumentasi Pribadi)

Tanaman salak harus dirawat dengan tepat untuk mempertahankan tingkat produktivitasnya. Standar Prosedur Operasional (SPO) *Good Agricultural Practices* (GAP) menetapkan pemangkasan pelepah daun pohon salak sebagai tindakan yang harus dilakukan pada budidaya salak. Pelepah pohon salak perlu dipotong kira-kira sebanyak 3-4 kali dalam kurun waktu 4 bulan (Triyastiti & Krisdiyanto, 2018).

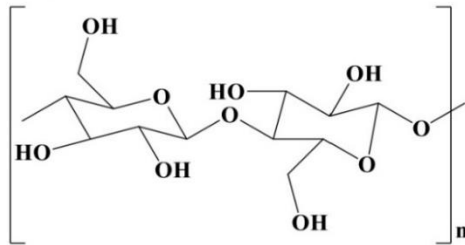
Pelepah pohon salak memiliki kandungan serat berupa selulosa 31,7%, hemiselulosa 33,9%, lignin 17,4%, dan silika 0,6%. Kandungan selulosa yang cukup besar ini maka pelepah pohon salak dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat. Pelepah pohon salak digunakan sebagai adsorben karena keberadaan pohon salak yang cukup melimpah di Jawa Tengah (Triyastiti & Krisdiyanto, 2018).

2. Selulosa

Selulosa memiliki rumus kimia $[C_6H_{10}O_5]_n$, di mana n merupakan derajat polimerisasi selulosa (DP). Selulosa merupakan homopolimer -D-glukopiranosida yang dihubungkan oleh ikatan (1,4)-glikosida. Selulosa mengandung karbon (44,44%), hidrogen (6,17%), dan oksigen (49,39%) (Chen, 2014). Selulosa dibedakan menjadi 4 jenis berdasarkan sumbernya, yaitu selulosa bakteri, fauna laut, kayu, dan nonkayu. Dimensi dan struktur morfologi selulosa berbeda berdasarkan sumbernya. Bahan yang mengandung lignoselulosa umumnya memiliki selulosa 40-50% dari berat kering bahan. Kandungan selulosa yang bervariasi ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti umur tumbuhan, jenis

biomassa, faktor lingkungan tempat tanaman tersebut tumbuh, dan lokasi selulosa pada bagian tanaman (Fernandes *et al.*, 2013).

Selulosa merupakan serat yang membantu menopang struktur dinding sel tanaman dan alga. Hampir semua tanaman muda mengandung zat berserat yang kandungan kimianya seragam, yaitu selulosa. Selulosa merupakan bahan baku alami yang melimpah. Selulosa memiliki harga yang murah, biodegradable, dan polimer berserat yang kuat dan tidak larut dalam air. Sumber utama selulosa berasal dari kayu dan kapas, namun selulosa juga dapat diekstraksi dari berbagai bagian tanaman dan sumber lain. Kandungan selulosa pada tanaman jumlahnya bervariasi. Selulosa dan banyak produk selulosa tidak berbahaya bagi lingkungan karena selulosa dapat dengan mudah kembali ke siklus karbon alami dengan proses penguraian yang sederhana dengan bantuan dekomposer. Selulosa menunjukkan sifat karakteristik seperti hidrofilisitas yang berpotensi sebagai adsorben (Suhas *et al.*, 2016).



Gambar 2. 2 Struktur Molekul Selulosa (Aziz *et al.*, 2022)

Gambar 2.2 menunjukkan struktur molekul selulosa. Selulosa dapat dimanfaatkan sebagai adsorben limbah logam karena selulosa memiliki gugus OH. Gugus OH ini yang akan berinteraksi dengan ion logam. Proses adsorpsi dengan selulosa akan semakin efektif ketika kemurnian selulosa yang digunakan semakin tinggi (W. T. Wulandari & Dewi, 2018). Elektron yang melimpah dalam gugus hidroksil akan mengikat ion logam yang bermuatan positif (Wardani & Wulandari, 2018).

3. Nanoselulosa

Nanoselulosa adalah selulosa yang berukuran nanometer dan memiliki perbedaan sifat dengan selulosa alami. Ada beberapa pendapat ahli mengenai ukuran nano. Menurut ISO (*International Standard Organization*), material dikatakan nanopartikel jika

memiliki diameter dibawah 100 nm. SCENIHR (*Scientific Basis for the Definition of the Term "nanomaterial"*) menyatakan bahwa material dengan ukuran 100-500 nm sudah bisa dikategorikan sebagai nanopartikel.

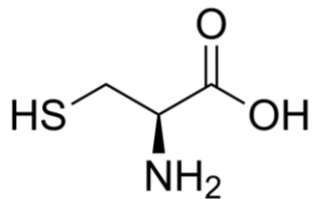
Nanoselulosa memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi, rasio permukaan terhadap volume yang besar, kekuatan tarik tinggi, jaringan halus, dan porositas tinggi. Nanoselulosa merupakan jenis baru dari material selulosa yang memiliki banyak kegunaan dalam berbagai macam aplikasi, seperti komposit, bioteknologi, adsorben, biomedis, emulsi dan dispersi. Dimensi ukuran yang dimiliki nanoselulosa memungkinkan tingginya jumlah gugus hidroksil sehingga modifikasi permukaan akan semakin mudah dilakukan (Ningtyas *et al.*, 2020).

Teknik untuk mengekstrak nanoselulosa dari selulosa telah banyak dikembangkan, diantaranya hidrolisis enzimatis, hidrolisis asam, dan proses mekanis. Preparasi nanoselulosa umumnya dilakukan dengan hidrolisis asam kuat. Hidrolisis asam kuat juga dapat meningkatkan porositas selulosa. Amorf selulosa dihilangkan selama proses

hidrolisis asam kuat untuk menghasilkan selulosa murni (Kalashnikova *et al.*, 2011).

4. Sistein

Sistein (disingkat sebagai Cys atau C) adalah asam amino dengan rumus kimia $C_3H_7NO_2S$. Sistein merupakan asam amino semi-esensial yang dapat dilakukan biosintesis di dalam tubuh manusia. Sistein berada dalam bentuk kristal serbuk dengan massa molekuler 121,61 g/mol. Selain itu, sistein akan bersifat non-polar dan hidrofobik jika gugusnya bersifat asam-basa dan bersifat netral karena adanya COO^- dan NH_3^+ pada molekulnya.



Gambar 2. 3 Struktur Molekul Sistein (Li *et al.*, 2019)

Pada sistein terdapat dua ligan yaitu terdiri dari donor ligan kelas b (tioeter atau sulfid) dan kelas a (amino dan karboksilat). Sistein dapat membentuk kompleks dengan kation interlayer melalui sulfur, nitrogen, atau atom oksigen sehingga dapat

menurunkan pergerakan logam. Sistein memiliki keunggulan lain yaitu dapat lebih mudah diimobilisasi dan memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi. Sistein dapat berinteraksi dengan beberapa protein melalui gugus karboksil, amino dan gugus SH (sulfhidril) pada daerah mendekati titik isoelektriknya dan memperlihatkan efisiensinya dalam memisahkan biomolekul. Kelompok ini sangat mengikat logam berat, terutama merkuri (Hg), kadmium (Cd), perak (Ag), seng (Zn), dan stannum (Sn), karena memiliki afinitas tinggi untuk kation bivalen (Palupi, 2014).

5. Modifikasi Nanoselulosa

Nanoselulosa dapat dimodifikasi untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi logam. Modifikasi ini dilakukan dengan mengganti gugus-gugus fungsional pada nanoselulosa dengan gugus-gugus aktif yang lain yaitu salah satunya dengan senyawa organik. Sistein dapat menjadi salah satu senyawa organik untuk modifikasi. Sistein merupakan thiol yang mempunyai situs aktif gugus thiolat R-SH. Atom S yang dimiliki sistein ini bersifat sebagai basa lunak, sehingga berdasarkan prinsip

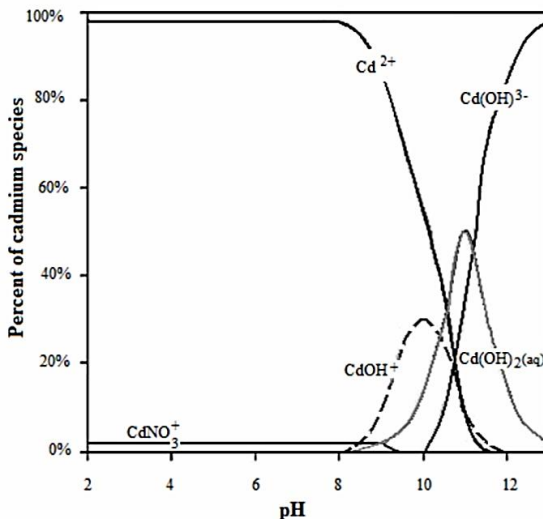
HSAB (*Hard and Soft Acids and Bases*) mampu mengikat ion logam Cd(II) yang merupakan kategori asam lunak.

6. Ion Logam Cd(II)

Ion logam Cd(II) berkilau, berwarna putih perak, dan tidak larut dalam basa. Ketika dipanaskan, ia menghasilkan kadmium oksida. Biasanya, ion logam Cd(II) ditemukan dengan klorin (Cd Klorida) atau sulfur (Cd Sulfit). Logam ion Cd(II) memiliki massa jenis $8,65 \text{ g/cm}^3$, berat atom 112,4, titik leleh 321°C , dan titik didih 767°C . Kilap yang dimiliki Ion logam Cd(II) akan hilang ketika terkena udara yang basah atau lembab. Uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2) juga dapat mempercepat kerusakan ion logam Cd(II) (Istarani & Pandebesie, 2014).

Ion logam Cd(II) memiliki karakteristik tahan terhadap panas dan korosi. Penyebaran ion logam Cd(II) di alam sangat luas. Ion logam Cd(II) banyak dimanfaatkan untuk elektrolisis serta sebagai bahan pigmen untuk industri plastik, cat, dan enamel. Ion logam Cd(II) biasanya hadir dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng. Ion logam Cd(II) sering

ditemukan bersama dengan logam lain seperti Zn, Cu, dan Pb dalam jumlah yang kecil. Ion logam Cd(II) juga banyak ditemukan pada industri alloy, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain (Istarani & Pandebesie, 2014).



Gambar 2. 4 Spesiasi Kadmium dalam Sistem Larutan (Ozel, 2012)

Gambar 2.5 menunjukkan spesiasi kadmium dalam sistem larutan. Pada pH 2-9, kadmium berbentuk Cd^{2+} . Konsentrasi CdOH^+ mencapai maksimum pada pH 10 yaitu sebesar 30%. Semakin meningkatnya pH maka konsentrasi larutan Cd(OH)_2 dan Cd(OH)_3^- juga meningkat, namun konsentrasi Cd^{2+} dan CdOH^+ akan semakin menurun. Konsentrasi CdNO_3^+ , $[\text{Cd(OH)}_4]^-$, dan $[\text{Cd}_2(\text{OH})]^{3+}$ dalam larutan

relatif rendah dan tidak dipengaruhi oleh pH. Konsentrasi larutan $\text{Cd}(\text{OH})_2$ mencapai nilai maksimum pada pH tinggi, yaitu 11,5. Di atas pH 11,5, konsentrasi larutan $\text{Cd}(\text{OH})_2$ mulai menurun secara linier (Ozel, 2012).

7. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses terikatnya molekul-molekul dari fasa gas atau cair pada permukaan padatan atau cairan. Adsorben dan adsorbat adalah dua zat yang berinteraksi dalam proses adsorpsi. Molekul yang terikat atau diserap disebut adsorbat, sedangkan substansi yang mengikat atau menyerap disebut dengan adsorben (Botahala, 2019).

Adsorben dapat diartikan sebagai media bertukarnya zat terlarut dari larutan. Ketika karakter pada fasa cair yang mengandung zat terlarut berubah, maka dapat menyebabkan terlepasnya zat yang telah diadsorpsi oleh permukaan adsorben kemudian kembali larut dalam fasa cair. Perubahan karakter tersebut meliputi konsentrasi, pH, dan temperatur. Peristiwa terlepasnya adsorbat yang telah diadsorpsi

oleh adsorben ini disebut dengan desorpsi (Setianingsih, 2018).

Pori-pori yang dimiliki adsorben jumlahnya tidak dihitung. Diameter yang dimiliki oleh partikel adsorben antara 0,5-200 mikrometer atau lebih kecil. Luas permukaan pada adsorben sangat berpengaruh pada proses adsorpsi, dikarenakan luas permukaan merupakan luasan yang akan ditempati oleh molekul adsorbat pada lapis monolayer di dalam adsorben (Ismuyanto *et al.*, 2017).

Menurut Setianingsih (2018), peristiwa adsorpsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

a. Luas permukaan adsorben

Luas permukaan spesifik (luas permukaan adsorben per massa adsorben) sangat berpengaruh terhadap nilai adsorpsi. Nilai adsorpsi per satuan massa adsorben akan semakin meningkat apabila ukuran adsorben semakin kecil dan pori-pori yang dimiliki semakin banyak.

b. Sifat fisika dan kimia adsorbat

Suatu senyawa yang memiliki berat molekul tinggi serta gugus fungsi yang banyak

termasuk ikatan rangkap dan halogen akan dapat meningkatkan nilai adsorpsi. solubilitas larutan dalam pelarut memiliki hubungan terbalik dengan tingkat adsorpsi larutan oleh adsorben. Baik adsorben polar dan nonpolar masing-masing akan lebih mudah melakukan proses adsorpsi untuk larutan polar dan larutan nonpolar.

c. Keasaman larutan

Persaingan proton pada sisi aktif adsorben akan menurun seiring dengan meningkatnya pH, sehingga adsorpsi pada ion logam berat juga akan semakin meningkat. Pada media basa terjadi interaksi antara ion logam dengan ion hidroksil yang akan menyebabkan logam tersisih dari fase cair dan membentuk endapan.

d. Temperatur

Reaksi eksotermik yang terjadi pada suhu rendah akan meningkatkan proses adsorpsi. Kenaikan suhu juga dapat mempercepat proses adsorpsi karena meningkatnya laju difusi zat terlarut ke dalam adsorben melalui fase cair.

e. Porositas adsorben

Kapasitas adsorpsi dan laju adsorpsi dapat dipengaruhi oleh jumlah serta ukuran pori pada adsorben. Mekanisme kondensasi adsorbat secara kapiler akan terjadi pada proses adsorpsi dengan ukuran adsorben mesopori. Apabila adsorben termasuk ukuran mikropori, maka proses adsorpsi berlangsung tanpa adanya kondensasi (Setianingsih, 2018).

8. Kapasitas Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi pada fase cair dan konsentrasi pada partikel adsorben pada suhu tertentu. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi yang tinggi. Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang disajikan pada persamaan 2.1.

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V \quad (2.1)$$

dengan Q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_o adalah konsentrasi awal (mg/L), C_e adalah konsentrasi akhir (mg/L), W adalah massa adsorben (g), dan V adalah volume larutan ion logam Cd(II) (Kusumawardani, Anita Zaharah, *et al.*, 2018).

9. Kinetika Adsorpsi

Proses suatu zat yang diserap oleh adsorben sebagai fungsi waktu dijelaskan oleh kinetika adsorpsi. Fitur kapasitas adsorben untuk menyerap adsorbat dapat dipastikan menggunakan laju adsorpsi. Laju adsorpsi dapat ditentukan dengan dari konstanta laju adsorpsi (k) dan orde reaksi yang sesuai untuk model kinetika reaksi (Hafiyah, 2013).

Model kinetika adsorpsi yang sering digunakan yaitu persamaan *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Ho dan McKay (1998) melakukan kajian tentang persamaan *pseudo* orde satu yang mana persamaan tersebut dituliskan dalam persamaan 2.2.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t) \quad (2.2)$$

dengan q_e kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan, q_t kapasitas adsorpsi pada saat t , sedangkan k_1 adalah konstanta laju orde pertama dengan satuan menit. Integral terhadap persamaan tersebut pada batas-batas $t=0$ sampai $t=t$ dan $q=0$ sampai $q_t = q_t$, maka persamaan *pseudo* orde satu dapat dituliskan sebagaimana persamaan 2.3.

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_2}{2,303} t \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 dapat digunakan untuk menentukan model eksperimen data kinetika, dimana *plotting* $\log (q_e - q_t)$ terhadap t akan menghasilkan suatu garis lurus jika reaksi adsorpsi sesuai dengan *pseudo* orde satu. Jika plot data terhadap persamaan *pseudo* orde satu tidak linier, maka data perlu dimodelkan dengan persamaan *pseudo* orde dua yang dituliskan dalam persamaan 2.4.

$$\frac{dq_t}{dt} = k(q_e - q_t)^2 \quad (2.4)$$

Satuan kapasitas adsorpsi q adalah mmol/g, sedangkan satuan konstanta laju k adalah $\text{gmmol}^{-1} \text{menit}^{-1}$. Integral yang sama dengan reaksi orde satu akan diperoleh persamaan 2.5 dan 2.6.

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + Kt \quad (2.5)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.6)$$

Plotting t/q_t terhadap t akan menghasilkan garis lurus yang dapat digunakan untuk menentukan harga konstanta laju (k) (Ikhsan *et al.*, 2014).

10. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah hubungan kesetimbangan antara konsentrasi pada fasa fluida dan konsentrasi partikel adsorben pada temperatur tertentu. Isoterm adsorpsi yang dipelajari pada penelitian ini ada dua, yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich (Kusumaningrum *et al.*, 2022).

a. Isoterm Langmuir

Model isoterm Langmuir menggambarkan hubungan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat yang terserap pada konsentrasi kesetimbangannya. Acuan isoterm Langmuir yaitu adsorpsi monolayer yang bersifat homogen. Menurut Lu *et al.*, (1990), asumsi dari isoterm adsorpsi Langmuir adsorpsi ion logam terjadi melalui situs aktif yang dimiliki oleh permukaan adsorben. Setiap situs aktif hanya dapat menyerap satu molekul.

Isoterm adsorpsi Langmuir mengartikan bahwa lapisan tunggal adsorbat pada permukaan adsorben memungkinkan tercapainya kapasitas maksimum adsorpsi. Persamaan model Langmuir ditunjukkan dalam persamaan 2.7.

$$Q_e = \frac{b \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 dapat diturunkan secara linier dalam bentuk persamaan 2.8.

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{b \cdot K} + \frac{1}{b} + C_e \quad (2.8)$$

dengan C_e adalah konsentrasi logam saat kesetimbangan (mg/L), Q_e adalah jumlah logam yang terserap pada saat kesetimbangan (mg/g), b adalah kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g), dan K adalah konstanta isoterm Langmuir (L/mg) (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

b. Isoterm Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich dikenal juga dengan sebutan adsorpsi multilayer. Isoterm freundlich menjelaskan jenis interaksi antar molekul terjadi karena adanya distribusi energi yang seragam. Persamaan model isotherm freundlich dirumuskan dalam bentuk persamaan 2.9.

$$Q_e = k \cdot C_e^{1/2} \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 dapat diubah ke dalam bentuk linier yaitu dengan cara mengubah bentuk logaritmanya menjadi persamaan 2.10.

$$\log Q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.10)$$

dengan C_e adalah konsentrasi ion logam saat kesetimbangan (mg/L), Q_e adalah jumlah ion logam yang terserap (mg/g), K adalah konstanta isoterm adsorpsi Freundlich, dan n adalah konstanta empiris (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

11. Karakterisasi

a. *Particle Size Analyzer (PSA)*

PSA adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur suatu ukuran partikel dalam sampel. Prinsip dari PSA yaitu sinar laser akan dilewati oleh partikel, kemudian partikel akan menghamburkan cahaya tersebut. Hasil distribusi ukuran partikel diperoleh dari analisis distribusi intensitas yang dihamburkan oleh partikel.

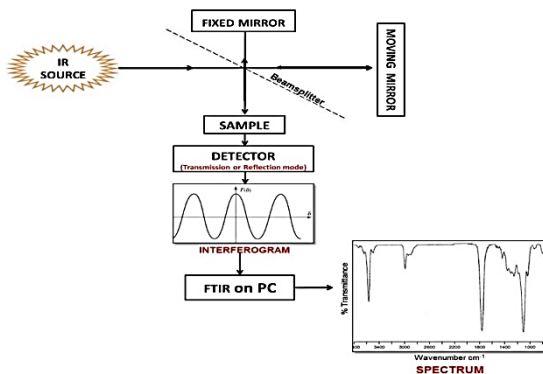
PSA biasanya menggunakan metode basah dalam pengujian ukuran partikel. Jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan metode saringan, analisis gambar, dan metode kering, teknik ini dianggap lebih tepat, terutama untuk sampel dalam ukuran

nanometer yang memiliki kecenderungan aglomerasi tinggi. Pada metode basah menggunakan media pendispersi sehingga partikel akan tersebar di seluruh media untuk mencegah aglomerasi. Ukuran partikel yang terukur menggunakan metode basah adalah ukuran dari *single particle* (Dwistika, 2018).

b. Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

FTIR merupakan instrumen yang digunakan untuk mempelajari komponen suatu senyawa berdasarkan analisis spektral getaran seperti intensitas, bentuk pita, dan frekuensi (Takahashi *et al.*, 1991). FTIR merupakan teknik analisis spektroskopi yang menggunakan sinar infra merah dari spektrum elektromagnetik (Munir, 2017). Teknik analisis FTIR berupa bilangan gelombang yang dihasilkan dari getaran atom-atom pada suatu molekul dengan frekuensi pada infrared tertentu (Purba, 2018). Prinsip kerja spektroskopi infra merah yaitu sinar infra merah dipancarkan pada sampel kemudian gelombang akan diteruskan hingga terperangkap

oleh detektor. Hasil berupa gambar spektrum dari sampel yang diuji akan diberikan oleh computer yang terhubung dengan detektor (Sari, 2018).



Gambar 2. 5 Mekanisme Kerja FTIR (Kumari *et al.*, 2018)

Gambar 2.6 menunjukkan mekanisme kerja FTIR. Spektrometer FTIR terdiri dari dua cermin bidang tegak lurus (cermin tetap dan bergerak), film semi pemantul, dan pemecah sinar yang membagi dua bidang kedua cermin tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Ketika seberkas radiasi monokromatik dilewatkan ke dalam *beamsplitter*, setengah dari radiasi yang datang akan dipantulkan ke cermin tetap, sedangkan separuh sisanya akan diteruskan ke cermin bergerak. Kemudian kedua

sinar ini dipantulkan dari kedua cermin yang bergabung kembali dan berinterferensi pada *beamsplitter*. Selanjutnya, separuh berkas cahaya yang dipantulkan dari cermin tetap diteruskan melalui pemecah berkas, sedangkan separuh sisanya dipantulkan kembali ke arah sumbernya. Sinar yang muncul dari interferometer pada sudut 90° terhadap sinar datang disebut sinar transmisi yang dideteksi dalam spektroskopi FTIR (Kumari *et al.*, 2018).

Gugus fungsi dalam senyawa organik mempunyai bilangan gelombang pada serapan khusus di daerah tertentu, sehingga setiap senyawa memiliki panjang gelombang yang khas. Analisa dengan FTIR dapat membuktikan bahwa suatu senyawa yang telah di sintesis memiliki kesamaan dengan senyawa induk (secara kualitatif).

c. *Surface Area Analyzer (SAA)*

SAA (*Surface Area Analyzer*) merupakan alat karakterisasi untuk menganalisis sifat-sifat material seperti luas permukaan, ukuran pori, distribusi pori dan isotherm adsorpsi gas pada

material berpori. Pada prinsipnya, SAA didasarkan pada siklus adsorpsi dan desorpsi isothermis gas nitrogen oleh sampel serbuk pada suhu nitrogen cair. Informasi variasi data tekanan akan diberikan oleh siklus adsorpsi-desorpsi tersebut. Awalnya serbuk dimasukkan ke dalam tabung SAA, sejumlah gas akan diberikan dimana gas yang dipakai biasanya yaitu argon, nitrogen, dan helium. Pemberian gas dilakukan sebelum dan sesudah diberikan serbuk. Sebelum dan sesudah pemberian bubuk, pemberian gas dilakukan. Tekanan yang bervariasi akan ditangkap oleh sensor tekanan, kemudian data tentang hasil tekanan diperoleh (Rosyid *et al.*, 2012).

Inisial dari tiga peneliti yang menemukannya yaitu Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett, dan Edward Teller, disingkat menjadi BET. Biasanya, luas permukaan spesifik ditentukan menggunakan metode BET (Brunauer-Emmet-Teller) dengan asumsi permukaan pori berbentuk silinder, kemudian dialiri molekul gas nitrogen secara merata hingga memenuhi bidang. Pendekatan ini

diperkenalkan pada tahun 1938 (Brunauer *et al.*, 1938).

Untuk menghitung jumlah volume gas yang diserap oleh sampel, BET menggunakan metode perhitungan yang melibatkan total volume gas adsorbat yang dimasukkan ke dalam tabung sebelum penyisipan sampel dan volume total gas serap yang masih ada atau tidak diserap oleh sampel. Satuan volume selanjutnya dikonversi ke dalam satuan luasan (Rosyid *et al.*, 2012). Berikut persamaan perhitungan luas permukaan menggunakan metode BET dituliskan dalam Persamaan 2.11 (Zulichatun *et al.*, 2015):

$$\frac{1}{(W \frac{P_0}{P} - 1)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \times \frac{P_0}{P} \quad (2.11)$$

dengan P adalah tekanan kesetimbangan adsorpsi, P_0 adalah tekanan jenuh adsorpsi, W adalah berat gas yang diserap pada tekanan kesetimbangan P , W_m adalah berat gas yang diserap sebagai lapisan tunggal, C adalah tetapan energi adsorpsi, $\frac{P}{P_0}$ adalah tekanan relatif adsorpsi. Berat gas nitrogen yang membentuk lapisan tipis (monolayer) dapat diperoleh dari

slope (s) dan intercept (i) pada grafik BET dari Persamaan 2.11 didapatkan Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$\text{Slope (s)} = \frac{C-1}{W_m C} \quad (2.12)$$

$$\text{Intercept (i)} = \frac{1}{W_m C} \quad (2.13)$$

Persamaan 2.12 dan 2.13 digabungkan untuk menghitung berat gas nitrogen yang dapat membentuk lapisan monolayer, sehingga diperoleh Persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$W_m = \frac{1}{s+i} \quad (2.14)$$

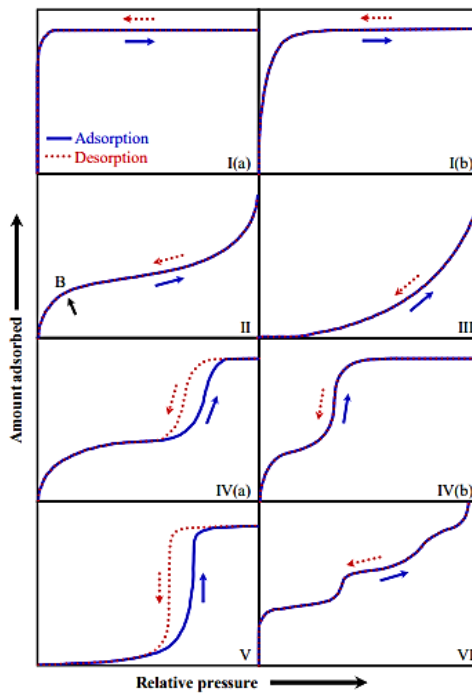
Hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2.14 digunakan untuk menghitung luas permukaan total dari cuplikan, sehingga diperoleh Persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$St = \frac{W_m \cdot N \cdot a \cdot c \cdot s}{M} \quad (2.15)$$

dengan N adalah bilangan Avogadro ($6,203 \times 10^{23}$ molekul/mol), M adalah berat molekul gas nitrogen, W_m adalah berat gas nitrogen (g), $a \cdot c \cdot s$ = Cross sectional area for nitrogen ($10,2 \text{ \AA}$). Luas permukaan spesifik ditentukan dari luas muka total (St) dibagi berat cuplikan, (bc) sehingga diperoleh Persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$S = \frac{S_t}{b_c} \quad (2.16)$$

Data analisis setelah perhitungan luas permukaan dapat menentukan tipe grafik isotermal adsorpsi desorpsi dalam fisisorpsi. Tipe-tipe isoterm adsorpsi desorpsi yang sesuai IUPAC ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Isoterm adsorpsi-desorpsi N_2
(Rahman *et al.*, 2019)

Menurut Rahman *et al.*, (2019), tipe-tipe isoterm adsorpsi-desorpsi terbagi menjadi 8 tipe yaitu:

1) Tipe I(a)

Jenis isoterm ini ditemukan untuk adsorben mikropori sempit yang memiliki ukuran pori kurang dari 1 nm.

2) Tipe I(b)

Tipe I(b) merupakan tipe isoterm adsorpsi-desorpsi untuk bahan mikropori dengan khas terdapat cekungan ke sumbu P/P₀. Isoterm ini menandakan adsorpsi monolayer.

3) Tipe II

Isoterm Tipe-II ditandai dengan adsorpsi multilayer. Isoterm ini ditemukan untuk adsorben mikropori.

4) Tipe III

Bentuknya adalah cembung. Pada tekanan rendah serapannya juga rendah, tetapi meningkat tajam pada tekanan tinggi. Interaksi antara adsorben dan adsorbat cenderung lemah, molekul teradsorpsi pada

permukaan padatan non-pori atau makropori.

5) Tipe IV(a)

Tipe IV(a) sesuai untuk adsorben yang mempunyai mesopori berbentuk silinder dan kerucut tertutup pada ujung runcing. Isoterm jenis ini memiliki lebar pori lebih besar dari 4 nm.

6) Tipe IV(b)

Isoterm ini diberikan untuk adsorben yang memiliki lebar pori lebih kecil dari 4 nm.

7) Tipe V

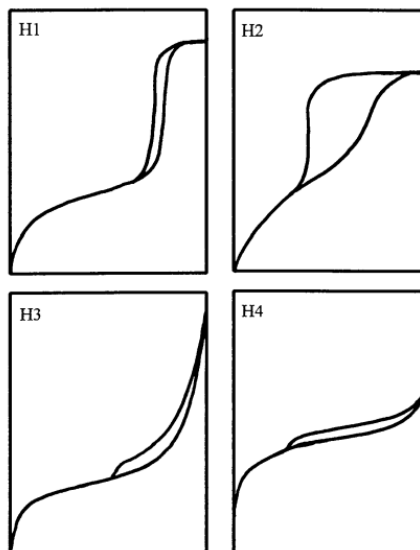
Tipe V memiliki rentang P/P_0 rendah dengan interaksi adsorben-adsorbat relatif lemah. Tekanan P/P_0 yang lebih tinggi diikuti dengan pengisian pori.

8) Tipe VI

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

Analisis menggunakan adsorpsi-desorpsi N_2 pada material padatan terutama padatan mesopori, dapat memunculkan karakteristik yang khas. Karakteristik yang khas ditandai

dengan terbentuknya *hysteresis loop* yang dapat mempresentasikan bentuk pori yang telah terbentuk (Sotomayor *et al.*, 2018). Gambar 2.8 menunjukkan empat bentuk *hysteresis loop* yang sesuai dengan IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*).



Gambar 2. 7 *Hysteresis loop* (Donohue & Aranovich, 1998)

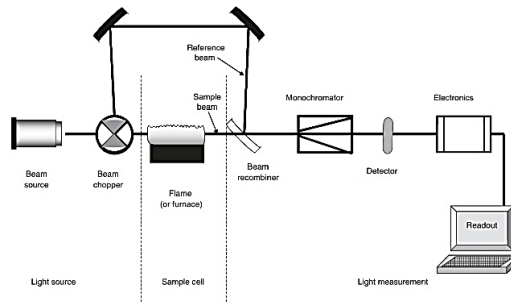
Menurut Astuti (2018), *hysteresis loop* dalam pola adsorpsi mengindikasikan terjadinya kapiler di dalam mesopori, tipe *hysteresis loop* berhubungan dengan karakteristik struktur

porositas di dalam mesopori. Terdapat empat tipe klasifikasi *hysteresis loop* yaitu:

- 1) Tipe H1, cabang loop paralel sehingga mendekati vertikal dengan distribusi pori ukuran pori yang sangat sempit.
- 2) Tipe H2 biasanya terjadi pada adsorben yang memiliki pori dengan bentuk leher sempit namun memiliki ruang yang luas di dalamnya.
- 3) Tipe H3, memperlihatkan adsorben dengan bentuk pori slit.
- 4) Tipe H4, ditemukan pada adsorben mikro-mesopori.

d. *Atomic absorption spectroscopy* (AAS)

Jumlah ion logam yang diserap dapat diukur menggunakan AAS. Berdasarkan perbedaan antara konsentrasi ion logam sebelum dan setelah adsorpsi, konsentrasi ion logam yang diserap dapat ditentukan secara kuantitatif. Gambar 2.9 menunjukkan skema spektrofotometer serapan atom.



Gambar 2. 8 Cara Kerja AAS (Yeung *et al.*, 2017)

Tingkat energi dasar (*ground state*) dari elemen yang akan diperiksa akan dibuat dengan terlebih dahulu membakar sampel dalam nyala api. Ini menciptakan atom netral dari elemen tersebut. Prinsip kerja AAS berawal dari pembakaran sampel dalam nyala sehingga unsur yang dianalisis akan membentuk atom-atom netral dalam tingkat energi dasar (*ground state*). Atom tersebut akan dikenai energi radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu, sehingga atom akan menyerap sebagian radiasi tersebut dan sebagian lagi diteruskan. Persen transmittan atau absorban dihasilkan dari pembacaan rasio energi yang diserap dengan yang diteruskan (Kunti Panca, 2009).

B. Kajian Pustaka

Harun (2020) melakukan sintesis karboksimetil selulosa (CMC) dari selulosa pelepah salak (*Salacca zalacca*), kemudian digunakan sebagai flokulan. Dua metode ekstraksi dilakukan untuk menghasilkan selulosa dari serbuk serat pelepah salak, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Dari kedua metode ini, metode tidak langsung menghasilkan CMC yang lebih baik dengan rendemen 86%, pH 5,75 dan berwarna putih kekuningan. Aplikasi CMC sebagai flokulan pada air sumur dapat mengurangi pH, konduktivitas dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Penambahan CMC menyebabkan penurunan pH dari 8,80 menjadi 8,50 dan 8,55. Penambahan CMC langsung dan tidak langsung dapat menurunkan COD dari 82,49 menjadi 48,52 dan 77,30.

Pada penelitian Triyastiti & Krisdiyanto (2018), nanokristal selulosa diisolasi dari pelepah pohon salak sebagai filler pada film berbasis polivinil alkohol (PVA). Karakterisasi biomassa pelepah salak dan nanoselulosa yang dihasilkan dilakukan dengan FTIR, XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning electron microscope*). Spektrofotometer FTIR menunjukkan puncak penyerapan selulosa tipikal pada bilangan gelombang 894 cm^{-1} . Kekuatan tarik dan nilai elongasi komposit menurun

sebagai akibat dari penambahan massa pengisi nanokristal selulosa 10%, 20%, dan 30%.

Chen (2019) melakukan adsorpsi As(III) menggunakan dialdehid selulosa-sistein berstruktur mikro dan nano. Selulosa diekstrak dari bubur kayu, kemudian dibuat menjadi dua jenis adsorben yaitu adsorben dengan serat mikro dan nano. Efisiensi adsorpsi yang dihasilkan pada rentang konsentrasi 10–20 ppm sangat rendah, yaitu MDAC-cys (*microscale dialdehyde cellulose-cysteine*) sebesar 60-70% dan NDAC-cys (*nanoscale dialdehyde cellulose-cysteine*) sebesar 59–82%. Hal ini menunjukkan bahwa ion ikatan antara As(III) dan gugus tiol hanya terjadi sebagian. Rentang konsentrasi yang lebih tinggi (50–250 ppm) menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum yaitu sebesar 344,82 mg/g untuk MDAC-cys dan 357,14 mg/g untuk NDAC-cys.

Li (2019) berhasil melakukan sintesis biosorben nanokristal selulosa termodifikasi L-sistein (Lcys-CNCs), kemudian diaplikasikan untuk menyerap ion merkuri dalam larutan. Lcys-CNC menunjukkan kapasitas adsorpsi yang sangat baik untuk penyerapan ion merkuri. Nilai pH optimum untuk penyisihan Hg(II) adalah 5. Nilai adsorpsi maksimum Lcys-CNCs mencapai 923 mg/g. Setelah tiga

siklus adsorpsi, persentase penyerapan Hg(II) masih bisa bertahan di atas 70%. Oleh karena itu, Lcsy-CNCs memiliki potensi besar sebagai biosorben yang efisien untuk adsorpsi ion Hg(II) (Li *et al.*, 2019).

C. Hipotesis

Nanoselulosa pelepah pohon salak dimungkinkan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik apabila dimodifikasi dengan sistein. Hal ini dikarenakan modifikasi dapat memperluas permukaan nanoselulosa pelepah pohon salak serta menambah gugus fungsional seperti gugus SH sehingga kemampuan adsorpsinya dalam menyerap ion logam Cd(II) akan meningkat. Faktor pH, massa adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi dilakukan untuk menentukan kondisi optimum dengan nilai kapasitas tertinggi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia UIN Walisongo Semarang. Penelitian dilakukan pada bulan Januari-September 2023.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas beaker 250 mL, erlenmeyer, labu ukur, batang pengaduk, termometer, kertas saring, blender (Miyako), neraca analitik, desikator, *hotplate stirrer* (Cimarec), Oven (Mettler), Sentrifuge (Scilogex), Ultrasonikasi (Labtron), *Atomic absorption spectroscopy (Thermo scientific iCE 3000 Series)*, Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red (Bruker Alpha 2)*, *Particle Size Analyzer* (Horiba SZ-100), dan *Surface Area Analyzer (Quantachrome TouchWin v1.22)*.

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pelepah pohon salak yang diambil dari

Kebondalem, Sukorejo, Mojotengah, Wonosobo. akuades (H_2O), larutan asam nitrat 3,5 % (HNO_3 , p.a, Merck), bubuk natrium nitrit (NaNO_2 , p.a), larutan asam sulfat 40 % (H_2SO_4 , p.a), larutan hidrogen peroksida 10 % (H_2O_2 , p.a), larutan natrium hidroksida 17,5 % (NaOH , p.a), larutan natrium hipoklorit 1,75 % (NaOCl , p.a), larutan etilen glikol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, p.a), bubuk sistein ($\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2\text{S}$, p.a, himedia), larutan natrium tiosulfat (Na_2SO_3 , p.a), bubuk sodium periodat (NaIO_4 , p.a, merck), dan bubuk kadmium sulfat ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, p.a, merck), indikator pH universal (Merck).

C. Prosedur Penelitian

1. Ekstraksi Selulosa

Pelepah pohon salak dicuci hingga bersih lalu dipotong-potong sepanjang 5 cm. pelepah pohon salak bersih digiling menggunakan blender, diayak, kemudian dikeringkan. Serbuk pelepah pohon salak sebanyak 50 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan 1 L campuran HNO_3 3,5% dan 10 mg NaNO_2 , lalu dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 90°C selama 2 jam. Larutan disaring kemudian filtrat dicuci hingga netral. Campuran 750

mL NaOH 2% dan Na₂SO₃ 2% ditambahkan pada filtrat, lalu dipanaskan selama 1 jam pada suhu 50°C. Larutan disaring dan filtrat dinetralkan, selanjutnya digunakan pada proses pemutihan. Uji karakterisasi selulosa dilakukan dengan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi selulosa dari pelepah salak (Triyastiti & Krisdiyanto, 2018).

2. Proses *Bleaching*

Proses *bleaching* dilakukan dengan menambahkan larutan NaOCl 1,75% sebanyak 500 mL ke dalam ampas selulosa yang telah diekstraksi. Selanjutnya larutan dipanaskan pada suhu 70°C selama 30 menit diatas *hot plate* sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*. Larutan disaring, kemudian residu dinetralkan. Filtrat ditambahkan dengan NaOH 17,5% sebanyak 500 mL, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 80°C selama 30 menit. Larutan disaring kemudian residu yang dihasilkan dinetralkan. Filtrat ditambahkan dengan H₂O₂ 10 % sebanyak 500 mL, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 60°C selama 15 menit. Larutan disaring, lalu residu yang dihasilkan dinetralkan. Residu selanjutnya dikeringkan di dalam

oven pada suhu 60°C selama 1 jam. Uji karakterisasi selulosa dilakukan dengan menggunakan FTIR untuk memastikan selulosa sudah terbebas dari kandungan lignin (Triyastiti & Krisdiyanto, 2018).

3. Hidrolisis Asam

Selulosa dimasukkan ke dalam gelas beaker 500 mL, selanjutnya ditambahkan 250 mL H₂SO₄ dengan konsentrasi 40% (v/v). Campuran dipanaskan selama 5 jam dengan suhu 50°C sambil di aduk. Larutan disaring kemudian residu yang dihasilkan dinetralkan. Residu selanjutnya dikeringkan di dalam oven pada suhu 70°C selama 5 jam, kemudian diayak menggunakan ayakan 200 mesh.

Uji karakterisasi selulosa dilakukan dengan menggunakan FTIR dan PSA untuk mengetahui ukuran dan distribusi partikel nanoselulosa (Triyastiti & Krisdiyanto, 2018).

4. Ultrasonikasi

Serbuk selulosa di masukkan ke dalam gelas beaker 100 mL, ditambahkan 100 mL akuades, kemudian dilakukan proses ultrasonikasi selama 30

menit. Nanoselulosa dipisahkan dari akuades menggunakan sentrifus selama 30 menit, lalu dikeringkan pada suhu 70°C selama 2 jam.

5. Modifikasi serbuk nanoselulosa – sistein

Nanoselulosa sebanyak 5 gram dicampur dengan 200 mL air. Sodium periodat sebanyak 8,25 gram ditambahkan ke dalam campuran, lalu diaduk selama 24 jam tanpa cahaya pada suhu 40°C. Etilen glikol sebanyak 10 mL ditambahkan ke dalam campuran selulosa untuk menghilangkan sodium periodat yang tersisa. Nanoselulosa dinetralkan, lalu dikeringkan.

Modifikasi dilakukan dengan variasi perbandingan % massa serbuk nanoselulosa dengan sistein seperti tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi Perbandingan Massa Nanoselulosa dan Sistein

Sampel	Nanoselulosa (%)	Sistein (%)
NS	100	0
NS-S 25	75	25
NS-S 50	50	50
NS-S 75	25	75
Sistein	0	100

Nanoselulosa dilarutkan dalam 200 mL air dengan pengadukan konstan pada suhu 39°C. Larutan ditambahkan dengan L-Sistein, lalu diaduk terus menerus selama 12 jam. Selulosa termodifikasi sistein disaring menggunakan kertas saring, dibilas menggunakan akuades, lalu dikeringkan di dalam oven dengan suhu 70°C selama 3 jam (Chen *et al.*, 2019).

Uji karakterisasi sistein dan nanoselulosa termodifikasi sistein dilakukan dengan menggunakan FTIR untuk memastikan sistein telah berhasil ditambahkan yang dilihat dari gugus fungsinya.

6. Penentuan Kadar Ion Logam Cd(II)

Pembuatan Larutan Induk Ion Logam Cd(II) 1000 ppm

Larutan induk ion logam Cd(II) 1000 ppm dibuat dengan melarutkan 1,7114 gram $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dalam 100 mL aquades, kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 250 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

Pembuatan Larutan Ion Logam Cd(II) 100 ppm

Larutan Cd(II) 1000 ppm diambil sebanyak 10 mL kemudian diencerkan menjadi 100 mL sehingga didapatkan larutan Cd(II) 100 ppm.

Pembuatan Larutan Standar Ion Logam Cd(II) 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 ppm

Larutan ion logam Cd(II) 100 ppm diambil masing-masing sebanyak 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; dan 0,8 mL kemudian diencerkan menjadi 100 mL sehingga didapatkan larutan ion logam Cd(II) dengan konsentrasi 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; dan 0,8 ppm.

Pembuatan Kurva Standar

Masing-masing larutan standar diukur absorbansinya menggunakan AAS. Dari data absorbansi dan konsentrasi kemudian dibuat kurva kalibrasi. Persamaan garis lurus dari kurva ditunjukkan pada persamaan 3.1, selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi larutan.

$$Y = mx + C \quad (3.1)$$

Y adalah absorbansi, x adalah konsentrasi, dan c adalah konstanta (Kusumaningrum *et al.*, 2022).

Penentuan Konsentrasi Ion Logam Cd(II)

Larutan ion logam Cd(II) hasil adsorpsi diukur menggunakan AAS sehingga didapatkan data absorbansi (A). Untuk menentukan konsentrasinya, data A dimasukkan ke dalam persamaan 3.1 yang diperoleh dari kurva kalibrasi.

7. Optimasi perbandingan massa nanoselulosa dengan sistein

Nanoselulosa termodifikasi sistein dengan komposisi pada tabel 3.1 disiapkan masing-masing sebanyak 0,2 gram, lalu ditambahkan ke dalam 25 mL larutan ion logam Cd(II) 40 ppm. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Larutan ion logam Cd(II) dipisahkan dari adsorben dengan menggunakan sentrifuge dengan kecepatan 2500 rpm selama 20 menit. Larutan diukur absorbansinya menggunakan AAS untuk mengetahui kadar ion logam Cd(II) (Kusumawardani *et al.*, 2018).

8. Optimasi penyerapan ion logam Cd(II) oleh nanoselulosa pelepah salak termodifikasi sistein

Optimasi pH

Adsorben nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein dengan % massa optimum sebanyak 0,2 gram masing-masing dimasukkan ke dalam 25 mL larutan ion logam Cd(II) 20 ppm pada gelas beker dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 6. Campuran diaduk selama 60 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan ion logam Cd(II) dipisahkan dari adsorben dengan menggunakan sentrifuge dengan kecepatan 2500 rpm selama 20 menit, kemudian konsentrasinya diukur menggunakan AAS.

Optimasi Massa

Disiapkan adsorben nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein sebanyak 0,15; 0,2; 0,25 gram dengan pH optimum. Masing-masing adsorben dimasukkan ke dalam 25 mL larutan ion logam Cd(II) 20 ppm pada gelas beker, lalu diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan ion logam Cd(II) dipisahkan dari adsorben dengan menggunakan sentrifuge dengan kecepatan

2500 rpm selama 20 menit, kemudian konsentrasinya diukur menggunakan AAS.

Optimasi Waktu Kontak

Adsorben nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein dengan pH dan massa optimum dimasukkan ke dalam 25 mL larutan ion logam Cd(II) 40 ppm. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 90 menit kemudian disaring dengan kertas saring. Filtrat yang diperoleh dilakukan pengukuran konsentrasi ion logam Cd(II) menggunakan AAS.

Optimasi Konsentrasi

Larutan ion logam Cd(II) sebanyak 25 mL dengan variasi konsentrasi 10; 20; 40; 60; 80 ppm dengan pH optimum dimasukkan masing-masing ke dalam gelas beaker. Kemudian ditambahkan nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein dengan massa optimum ke dalam gelas beaker. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan waktu kontak optimum. Larutan ion logam Cd(II) dipisahkan dari adsorben dengan menggunakan sentrifuge dengan kecepatan 2500

rpm selama 20 menit, kemudian konsentrasinya diukur menggunakan AAS.

9. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd(II)

Kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) ditentukan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan AAS, yaitu konsentrasi ion logam Cd(II) akhir atau konsentrasi pada kesetimbangan (C_e). Nilai C_e digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi dengan menggunakan persamaan 2.1.

10. Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

Model kinetika ditentukan berdasarkan data adsorpsi yang diperoleh dari optimasi waktu kontak. Dari data yang diperoleh, dibuat kurva linier orde satu yaitu hubungan antara $\log (q_e - q_t)$ dengan t . Nilai konstanta dapat dihitung dari persamaan garis yang diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.3. Kurva persamaan linier *pseudo* orde dua dibuat dari hubungan antara t dengan t/Q_t . Persamaan garis yang didapatkan dari kurva digunakan untuk menghitung harga konstanta laju (k) sesuai persamaan 2.6. Orde

kinetika adsorpsi ditentukan berdasarkan nilai R^2 dari kurva yang paling tinggi (mendekati 1).

11. Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Model isoterm ditentukan berdasarkan data adsorpsi yang diperoleh dari optimasi konsentrasi. Data C_e dan kapasitas adsorpsi (Q_e) yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan kurva linier yaitu antara C_e dengan C_e/Q_e . Berdasarkan persamaan garis yang dihasilkan, dihitung nilai Konstanta Langmuir menggunakan persamaan 2.8.

Plot hubungan antara $\log q_e$ dengan $\log C_{eq}$ akan diperoleh persamaan garis isoterm Freundlich. Selanjutnya dihitung konstanta Freundlich menggunakan persamaan 2.10. Pola isoterm adsorpsi ditentukan dengan cara membandingkan nilai R^2 dari kurva isoterm Langmuir dan Freundlich. Nilai R^2 yang mendekati 1 mengindikasikan bahwa model isoterm tersebut paling sesuai menjelaskan adsorpsi yang terjadi (Wahyuni *et al.*, 2020).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini mengkaji mengenai hasil penelitian dan pembahasan dari nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein yang dimanfaatkan sebagai adsorben untuk menyerap ion logam Cd(II). Beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu, ekstraksi nanoselulosa melalui proses delignifikasi, *bleaching*, hidrolisis asam, ultrasonikasi, kemudian dilanjutkan modifikasi dengan sistein, karakterisasi adsorben dengan menggunakan beberapa instrumen, lalu yang terakhir adalah aplikasi adsorben pada ion logam Cd(II). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik dari nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein serta efektivitasnya dalam menyerap ion logam Cd(II).

A. Ekstraksi dan Karakterisasi Nanoselulosa

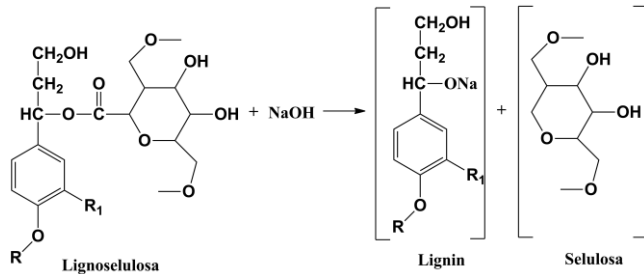
1. Ekstraksi

Preparasi serbuk pelepah pohon salak dimulai dengan pencucian hingga bersih, lalu dipotong-potong sepanjang 5 cm, dihaluskan menggunakan blender, diayak, kemudian dikeringkan. Pengeringan sampel dilakukan untuk menghilangkan kandungan air dari serat pelepah salak. Serbuk dijemur di bawah

sinar matahari agar lebih tahan lama dan tidak mudah rusak akibat aktivitas mikroba dan reaksi kimia.

Pada penelitian ini, sintesis nanoselulosa dilakukan menggunakan metode ekstraksi dan ultrasonikasi. Terdapat tiga tahapan dalam ekstraksi, yaitu delignifikasi, *bleaching*, dan hidrolisis asam. Delignifikasi merupakan proses pemutusan ikatan antara lignin dan hemiselulosa dengan selulosa. Selulosa berikatan secara matrik dengan lignin dan hemiselulosa yang disebut dengan lignoselulosa. Lignin dan hemiselulosa akan mengganggu selulosa untuk berikatan dengan ion logam sehingga perlu untuk dihilangkan.

Delignifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan HNO_3 dan NaNO_2 . HNO_3 dan NaNO_2 akan mendegradasi lignin menjadi nitrolignin yang dapat larut dalam basa sekaligus untuk menghilangkan hemiselulosa (Effendi *et al.*, 2018). Warna yang dihasilkan dari proses delignifikasi ini yaitu kuning kecoklatan. Reaksi pembentukan lignin menjadi nitrolignin oleh HNO_3 dan NaNO_2 disajikan dalam gambar 4.1.

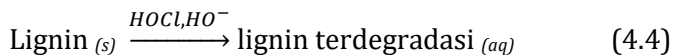
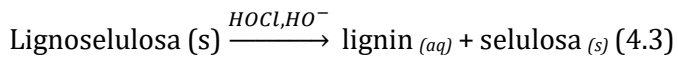
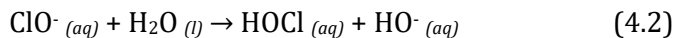
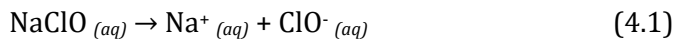


Gambar 4. 2 Mekanisme Pemutusan Ikatan Antara Lignin dan Selulosa (Safrianti *et al.*, 2012)

Mekanisme reaksi pemutusan ikatan lignin dan selulosa menggunakan NaOH ditunjukkan pada gambar 4.2. Struktur lignin pada bagian amorf maupun kristalin dapat dirusak oleh larutan NaOH. Ion OH^- dari NaOH akan memutus ikatan dalam struktur dasar lignin, sedangkan ion Na^+ akan berikatan dengan lignin untuk membentuk natrium fenolat yang mudah larut. Lignin yang terlarut ditandai dengan warna merah kehitaman pada larutan. Selanjutnya, selulosa yang didapat dari proses delignifikasi disaring untuk memisahkan dengan pelarutnya. Selulosa yang didapat berwarna kuning karena masih ada pigmen dan sisa lignin yang masih terikat dalam selulosa (Effendi *et al.*, 2018)

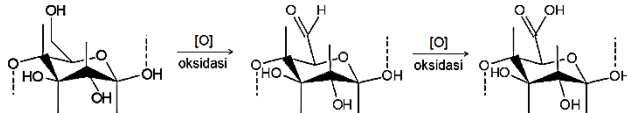
Tahapan selanjutnya adalah *bleaching*. *Bleaching* merupakan proses pemutihan yang

dilakukan untuk mendegradasi sisa. Bahan kimia jenis oksidator seperti natrium hipoklorit dan hidrogen peroksida sering digunakan dalam proses *bleaching*. *Bleaching* dilakukan sebanyak 3 tahap, yaitu menggunakan NaOCl, NaOH, dan H₂O₂. Penambahan NaOCl 1,75% berfungsi untuk mengoksidasi struktur lignin sehingga akan memutuskan ikatan C pada molekul lignin (Harun, 2021). Asam hipoklorit (HOCl), zat pengoksidasi kuat yang dapat merusak ikatan lignoselulosa dan ikatan eter dalam struktur lignin, dihasilkan ketika NaOCl dilarutkan dalam air. Pada proses ini derajat keputihan serat akan meningkat (Pratama *et al.*, 2019). Mekanisme reaksi pada proses *bleaching* sebagai berikut:



Pemutusan lignoselulosa dan reaksi oksidasi lignin menandakan bahwa lignin telah dapat dipisahkan dari serbuk pelepah salak yang diindikasikan dengan terbentuknya material padatan basah berupa bubur berwarna putih. Gugus hidroksil

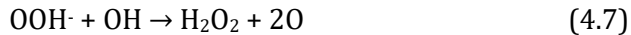
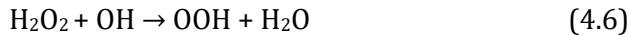
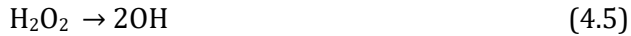
selulosa akan mengalami oksidasi menjadi gugus aldehid, berlanjut menjadi karboksilat dengan keberadaan oksidator ClO^- dan HO^- seperti yang disajikan dalam Gambar 4.3.



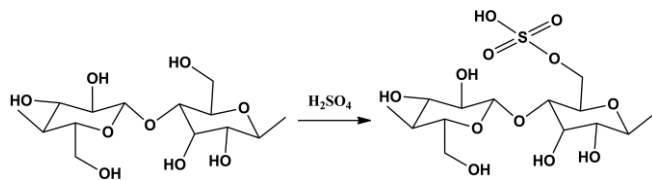
Gambar 4.3 Reaksi Oksidasi Lanjut dari Selulosa dengan oksidator ion hidroksil (Pratama *et al.*, 2019)

Selulosa yang diperoleh ini masih terdiri dari α , β , dan γ -selulosa, maka diperlukan untuk memisahkan α -selulosa dari β dan γ -selulosa. Larutan NaOH 17,5% digunakan untuk pemisahan, yang menyebabkan larutnya β dan γ -selulosa dan pengendapan α -selulosa (Putri & Gea, 2018). Proses ini menghasilkan α -selulosa berwarna putih kekuningan, sehingga perlu dilakukan pemutihan dengan menggunakan H_2O_2 10%. Unit non-fenolik lignin dapat dioksidasi oleh hidrogen peroksida melalui pelepasan satu elektron sehingga terbentuk radikal kation yang akan terurai secara kimiawi, mudah larut dalam air, serta kemampuannya dalam melepaskan oksigen cukup besar. OOH^- hasil penguraian dari H_2O_2 berfungsi untuk menghilangkan

lignin, yang digambarkan pada reaksi berikut (Jayanudin *et al.*, 2010):



Tahap terakhir dari proses ekstraksi nanoselulosa ialah hidrolisis asam. Hidrolisis oleh asam kuat merupakan proses utama dalam pembuatan nanoselulosa. Selulosa terdiri dari area amorf dan area kristal. Proses hidrolisis asam akan melepaskan blok kecil amorf dari rantai selulosa. Area amorf memiliki kepadatan yang rendah dibandingkan dengan area kristal. Pemberian asam kuat akan menyebabkan daerah amorf terurai dan melepaskan daerah kristal. Sifat kristal bergantung pada banyak faktor seperti sumber selulosa, waktu reaksi, suhu, jenis asam yang digunakan dalam hidrolisis. Mekanisme hidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Mekanisme Hidrolisis Asam (Maryam & Rahmad, 2019)

Setelah proses hidrolisis dilakukan, langkah selanjutnya adalah ultrasonikasi. Ultrasonikasi merupakan proses mekanik dalam isolasi nanoselulosa. Ultrasonikasi dilakukan dengan pemberian gelombang ultrasonik pada suatu materi. Getaran gelombang dengan frekuensi tinggi akan menghancurkan selulosa menjadi partikel yang lebih kecil (Maryam & Rahmad, 2019). Delmifiana & Astuti (2013) menyatakan *shocking wave* dari metode ultrasonikasi akan memisahkan partikel yang menggumpal dan menghasilkan ruang antar partikel.

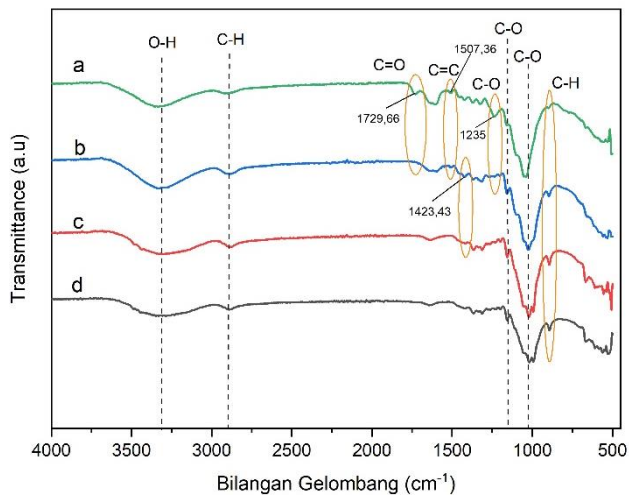
2. Karakterisasi

FTIR

FTIR merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa pada sampel. Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan pada rentang bilangan gelombang 500-4000 cm^{-1} . Hasil karakterisasi menggunakan FTIR berupa spektrum dengan munculnya bilangan gelombang yang menunjukkan gugus fungsi yang terkandung dalam nanoselulosa. Karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan untuk menunjukkan bahwa nanoselulosa telah berhasil terisolasi dari

pelepah pohon salak. Analisis FTIR dilakukan pada setiap tahapan ekstraksi (Rehman *et al.*, 2018).

Analisis spektroskopi FTIR dari serbuk pelepah salak tanpa perlakuan, delignifikasi, bleaching, dan hidrolisis asam diberikan pada Gambar 4.5. Serat tumbuhan terdiri dari tiga bahan utama, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Bahan-bahan ini terdiri dari alkana, ester, aromatik, keton dan alkohol yang mengandung oksigen dengan gugus fungsi berbeda (Chirayil *et al.*, 2014)



Gambar 4. 5 Spektrum FTIR (a) serbuk pelepah pohon salak, (b) setelah delignifikasi, (c) setelah bleaching, (d) setelah hidrolisis asam

Berdasarkan hasil spektrum pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa pelepah pohon salak tanpa perlakuan, setelah delignifikasi, *bleaching*, dan hidrolisis asam mengandung berbagai gugus fungsi yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Perbandingan Hasil Analisis FTIR (a) Serbuk Pelepah pohon salak, (b) setelah delignifikasi, (c) setelah *bleaching*, dan (d) hidrolisis asam

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				Referensi
	a	b	c	d	
C-H	-	896,29	893,68	892,78	896 (Alemdar & Sain, 2008)
C-O	1037,33	1024,14	1020,2	1016,98	1032 (Rehman <i>et al.</i> , 2018)
C-O-C	-	1157,46	1156,71	1156,64	1161 (Rehman <i>et al.</i> , 2018)
C-O	1235,43	1235,49	-	-	1247 (Rosli <i>et al.</i> , 2013)
CH ₂	1324,15	1315,44	1312,91	1312,44	1321 (Rehman <i>et al.</i> , 2018)
<i>bending vibration</i> ikatan C-H dan C-O	1370,57	1367,52	1365,14	1365,52	1360 (Nacos <i>et al.</i> , 2006)
CH ₂ <i>bending</i>	1422,86	1423,43	-	-	1428 (Rehman <i>et al.</i> , 2018)
C=C	1507,36	-	-	-	1503 (Chan <i>et al.</i> , 2013)
C=C	1607,49	-	-	-	1593 (Chan <i>et al.</i> , 2013)

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				Referensi
	a	b	c	d	
O-H	-	-	1632,13	1643,75	1627 (Rosli <i>et al.</i> , 2013)
C=O	1729,66	-	-	-	1734 (Chan <i>et al.</i> , 2013)
C-H	2920,82	2890,50	2888,04	2890,45	2900 (Khalil <i>et al.</i> , 2001)

Berdasarkan spektra FTIR yang didapatkan dari setiap tahapan ekstraksi muncul beberapa puncak yang serupa, hanya terdapat sedikit pergeseran panjang gelombang dan perbedaan pada intensitas puncak. Semua spektrum menunjukkan pita lebar di wilayah 3400 hingga 3300 cm⁻¹, yang menunjukkan vibrasi ulur OH dari gugus hidroksil yang berikatan hidrogen dalam molekul selulosa. Puncak ini menunjukkan bahwa sampel bersifat hidrofilik. Selain itu, semua spektrum menunjukkan karakteristik getaran ulur C-H pada sekitar 2900 cm⁻¹ (Khalil *et al.*, 2001). Munculnya puncak pada 1360 hingga 1375 cm⁻¹ di semua sampel menunjukkan tekukan vibrasi ikatan C-H dan C-O pada cincin aromatik polisakarida (Nacos *et al.*, 2006).

Puncak pada 1729,66 cm⁻¹ menunjukkan serapan dari asetil dan ester grup dari pelepah pohon salak. Puncak ini sudah tidak terdeteksi setelah

perlakuan delignifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa delignifikasi mampu menghilangkan hemiselulosa. Puncak serapan pada $1607,49 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan aromatik simetris dari lignin, sedangkan puncak $1507,36 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan aromatik asimetris dari lignin. Kedua puncak ini hilang setelah perlakuan delignifikasi, menunjukkan bahwa delignifikasi berhasil menghilangkan lignin (Chan *et al.*, 2013).

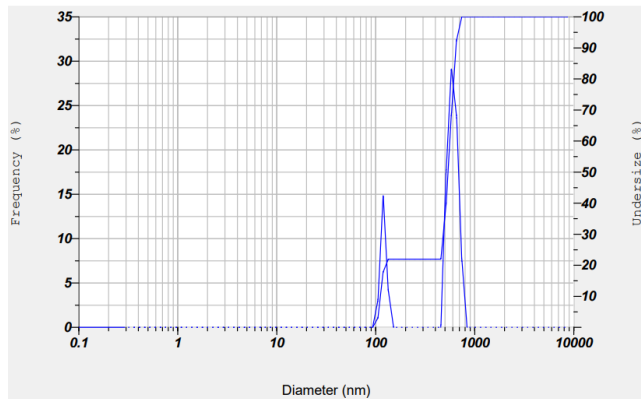
Puncak serapan pada 1235 cm^{-1} yang muncul pada serbuk tanpa perlakuan dan delignifikasi merupakan vibrasi ulur C-O dari gugus aryl yang terdapat pada lignin. Puncak ini menghilang setelah *bleaching*, mengindikasikan bahwa perlakuan *bleaching* telah berhasil mendegradasi lignin (Rosli *et al.*, 2013).

Puncak serapan sekitar $892\text{-}896 \text{ cm}^{-1}$ yang muncul pada tahap delignifikasi dan *bleaching* mengindikasikan deformasi glikosidik -C-H-. Gugus ini merupakan karakteristik dari β -glikosidik yaitu ikatan antar anhidroglukosa dalam selulosa (Alemdar & Sain, 2008). Puncak absorbansi pada panjang gelombang 1632 cm^{-1} untuk *bleaching* dan 1643 cm^{-1}

untuk hidrolisis asam dapat dikaitkan dengan gugus O-H dari air yang terserap (Rosli *et al.*, 2013).

Particle Size Analyzer (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel nanoselulosa dari pelepah pohon salak.

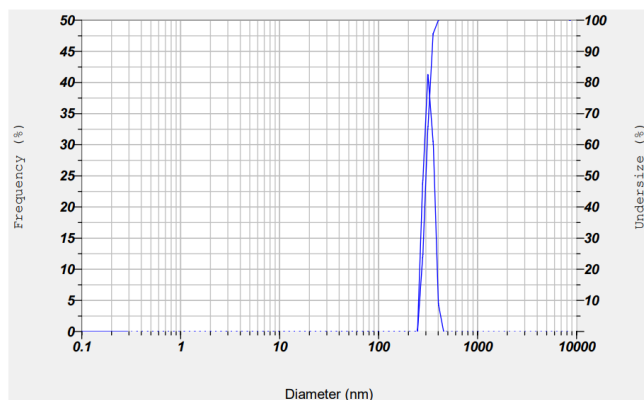


Gambar 4. 6 Distribusi Ukuran Partikel Nanoselulosa Sebelum Perlakuan Ultrasonikasi

Gambar 4.6 menunjukkan distribusi ukuran partikel nanoselulosa sebelum perlakuan ultrasonikasi. Data ukuran partikel suspensi nanoselulosa menunjukkan adanya 2 buah puncak. Dua puncak tersebut menjelaskan bahwa 22% dari volume suspensi nanoselulosa memiliki ukuran partikel rata-rata $\pm 112,7$ nm dan 78% dari suspensi

memiliki ukuran partikel rata-rata $\pm 568,2$ nm. Nanoselulosa yang dihasilkan memiliki ukuran rata-rata $\pm 351,1$ nm. Hasil ini tidak berbeda jauh dengan penelitian Sosiati *et al.*, (2014) yang berhasil memperoleh nanoselulosa dengan panjang 300-600 nm dari serat kenaf menggunakan metode hidrolisis asam.

Hasil uji PSA nanoselulosa setelah perlakuan ultrasonikasi ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Distribusi Ukuran Partikel Nanoselulosa Setelah Perlakuan Ultrasonikasi

Setelah dilakukan ultrasonikasi, ukuran partikel nanoselulosa menjadi seragam. Terlihat dari gambar hanya muncul satu puncak yaitu pada $\pm 250,5$ nm. Menurut Abral *et al.*, (2018), ultrasonikasi terbukti dapat membuat ukuran partikel homogen

dan stabil tanpa adanya aglomerasi. Nanoselulosa setelah perlakuan ultrasonikasi memiliki partikel yang terdistribusi dalam ukuran yang seragam dibandingkan dengan nanoselulosa sebelum dilakukan ultrasonikasi.

B. Modifikasi dan Karakterisasi Nanoselulosa-sistein

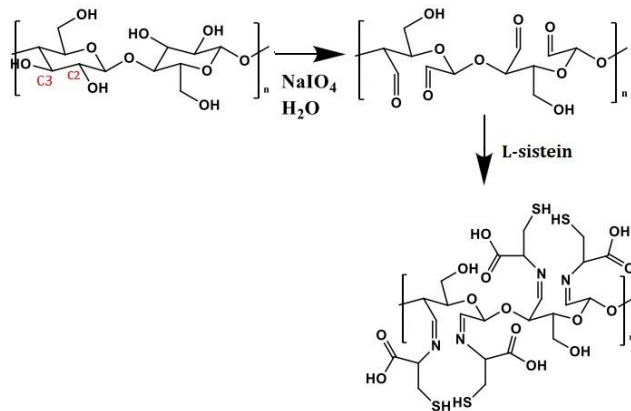
1. Modifikasi

Modifikasi nanoselulosa dengan sistein dilakukan pada variasi rasio massa 1:0; 0,75:0,25; 0,5:0,5; 0,25:0,75; dan 0:1 (nanoselulosa:sistein). Variasi massa dilakukan untuk mengetahui komposisi nanoselulosa-sistein yang menghasilkan kinerja terbaik dalam proses adsorpsi dengan ion logam Cd(II). Tujuan dilakukan modifikasi adalah untuk menambah gugus aktif berupa atom S yang dapat membantu selulosa yang mempunyai gugus aktif OH dalam mengadsorpsi ion logam dalam medium berair.

Proses modifikasi diawali dengan mereaksikan nanoselulosa dan sodium periodat di dalam air selama 24 jam tanpa cahaya pada suhu 40°C. Proses oksidasi oleh sodium periodat ini bertujuan untuk menghasilkan dua aldehid pada posisi C2 dan C3

nanoselulosa, dimana aldehyd ini yang akan mengikat sistein pada proses modifikasi.

Proses modifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan nanoselulosa dan L-sistein di dalam air, kemudian di aduk selama 12 jam pada suhu 40°C. Selanjutnya adsorben dicuci menggunakan akuades hingga netral, lalu dikeringkan menggunakan oven. Reaksi yang terjadi pada proses modifikasi disajikan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Reaksi Sintesis Nanoselulosa-sistein (Chen *et al.*, 2019)

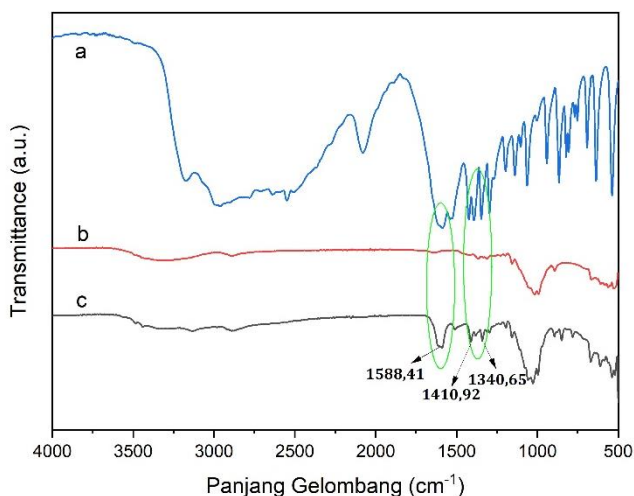
Berdasarkan gambar 4.8 terlihat bahwa ikatan C2-C3 dalam selulosa dioksidasi oleh natrium periodat yang akan menghasilkan dua kelompok aldehida pada posisi C2 dan C3 di permukaan selulosa. Modifikasi nanoselulosa-sistein terjadi

melalui reaksi nukleofilik antara gugus aldehida pada nanoselulosa dan gugus amino pada L-sistein.

2. Karakterisasi

FTIR

Hasil sintesis nanoselulosa pelepah pohon salak salak termodifikasi sistein dikarakterisasi menggunakan instrumen FT-IR dengan tujuan untuk memastikan keberhasilan proses modifikasi dengan cara menganalisis gugus-gugus fungsi di dalamnya.



Gambar 4. 9 Spektrum FT-IR (a) sistein,(b) nanoselulosa, dan (c) nanoselulosa-sistein

Gambar 4.9 merupakan hasil karakterisasi FT-IR untuk sampel sistein, nanoselulosa (NS), dan

nanoselulosa-sistein (NSS). Analisis menggunakan instrumen FT-IR dilakukan terhadap sistein untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat didalamnya, sehingga bisa dijadikan pembandingan ketika menentukan keberhasilan proses modifikasi. Tabel 4.2 menjelaskan perbandingan bilangan gelombang antara sistein, NS dan NSS.

Tabel 4. 2 Interpretasi data hasil FTIR Sistein, Nanoselulosa(NS), Nanoselulosa-sistein(NSS)

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Sistein	NS	NSS	Referensi
Regangan C=O dan pembengkokan N-H	1586,49	-	1588,41	1570 (Marcano & Sabino, 2018)
C-N	1392,67	-	1410,92	1407 (Marcano & Sabino, 2018)
C-N	1346,75	-	1340,65	1324 (Nanaki et al., 2022)

Pada tabel 4.2 dapat terlihat beberapa perbedaan bilangan gelombang pada NS dan NSS, yang menunjukkan bahwa modifikasi mengakibatkan perubahan gugus fungsi berupa pembentukan senyawa baru. Bilangan gelombang 1588,41 cm⁻¹ yang muncul pada sampel NSS merupakan pita khas dari amida berupa kombinasi dari regangan C=O dan pembengkokan N-H. Getaran ikatan C-N terjadi di

bilangan gelombang sekitar $1410,92 \text{ cm}^{-1}$ karena adanya ikatan π parsial antara karbon dan nitrogen untuk resonansi. Puncak pada $1340,65 \text{ cm}^{-1}$ sesuai dengan deformasi aksial ikatan C–N. Menurut Marcano & Sabino (2018), pita yang sesuai dengan getaran regangan S-H bersifat lemah dibandingkan dengan pita untuk O-H dan N-H sehingga biasanya tidak terdeteksi dalam spektrum IR. Munculnya puncak baru pada spektrum IR NSS menunjukkan terbentuknya ikatan antara nanoselulosa dan sistein. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa modifikasi sistein pada nanoselulosa terbukti berhasil.

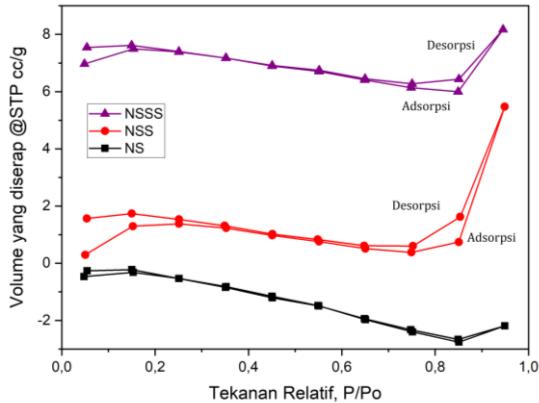
Surface Area Analyzer (SAA)

Karakterisasi menggunakan SAA berfungsi untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori. Analisa dilakukan pada sampel NS (nanoselulosa), NSS (nanoselulosa termodifikasi sistein), dan nanoselulosa-sistein setelah ultrasonikasi (NSSS). Peningkatan luas permukaan dan ukuran pori dapat dilihat pada nanoselulosa setelah dilakukan ultrasonikasi serta modifikasi sistein.

Tabel 4. 3 Hasil karakterisasi SAA

Parameter	Sampel		
	NS	NSS	NSSS
Luas Permukaan (m^2/g)	0	0,283	0,728
Ukuran pori rata-rata (nm)	13,442	9,599	12,816
Volume pori (cc/g)	0,0019	0,0092	0,0038

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa luas permukaan NSS lebih besar dibandingkan dengan NS. Luas permukaan NSS sebesar $0,283 \text{ m}^2/\text{g}$, sedangkan luas permukaan NS adalah 0. Proses modifikasi sistein pada nanoselulosa terbukti dapat meningkatkan luas permukaan. Menurut Ruan (2016), luas permukaan nanoselulosa akan meningkat secara signifikan setelah dimodifikasi dengan sistein. Luas permukaan NSSS lebih luas dibandingkan dengan NS dan NSS. Luas permukaan NSSS sebesar $0,728 \text{ m}^2/\text{g}$, mengalami peningkatan dibandingkan NSS dengan luas permukaan $0,283 \text{ m}^2/\text{g}$. Hasil luas permukaan ini menunjukkan bahwa proses ultrasonikasi dapat meningkatkan luas permukaan nanoselulosa.



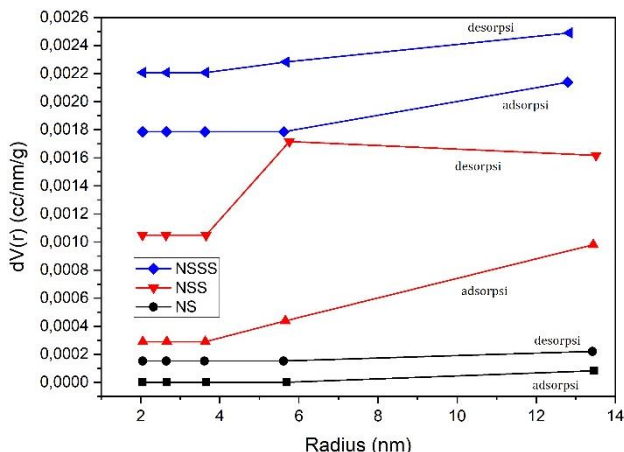
Gambar 4. 10 Grafik Isoterm Adsorpsi-desorpsi N₂ NS, NSS, NSSS

Gambar 4.10 menunjukkan grafik adsorpsi-desorpsi N₂ NS, NSS, dan NSSS. Isoterm adsorpsi-desorpsi untuk gas N₂ dilakukan untuk mengetahui beberapa parameter yang berkaitan dengan struktur pori. Proses analisis material berpori dapat dilakukan menggunakan metode grafik isoterm berdasarkan perbandingan nilai P/Po (mmHg) terhadap volume N₂ per gram sampel (ml/g) (Hakiki *et al.*, 2021). Pola isoterm adsorpsi desorpsi NS, NSS dan NSSS mengikuti isoterm adsorpsi desorpsi tipe IV(a). Pola isoterm tipe IV(a) ini menunjukkan rentang nilai tekanan relatif rendah sampai menengah. Volume terbesar adsorbat dihitung dari kondensasi kapiler yang telah sempurna mengisi pori. Tipe IV(a)

merupakan kurva isoterm khas untuk padatan mesopori dengan ukuran pori lebih dari 4 nm.

Hysteresis loop atau percabangan dapat digunakan untuk melihat sifat khas material mesopori. Grafik isoterm N₂ yang disajikan pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa NSS dan NSSS memiliki sifat khas material mesopori karena terdapat loop histerisis pada tekanan relatif (P/P_0) sekitar 0,6–1 yang menunjukkan terjadinya pengisian mesopori. *Hysteresis loop* terjadi ketika tekanan untuk desorpsi gas nitrogen diturunkan yang menyebabkan adanya perbedaan jumlah gas yang terdesorpsi dengan yang teradsorpsi di awal. Loop histerisis disebabkan oleh fenomena kondensasi di dalam mesopori (Hakiki *et al.*, 2021).

Ukuran pori (mesopori) yang dimiliki oleh NSS dan NSSS juga dapat dikonfirmasi menggunakan metode BJH (Barret, Joiner, Halenda) adsorpsi dan desorpsi. Grafik distribusi pori diperoleh dari hubungan perubahan volume pori per gram sampel (cc/cm³/g) dengan radius pori (nm) yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Grafik Distribusi Pori dengan Metode BJH Adsorpsi-desorpsi

Berdasarkan gambar 4.11, NS dan NSS memiliki ukuran mesopori dengan sebaran pori sekitar 5-13 nm. Menurut klasifikasi IUPAC, padatan mesopori memiliki ukuran 2-50 nm. Berdasarkan hasil analisis Isoterm adsorpsi-desorpsi N_2 dan distribusi pori dengan metode BJH maka dapat dinyatakan bahwa NS, NSS, dan NSSS merupakan padatan mesopori.

C. Adsorpsi

Uji adsorpsi dilakukan nanoselulosa, Nanoselulosa termodifikasi sistein, dan sistein. Sampel yang memiliki kinerja adsorpsi ion logam Cd(II) paling baik selanjutnya

diuji lebih lanjut untuk menentukan kondisi pH optimum, massa optimum, waktu kontak optimum, dan konsentrasi optimum. Tabel 4.4 menunjukkan hasil uji adsorpsi yang dilakukan pada sampel NS, NS-S 25, NS-S 50, NS-S 75, dan sistein.

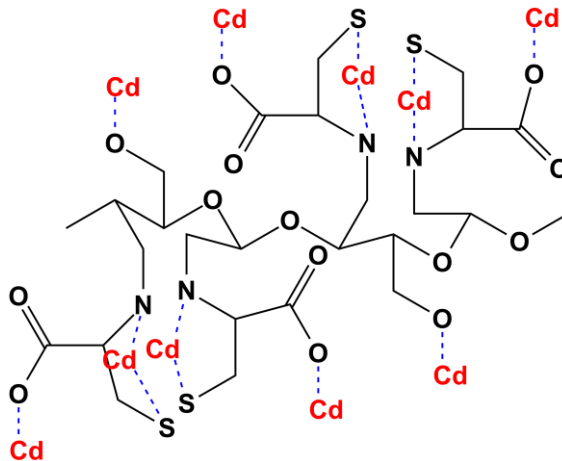
Tabel 4. 4 Hasil Uji Adsorpsi

No	Sampel	Qe (mg/g)
1	NS	1,369
2	NS-S 25	1,446
3	NS-S 50	1,472
4	NS-S 75	1,986
5	Sistein	3,984

Berdasarkan tabel 4.4 hasil uji adsorpsi awal yang dilakukan pada sampel NS, NS-S 25, NS-S 50, NS-S 75, dan Sistein dapat dilihat bahwa kemampuan adsorpsi paling baik dimiliki oleh sistein dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,984 mg/g. Sistein dapat larut dalam air dengan suhu $>50^{\circ}\text{C}$. Sistein juga dapat larut dalam larutan dengan pH <2 dan >7 . Berdasarkan sifat kelarutan sistein tersebut, maka sistein kurang tepat apabila digunakan sebagai adsorben. Untuk itu perlu adanya molekul untuk mengikat sistein agar tidak larut dalam air.

Berdasarkan tabel 4.4 dapat terlihat bahwa semakin banyaknya massa sistein yang digunakan dalam proses modifikasi nanoselulosa, maka semakin tinggi kapasitas

adsorpsinya dalam menyerap ion logam Cd(II). NS-S 75 menghasilkan kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) yang tinggi, yaitu 1,986 mg/g. NS-S 75 dipilih sebagai komposisi paling baik yang selanjutnya digunakan pada tahap optimasi pH, massa, waktu kontak, dan konsentrasi. Reaksi antara adsorben dengan ion logam Cd(II) ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Interaksi Antara Nanoselulosa Termodifikasi Sistein dengan Ion Logam Cd(II) (Li *et al.*, 2019)

1. Penentuan pH Optimum

pH merupakan salah satu parameter penting untuk mengetahui kemampuan suatu adsorben dalam proses penyerapan ion logam. pH mempengaruhi kelarutan ion logam dalam air serta

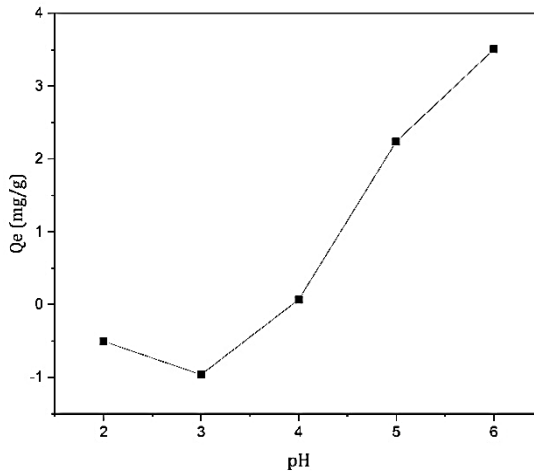
gugus aktif adsorben dalam pengikatan ion logam (Khajavian *et al.*, 2019). Optimasi pH perlu dilakukan untuk menentukan nilai pH yang memberikan kapasitas adsorpsi maksimum dan mengetahui pengaruh pH dalam penyerapan ion logam Cd(II) oleh adsorben. Hasil data optimasi pH ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Data Adsorpsi Optimasi pH

pH	Qe (mg/g)
2	-0,506
3	-0,964
4	0,067
5	2,239
6	3,503

Uji adsorpsi dilakukan pada rentang variasi pH 2-6. Variasi pH ini dipilih sesuai dengan spesiasi ion logam Cd(II) dalam larutan, dimana pada pH 1-7 kadmium dalam air berbentuk ion logam Cd(II). pH diatur menggunakan HNO₃ untuk menurunkan pH dan NaOH untuk menaikkan pH. Uji adsorpsi dilakukan dengan massa adsorben 0,2 g, volume ion logam Cd(II) 25 mL, dan konsentrasi larutan logam Cd(II) 20 ppm selama 60 menit. Data hasil optimasi pH disajikan dalam Tabel 4.5 yang menunjukkan pH

optimum terjadi pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,503 mg/g.



Gambar 4. 13 Grafik Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Data optimasi yang disajikan dalam Tabel 4.5 dapat dibuat grafik pengaruh variasi pH terhadap kapasitas adsorpsi ditampilkan dalam Gambar 4.13. Berdasarkan Gambar menunjukkan bahwa pada pH 2 dan 3 tidak ada ion logam Cd(II) yang terserap. Pada pH rendah, kation logam dan proton bersaing untuk mendapatkan tempat pengikatan, sehingga sulit terjadi adsorpsi. Pada pH rendah permukaan adsorben bermuatan positif sehingga tidak mendukung adsorpsi dengan kation logam

bermuatan positif karena adanya tolakan elektrostatik (Khajavian *et al.*, 2019). Saef *et al.*, (2022) juga menjelaskan bahwa pada pH rendah keberadaan H^+ berlebih, sehingga pada kondisi ini memungkinkan terjadinya kompetisi antara ion H^+ dengan ion $Cd(II)$ memperebutkan situs aktif pada adsorben. Keberadaan H^+ berlebih inilah yang terikat oleh nanoselulosa menggantikan ion logam $Cd(II)$, akibatnya ion logam $Cd(II)$ tidak terserap.

Pada rentang pH 4-6 terjadi peningkatan jumlah ion logam $Cd(II)$ yang terserap hingga mencapai kondisi optimum pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,503 mg/g. Sebaliknya, pada nilai pH yang lebih tinggi, karboksilat lebih terionisasi kelompok yang tersedia, sehingga meningkatkan interaksi antara kelompok karboksilat dan ion logam yang menyebabkan peningkatan adsorpsi ion logam $Cd(II)$ (Zhou *et al.*, 2012). Peningkatan pH juga akan meningkatkan jumlah situs aktif yang bermuatan negatif yang akan menarik lebih banyak muatan positif ion logam untuk mengikat (Khajavian *et al.*, 2019).

Adsorpsi tidak dilakukan pada pH lebih dari 6 karena pada pH 7 sudah terbentuk endapan putih

pada larutan logam Cd. Pada pH 7-14, kadmium muncul dalam bentuk $\text{Cd}(\text{OH})_2$ yang berupa endapan berwarna putih. Adanya endapan putih tidak memungkinkan proses adsorpsi terjadi (Krismastuti *et al.*, 2016).

2. Penentuan Massa Optimum

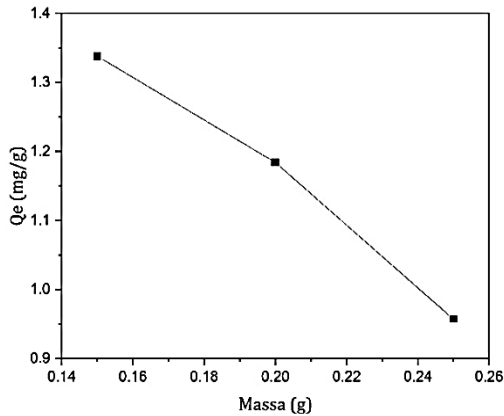
Optimasi massa adsorben dilakukan untuk mengetahui massa optimum dari NS-S 75 dalam penyerapan ion logam Cd(II). Tujuan lainnya yaitu untuk mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap kapasitas adsorpsi. Variasi massa yang dilakukan pada penelitian ini yaitu 0,15 g; 0,2 g; dan 0,25 g. Data hasil optimasi massa ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Data Adsorpsi Optimasi Massa

Massa (g)	Qe (mg/g)
0,15	1,338
0,2	1,184
0,25	0,957

Berdasarkan tabel 4.6 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya massa akan meningkatkan efisiensi penyerapan ion logam Cd(II). Peningkatan massa adsorben akan menyediakan lebih banyak permukaan sebagai situs adsorpsi. Hasil ini sesuai

dengan penelitian Saef *et al.*, (2022) yang melakukan adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan selulosa limbah sabut kelapa.



Gambar 4. 14 Grafik Pengaruh Massa Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Gambar 4.14 menunjukkan pengaruh massa terhadap kapasitas adsorpsi. Kondisi optimum didapatkan menggunakan massa 0,15 g dengan kapasitas adsorpsi 1,338 mg/g. Kapasitas adsorpsi semakin menurun dengan bertambahnya massa adsorben. Hasil ini sesuai dengan penelitian N. C. Wulandari *et al.*, (2023) yang melakukan adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan biosorben kulit batang kayu jawa. Ion logam Cd(II) terjerap ke permukaan adsorben kemungkinan disebabkan karena adanya gaya Van Der Waals sehingga interaksi elektrostatis

terjadi ketika ion logam Cd(II) berdekatan dengan sisi aktif adsorben. Ion logam Cd(II) hanya ditahan sesaat karena pada interaksi tersebut terjadi ikatan semu antara -OH dengan ion logam Cd(II). Desorpsi terjadi yang ditunjukkan dengan dengan menurunnya kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) pada massa 0,2 gram.

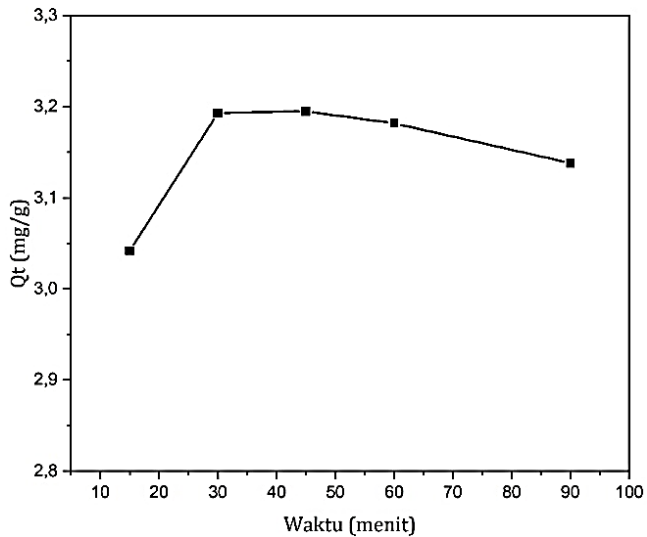
3. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Optimasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui waktu yang tepat untuk menghasilkan kapasitas adsorpsi optimal penyerapan ion logam Cd(II) oleh NSS-75. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi juga dapat diketahui dari pengujian ini. Variasi waktu kontak yang digunakan pada penelitian ini adalah 15, 30, 45, 60, dan 90 menit. Proses adsorpsi pada masing-masing variasi waktu kontak tersebut dilakukan dalam larutan Cd(II) 20 mg/L sebanyak 25 mL dengan pH larutan 6 dan massa adsorben 0,15 gram.

Tabel 4. 7 Hasil Data Adsorpsi Optimasi Waktu Kontak

No	Waktu (menit)	Qe (mg/g)
1	15	3,042
2	30	3,193
3	45	3,195
4	60	3,182
5	90	3,138

Tabel 4.7 menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi. Berdasarkan tabel 4.7 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu kontak antara ion logam Cd(II) dengan nanoselulosa termodifikasi sistein maka jumlah ion logam Cd(II) yang teradsorpsi akan semakin banyak. Semakin lama waktu kontak artinya waktu interaksi antara adsorben dengan ion logam juga semakin lama sehingga gugus aktif pada nanoselulosa termodifikasi sistein yang berikatan dengan ion logam Cd(II) juga akan semakin banyak (Adriansyah *et al.*, 2018). Kondisi optimum terjadi pada waktu kontak 45 menit dengan kapasitas adsorpsi 3,195 mg/g.

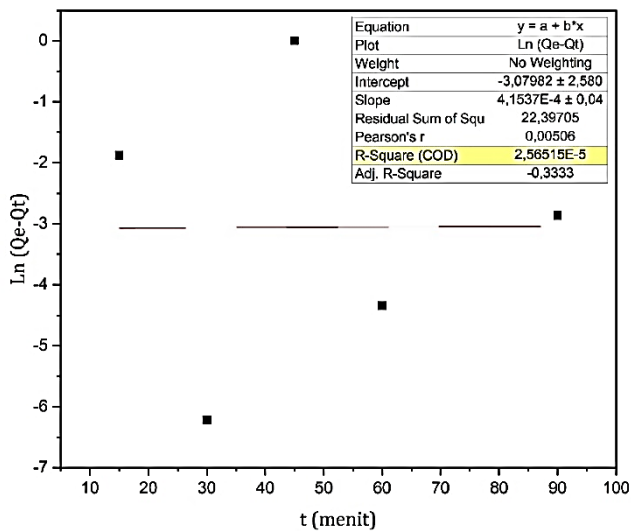


Gambar 4. 15 Grafik Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi

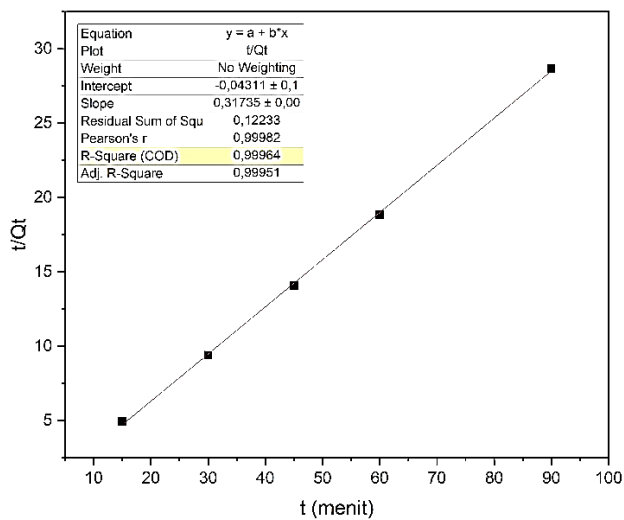
Gambar 4.15 menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi. Penurunan adsorpsi ion logam Cd(II) terlihat pada waktu 60 menit. Penurunan kapasitas adsorpsi ini menunjukkan bahwa sisi aktif dari permukaan adsorben sudah jenuh dan tidak dapat lagi menyerap adsorbat sehingga menyebabkan tercapainya batas maksimum proses adsorpsi. Penurunan kapasitas adsorpsi setelah waktu optimum juga dapat dikarenakan oleh proses desorpsi sehingga menyebabkan terjadinya proses adsorpsi secara reversibel (Effendi *et al.*, 2018). Kemungkinan

penyebab penurunan jumlah ion logam yang terserap setelah waktu kontak optimum adalah ikatan antara adsorben dengan ion logam tidak stabil yang menyebabkan terlepasnya sebagian kecil partikel logam Cd(II) (Kristiyani *et al.*, 2012).

Model kinetika reaksi dapat ditentukan menggunakan data kapasitas adsorpsi pada beberapa variasi waktu kontak. Tujuan dari penentuan kinetika adsorpsi adalah untuk mengetahui laju penyerapan oleh nanoselulosa termodifikasi sistein terhadap ion logam Cd(II) yang dipengaruhi oleh waktu. Kinetika adsorpsi ditentukan menggunakan model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Pemilihan model kinetika adsorpsi terbaik diperoleh dengan melihat koefisien determinasi (R^2) tertinggi yang mendekati 1. Gambar 4.16 dan 4.17 merupakan bentuk grafik model kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua dari hasil perhitungan kinetika adsorpsi Tabel L.9 dan Tabel L.10.



Gambar 4. 16 Kinetika Adsorpsi *Pseudo Orde Satu*



Gambar 4. 17 Kinetika Reaksi *Pseudo Orde Dua*

Grafik model kinetika adsorpsi pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 dapat dihitung nilai Q_e dan nilai K yang diperoleh melalui persamaan regresi linier berdasarkan grafik model kinetika adsorpsi yang digunakan. Perhitungan nilai Q_e dan nilai K dapat dilihat pada Lampiran 3(4).

Tabel 4. 8 Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cd(II) dengan Nanoselulosa Termodifikasi Sistein

<i>Pseudo</i> Orde 1			<i>Pseudo</i> Orde 2		
Q_e (mg/g)	K_1 (min^{-1})	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (min^{-1})	R^2
0,00083	0,00095	2,56515E	3,15109	-	0,9996
2	7	-05	5	2,3361 4	4

Tabel 4.8 menggambarkan parameter kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua yang didasarkan pada grafik Gambar 4.16 dan 4.17. Berdasarkan tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa model kinetika adsorpsi yang paling cocok untuk adsorpsi ion logam Cd(II) oleh nanoselulosa termodifikasi sistein adalah kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua. Kinetika reaksi *pseudo* orde dua memberikan nilai R^2 yang lebih baik dibandingkan dengan *pseudo* orde pertama yaitu sebesar 0,99964. Kinetika reaksi *pseudo* orde dua mengasumsikan

bahwa adsorpsi yang terjadi antara nanoselulosa termodifikasi sistein dengan Cd(II) adalah adsorpsi kimia, artinya terjadi molekul adsorbat membentuk ikatan kimia dengan permukaan adsorben.

Berdasarkan gambar 4.17 dapat dijelaskan bahwa terdapat hubungan antara variabel t/Q_t dengan waktu, yaitu nilai t/Q_t akan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu kontak antara adsorben dan adsorbat. Data yang terdapat pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa konstanta laju adsorpsi ion logam Cd(II) adalah 2,33614 /menit, artinya bahwa dalam satu menit dengan menggunakan 1 mg adsorben maka dapat diadsorpsi sebesar 2,33614 mg adsorbat. Konstanta laju adsorpsi yang semakin tinggi artinya semakin cepat pula kemampuan adsorben untuk mengadsorpsi adsorbat (Taihuttu *et al.*, 2019).

4. Penentuan Konsentrasi Optimum

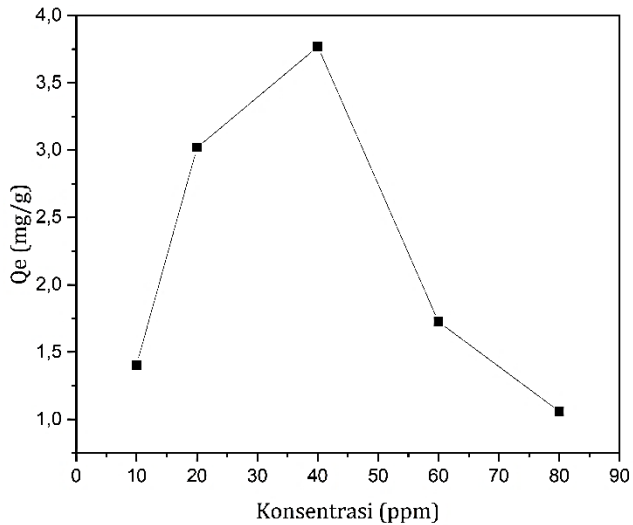
Optimasi konsentrasi larutan dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum penyerapan ion logam Cd(II) oleh NSS-75. Pengujian ini juga dilakukan untuk memastikan bagaimana konsentrasi awal larutan mempengaruhi kemampuan NSS-75

untuk menyerap ion logam Cd(II). 10, 20, 40, 60, dan 80 ppm adalah variasi konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini. Larutan ion logam Cd(II) 25 mL dengan pH 6 dan massa adsorben 0,15 gram digunakan untuk melakukan proses adsorpsi pada setiap variasi konsentrasi larutan selama 45 menit.

Penelitian ini menghasilkan data kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) oleh NSS-75 seperti yang tertera pada Tabel 4.9. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap kapasitas adsorpsi disajikan dalam Gambar 4.17.

Tabel 4. 9 Hasil Data Adsorpsi Optimasi Konsentrasi

<u>Konsentrasi (ppm)</u>	<u>Qe (mg/g)</u>
10	1,402
20	3,020
40	3,768
60	1,725
80	1,060



Gambar 4. 18 Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi

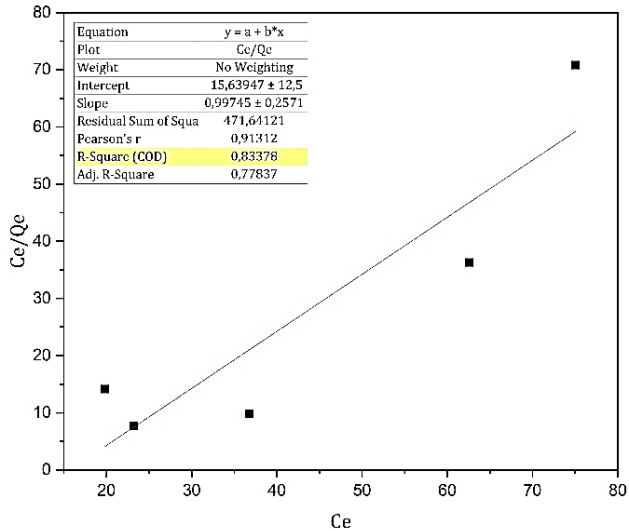
Berdasarkan Gambar 4.18 kondisi optimum dihasilkan ketika konsentrasi larutan ion logam Cd(II) 40 ppm dengan Q_e sebesar 3,768 mg/g. Jumlah sisi aktif pada permukaan adsorben berkaitan dengan konsentrasi ion logam. Ketika jumlah ion logam lebih sedikit dibandingkan sisi aktif pada adsorben, maka kapasitas adsorpsi akan tinggi, kemudian mencapai kondisi optimum saat jumlah sisi aktif sama dengan jumlah ion logam. Kemampuan adsorpsi menurun pada konsentrasi lebih besar dari 40 ppm, diduga karena adsorben mengalami titik jenuh untuk menyerap ion logam Cd(II). Adsorben tidak dapat

menyerap ion logam Cd(II) lagi karena serat pada permukaan adsorben telah tertutup oleh ion logam yang telah terserap sebelumnya (Saef *et al.*, 2022). Hal ini sesuai dengan penelitian Apriliani (2010) tentang adsorpsi multilogam, yang menemukan bahwa setelah konsentrasi optimal tercapai, penambahan konsentrasi dapat menurunkan kemampuan adsorpsi.

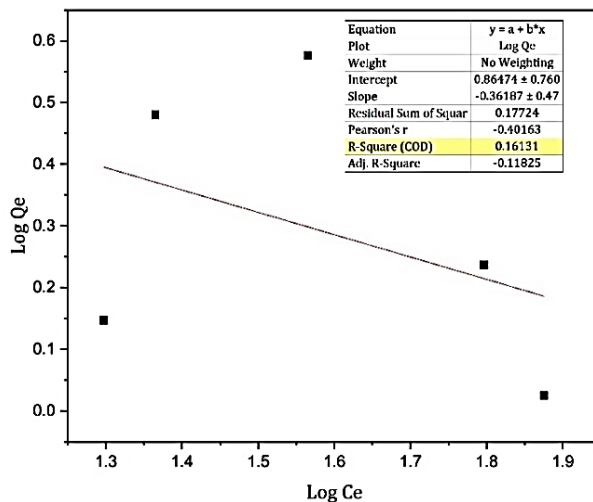
Model isoterm adsorpsi digunakan untuk menjelaskan distribusi molekul yang terjadi antara adsorbat dengan permukaan adsorben pada saat mencapai waktu kesetimbangannya. Selain itu, model isoterm adsorpsi dapat menjelaskan mekanisme interaksi antara adsorben dan adsorbat dengan mempertimbangkan data kesetimbangan dan sifat adsorpsi (Al-Ghouthi & Da'ana, 2020).

Harga intersep dan kemiringan dapat digunakan untuk menghitung konstanta Langmuir dan kapasitas adsorpsi maksimum. Gambar 4.19 menampilkan kurva isoterm adsorpsi Langmuir. Grafik dengan harga $\log Q_e$ sebagai sumbu y dan $\log c$ sebagai sumbu x digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi menggunakan persamaan isoterm

adsorpsi Freundlich, menghasilkan persamaan regresi yang ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 19 Isoterm Adsorpsi Langmuir



Gambar 4. 20 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi ion logam Cd(II) oleh nanoselulosa termodifikasi sistein ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Isoterm Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Nanoselulosa Termodifikasi Sistein

Langmuir			Freundlich		
Qe (mg/g)	Kl (L/mg)	R ²	1/n	Kf (mg/g) (L/mg) ⁿ	R ²
0,06394	15,6796	0,83378	-0,3619	7,32386	0,16131

Dari tabel 4.10 dapat dilihat bahwa harga koefisien determinasi isoterm freundlich sangat rendah yaitu sebesar 0,16131, sehingga persamaan Freundlich tidak tepat diterapkan pada proses adsorpsi ion logam Cd(II) oleh NSS. Peninjauan dari nilai R² untuk isoterm langmuir yaitu sebesar 0,83378, maka adsorpsi pada nanoselulosa termodifikasi sistein cenderung mengikuti pola isoterm Langmuir.

Menurut isoterm Langmuir, proses adsorpsi berlangsung secara kimia. Asumsi dalam isoterm Langmuir yaitu bahwa setiap gugus aktif adsorben hanya akan menyerap satu molekul adsorbat, sehingga adsorpsi terbatas pada lapisan tunggal (monolayer). Artinya ketika satu lapisan telah

terbentuk di dalam adsorben maka proses adsorpsi selanjutnya tidak dapat berlangsung (Amri *et al.*, 2004).

Berdasarkan tabel 4.10 didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorpsi ion logam Cd(II) oleh nanoselulosa termodifikasi sistein yaitu sebesar 0,06394 mg/g. Konstanta laju adsorpsi ditentukan berdasarkan isotherm adsorpsi, didapatkan harga konstanta laju adsorpsi (Kl) sebesar 15,6796 L/mg. Nilai n menunjukkan derajat nonlinearitas antara konsentrasi larutan dan adsorpsi. Nilai $1/n < 1$ menunjukkan bahwa proses adsorpsi merupakan proses kemisorpsi (Özcan, 2005).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik nanoselulosa pelepah pohon salak termodifikasi sistein berdasarkan pengujian instrumen FTIR menghasilkan pita serapan baru setelah proses modifikasi yaitu C=O, C-N, dan N-H yang mengkonfirmasi interaksi antara gugus fungsional nanoselulosa dan gugus sistein. Nanoselulosa hasil sintesis memiliki ukuran $\pm 250,5$ nm. Luas permukaan sebesar $0,283 \text{ m}^2/\text{g}$. isotherm adsorpsi-desorpsi N_2 pada NSS mengikuti tipe IV(a) yang menyatakan jenis adsorpsi pada permukaan mesopori dalam bentuk tipe H4.
2. Kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) oleh nanoselulosa sebesar $1,369 \text{ mg/g}$ dan nanoselulosa termodifikasi sistein sebesar $3,768 \text{ mg/g}$ pada pH 6 dengan massa adsorben $0,15 \text{ g}$, konsentrasi larutan 40 ppm , dan waktu kontak 45 menit.
3. Adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan nanoselulosa dari pelepah pohon salak termodifikasi sistein mengikuti kinetika reaksi *pseudo* orde dua dan isotherm adsorpsi Langmuir.

B. Saran

Perlu dilakukan proses ultrasonikasi yang lebih lama untuk mendapatkan nanoselulosa dengan ukuran yang lebih kecil (<100 nm).

DAFTAR PUSTAKA

- Abral, H., Putra, G. J., Asrofi, M., Park, J. W., & Kim, H. J. (2018). Effect of vibration duration of high ultrasound applied to bio-composite while gelatinized on its properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, *40*, 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.08.019>
- Adriansyah, R., Novta Restiasih, E., Meileza, N., & Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP, P. (2018). Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dan Cr(VI) Menggunakan Biosorben Kulit kopi Terxanthasi. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, *2*(2), 114–121.
- Agustina, T. (2014). Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan. *Teknobuga*, *1*(1), 53–65. <https://doi.org/10.1529/jtbb.v1i1.6405>
- Al-Ghouthi, M. A., & Da'ana, D. A. (2020). Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Journal of Hazardous Materials*, *393*(122383), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122383>
- Alemdar, A., & Sain, M. (2008). Biocomposites from wheat straw nanofibers: Morphology, thermal and mechanical properties. *Composites Science and Technology*, *68*(2), 557–565. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.05.044>
- Amri, A., Supranto, & Fahrurozi, M. (2004). Keketimbangan

- Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd (II) dan Cr (III) dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-merkaptobenzotiazol. *Jurnal Natur Indonesia*, 6(2), 111-117.
- Apriliani, A. (2010). Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. In *Skripsi*.
- Aziz, T., Farid, A., Haq, F., Kiran, M., Ullah, A., Zhang, K., Li, C., Ghazanfar, S., Sun, H., Ullah, R., Ali, A., Muzammal, M., Shah, M., Akhtar, N., Selim, S., Hagagy, N., Samy, M., & Al Jaouni, S. K. (2022). A Review on the Modification of Cellulose and Its Applications. *Polymers*, 14(15), 1-34. <https://doi.org/10.3390/polym14153206>
- Botahala, L. (2019). *Perbandingan Efektivitas Daya Adsorpsi Sekam Padi dan Cangkan Kemiri Terhadap Logam Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali*. Deepublish.
- Chan, C. H., Chia, C. H., Zakaria, S., Ahmad, I., & Dufresne, A. (2013). Production and characterisation of cellulose and nano- crystalline cellulose from kenaf core wood. *BioResources*, 8(1), 785-794. <https://doi.org/10.15376/biores.8.1.785-794>
- Chen, H. (2014). *Chemical Composition and Structure of Natural Lignocellulose*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6898-7>

- Chen, H., Sharma, S. K., Sharma, P. R., Yeh, H., Johnson, K., & Hsiao, B. S. (2019). Arsenic(III) Removal by Nanostructured Dialdehyde Cellulose-Cysteine Microscale and Nanoscale Fibers. *ACS Omega*, 4(26), 22008–22020. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03078>
- Chirayil, C. J., Joy, J., Mathew, L., Mozetic, M., Koetz, J., & Thomas, S. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from *Helicteres isora* plant. *Industrial Crops and Products*, 59, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.020>
- Cigil, A. B., Urucu, O. A., Birtane, H., & Kahraman, M. V. (2021). Cellulose/cysteine based thiol-ene UV cured adsorbent: removal of silver (I) ions from aqueous solution. *Cellulose*, 28(10), 6439–6448. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03932-5>
- Delmifiana, B., & Astuti. (2013). Pengaruh Sonikasi Terhadap Struktur Dan Morfologi Nanopartikel Magnetik Yang Disintesis Dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 2(3), 4.
- Desianna, I., Cintia, A., Putri, I., & Yulianti, S. (2017). Selulosa Kulit Jagung sebagai Adsorben Logam Cromium (Cr) pada Limbah Cair Batik. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 19–24. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/upj>

- Donohue, M. D., & Aranovich, G. L. (1998). Adsorption hysteresis in porous solids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 205(1), 121–130. <https://doi.org/10.1006/jcis.1998.5639>
- Dwistika, R. (2018). Karakteristik Nanopartikel Perak Hasil Produksi Dengan Teknik Elektrolisis Berdasarkan Uji Spektrofotometer UV-VIS Dan Particle Size Analyzer (PSA). In *Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Effendi, F., Elvia, R., & Amir, H. (2018). Preparasi Dan Karakterisasi Mikrokristalin Selulosa (Mcc) Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks). *Alotrop*, 2(1), 52–57. <https://doi.org/10.33369/atp.v2i1.4672>
- Fernandes, E. M., Pires, R. A. P., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2013). Bionanocomposites from lignocellulosic resources: Properties, applications and future trends for their use in the biomedical field. *Progress in Polymer Science*, 38, 1415–1441.
- Fitriana, L., Hidayah, M., & Astuti, W. (2018). Sintesis Nanoselulosa dari Batang Bambu menggunakan Hidrolisis Asam dan Gelombang Ultrasonik sebagai adsorben Logam Kadmium(II) dalam Limbah Industri Elektroplating. *Sntk-Ecosmart, Ii*, 212–219.
- Hafiyah. (2013). Kinetics Adsorption Dyes of Rhodamin B Using Activated Carbon Rice Bran (*Oryza Sativa L.*) This.

In *UIN Alauddin Makassar*.

- Hajar, E. W. I., Sitorus, R. S., Mulianingtiyas, N., & Welan, F. J. (2018). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ Dan Cd²⁺ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.20527/k.v5i1.4771>
- Hakiki, M., Makiyi, M., Nuryoto, Rahmayetty, Kustiningsih, I., & Kurniawan, T. (2021). The Effect of Mine Locations of Bayah Natural Zeolites on Ammonium Adsorption: A Kinetic and Equilibrium Study. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 18–28.
- Harahap, M. F., Lubis, R. A., Syawaluddin, Silitonga, Y. W., & Harahap, I. S. (2020). The Quality of Salacca Tree Midrib Latex Flour as a Thickening Agent. *Journal of Physics: Conference Series*, 1477(7). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/7/072008>
- Harun, R. (2021). Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) Dari Selulosa Pelepeh Salak (*Salacca zalacca*) Sebagai Flokulan. *Skripsi*.
- Ikhsan, J., LFX, E. W., & Sunarto. (2014). Pengaruh Mordan Sintesis dari Limbah Kaleng terhadap Daya Ikat dan Laju Lepas Zat Warna Azo oleh Serat Kain. *Jurnal Penelitian Sainstek*, 19(1), 59–74.
- Indirawati, S. M. (2017). Pencemaran Pb dan Cd dan Keluhan Kesehatan pada Masyarakat di Kawasan Pesisir Belawan.

Jurnal Jumantik, 2(2), 54–60.

- Ismuyanto, B., Saptati, D., & Juliananda. (2017). *Teknik Pengolahan Limbah Padat*. Universitas Brawijaya Press.
- Istarani, F., & Pandebesie, E. S. (2014). Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 1–6.
- Jayanudin, Hartono, R., & Jamil, N. H. (2010). Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Pemutihan Serat Daun Nanas Menggunakan Hidrogen Peroksida. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses 2010*, A(20), 1–6.
- Kalashnikova, I., Bizot, H., Cathala, B., & Capron, I. (2011). New pickering emulsions stabilized by bacterial cellulose nanocrystals. *Langmuir*, 27(12), 7471–7479. <https://doi.org/10.1021/la200971f>
- Karamah, E. F., & Sari, A. N. (2010). *Pengolahan Limbah Campuran Logam Fe , Cu , Ni dan Amonia Menggunakan Metode Flotasi-Filtrasi dengan Zeolit Alam Lampung Sebagai Bahan Pengikat*. 1–5.
- Khajavian, M., Wood, D. A., Hallajani, A., & Majidian, N. (2019). Simultaneous biosorption of nickel and cadmium by the brown algae *Cystoseria indica* characterized by isotherm and kinetic models. *Applied Biological Chemistry*, 62(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0477-6>
- Khalil, H. P. S. A., Ismail, H., Rozman, H. D., & Ahmad, M. N.

- (2001). Effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *European Polymer Journal*, 37(5), 1037–1045.
[https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(00\)00199-3](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(00)00199-3)
- Khoo, R. Z., Chow, W. S., & Ismail, H. (2018). Sugarcane bagasse fiber and its cellulose nanocrystals for polymer reinforcement and heavy metal adsorbent: a review. *Springer*, 25(8), 4303–4330.
<https://doi.org/10.1007/s10570-018-1879-z>
- Krismastuti, F., Budiman, H., & Setiawan, A. (2016). Adsorpsi Ion Logam Cadmium dengan Silika Modifikasi. *Jurnal ChemicalL*, 1–7.
- Kristiyani, D., Susatyo, E. B., & Prasetya, A. T. (2012). Pemanfaatan Zeolit Abu Sekam padi untuk Menurunkan Kadar Ion Pb²⁺ pada Air Sumur. *Indonesian Journal of Chemical Science* ., 1(1), 13–19.
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Kumari, A., Kaur, J., & Bhattacharyya, S. (2018). Application of Fourier Transform-Infrared Spectroscopy as a Tool for Early Cancer Detection. *American Journal of Biomedical Sciences*, 10(3), 139–148.
<https://doi.org/10.5099/aj180300139>
- Kunti Panca, S. (2009). Kemampuan Adsorpsi Batu Pasir Yang Dilapisi Besi Oksida (Fe₂O₃) Untuk Menurunkan Kadar

- Pb Dalam Larutan. *Jurnal Bumi Lestari*, 9(2), 254–262.
- Kusumaningrum, D. I. P., Sudarni, D. H. A., & Wahyuningsih, S. (2022). Optimasi Pengaruh Waktu Kontak dan Dosis Adsorben Limbah Daun Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi*) dengan Metode Isoterm Adsorpsi Langmuir Optimization of the Effect of Contact Time and Adsorbent Dosage of Eucalyptus (*Melaleuca cajuputi*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 72–79. <https://talenta.usu.ac.id/jtk>
- Kusumawardani, R., Anita Zaharah, T., & Destiarti, L. (2018). Adsorpsi Kadmium (II) Menggunakan Adsorben Selulosa Ampas Tebu Teraktivasi Asam Nitrat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 75–83.
- Kusumawardani, R., Zaharah, T. A., & Destiarti, L. (2018). Adsorpsi kadmium(II) menggunakan adsorben selulosa ampas tebu teraktivasi asam nitrat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(3), 75–83.
- Li, W., Ju, B., & Zhang, S. (2019). A green l-cysteine modified cellulose nanocrystals biosorbent for adsorption of mercury ions from aqueous solutions. *RSC Advances*, 9(12), 6986–6994. <https://doi.org/10.1039/c9ra00048h>
- Lu, X., Madey, R., Rothstein, D., & Jaroniec, M. (1990). Pressure Swing Adsorption For a System With a Langmuir-Freundlich Isothem. *Chemical Engineering Science*, 45(4), 1097–1103.

- Marcano, Y. C., & Sabino, M. A. G. (2018). Chemical modification of alginate with L-cysteine to extend its use in drug delivery systems. *Cellulose Chemistry and Technology*, 52(7–8), 559–567.
- Maryam, & Rahmad, D. (2019). Synthesis of nano bacterial cellulose using acid hydrolysis-ultrasonication treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1185(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1185/1/012028>
- Munir, M. I. D. G. (2017). Penentuan Konsentrasi Optimum Selulosa Ampas Tebu (Baggase) Dalam Pembuatan Film Bioplastik. In *Skripsi*.
- Nacos, M. K., Katapodis, P., Pappas, C., Daferera, D., Tarantilis, P. A., Christakopoulos, P., & Polissiou, M. (2006). Kenaf xylan - A source of biologically active acidic oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 66(1), 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.02.032>
- Nanaki, S. G., Spyrou, K., Veneti, P., Karouta, N., Gournis, D., Baroud, T. N., Barmpalexis, P., & Bikiaris, D. N. (2022). L-Cysteine Modified Chitosan Nanoparticles and Carbon-Based Nanostructures for the Intranasal Delivery of Galantamine. *Polymers*, 14(19), 1–19. <https://doi.org/10.3390/polym14194004>
- Ningtyas, K. rimadhanti, Muslihudin, M., & Sari, I. N. (2020). Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian

- dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(2), 142–147.
<https://doi.org/10.25181/jppt.v20i2.1631>
- Özcan, A., & Özcan, A. S. (2005). Adsorption of Acid Red 57 from aqueous solutions onto surfactant-modified sepiolite. *Journal of Hazardous Materials*, 125(1–3), 252–259.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.039>
- Ozel, H. U. (2012). Biosorption of Cd(II) ions by nordmann fir cones. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(9), 2527–2535.
- Palupi, D. A. (2014). Sintesis Dan Karakterisasi Silika Dari Abu Sekam Padi Termodifikasi Sistein Sebagai Adsorben Logam Emas (Au). *Skripsi*.
- Pratama, J. H., Rohmah, R. L., Amalia, A., & Saraswati, T. E. (2019). Isolasi Mikroselulosa dari Limbah Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dengan Metode Bleaching-Alkalinasi. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 15(2), 239.
<https://doi.org/10.20961/alchemy.15.2.30862.239-250>
- Purba, M. P. B. (2018). *Sintesis Dan Karakterisasi CMC (Carboxymethyl Cellulose) Dari Selulosa Batang Pisang Raja (Musa paradisiaca) Dengan Variasi Natrium Monokloroasetat*. Universitas Sumatera Utara Medan.
- Putri, E., & Gea, S. (2018). Isolasi dan Karakterisasi Nanokistral Selulosa dari Tandan Sawit (*Elaeis Guineensis* Jack).

- Elkawnie*, 4(1), 13–22.
<https://doi.org/10.22373/ekw.v4i1.2877>
- Rahman, M. M., Muttakin, M., Pal, A., Shafiullah, A. Z., & Saha, B. B. (2019). A statistical approach to determine optimal models for IUPAC-classified adsorption isotherms. *Energies*, 12(23). <https://doi.org/10.3390/en12234565>
- Rehman, N., Alam, S., Amin, N. U., Mian, I., & Ullah, H. (2018). Ecofriendly isolation of cellulose from eucalyptus lenceolata: A novel approach. *International Journal of Polymer Science*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8381501>
- Rosli, N. A., Ahmad, I., & Abdullah, I. (2013). Cellulose nanocrystals from agave. In *BioResources* (Vol. 8, Issue 2).
- Rosyid, M., Nawangsih, E., & Dewita. (2012). Perbaikan Surface Area Analyzer NOVA-1000 (Alat Penganalisis Luas Permukaan Serbuk). *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, 1000*(September), 467–471.
- Ruan, C., Strømme, M., & Lindh, J. (2016). A green and simple method for preparation of an efficient palladium adsorbent based on cysteine functionalized 2,3-dialdehyde cellulose. *Cellulose*, 23(4), 2627–2638. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0976-0>
- Saef, S. K., Amalia, V., & Supriatna, A. M. (2022). Adsorpsi Ion

- Logam Cd(II) oleh Selulosa Limbah Sabut Kelapa sebagai Adsorben Berbiaya Murah. *Gunung Djati Conference Series*, 15. <http://coferences.uinsgd.ac.id/index.php/>
- Safrianti, I., Wahyuni, N., & Anita Zaharah, T. (2012). Adsorpsi Timbal (II) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh pH Dan Waktu Kontak. *JKK*, 1(1), 1–7.
- Saleh, M. S. M., Siddiqui, M. J., Mediani, A., Hadiani, N., Ahmed, Q. U., Zaiton, S., So, M., & Saidi-besbes, S. (2018). Salacca zalacca: A short review of the palm botany , pharmacological uses and phytochemistry. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 11(12), 645–652. <https://doi.org/10.4103/1995-7645.248321>
- Sari, D. P. (2018). *Sintesis Dan Karakterisasi CMC (Carboksimetil Selulosa) Dari Selulosa Kulit Pisang Barangan (Musa acuminata) Dengan Variasi Konsentrasi Natrium Monokloroasetat*. Universitas Sumatera Utara Medan.
- Setianingsih, T. (2018). *Karakterisasi Pori dan Luas Muka Padatan*. Universitas Brawijaya Press.
- Setyaningsih, L. W. N., Mutiara, T., Hapsari, C. Y., Kusumaningtyas, N., Munandar, H., & Pranata, R. J. (2020). Karakteristik dan Aplikasi Selulosa Kulit Jagung Pada Pengembangan Hidrogel. *Journal of Science and Applicative Technology*, 4(2), 61.

<https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.252>

Sosiati, H., Muhaimin, M., Purwanto, Wijayanti, D. A., & Triyana, K. (2014). Nanocrystalline Cellulose Studied with a Conventional SEM. *2014 International Conference on Physics, ICP 2014, Icp*, 12–15.

<https://doi.org/10.2991/icp-14.2014.3>

Suhas, Gupta, V. K., Carrott, P. J. M., Singh, R., Chaudhary, M., & Kushwaha, S. (2016). Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent. *Bioresource Technology*, 216, 1066–1076.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.106>

Taihuttu, B., Kayadoe, V., & Mariwy, A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Ion Fe (III) Menggunakan Limbah Ampas Sagu. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 9(1), 9–17. <https://doi.org/10.30598/mjocevol9iss1pp9-17>

Takahashi, H., French, S. W., & Wong, P. T. T. (1991). Alterations in Hepatic Lipids and Proteins by Chronic Ethanol Intake: A High-Pressure Fourier Transform Infrared Spectroscopic Study on Alcoholic Liver Disease in the Rat. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 15(2), 219–223. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1991.tb01859.x>

Triyastiti, L., & Krisdiyanto, D. (2018). Isoalasi Nanokristal Selulosa Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai Filler Pada

- Film Berbasis Polivinil Alkohol (PVA). *Indonesian Journal of Materials Chemistry (IJMC)*, 1(1), 39–45.
- Wahyuni, N., Silalahi, I. H., Nurlina, & Yossy. (2020). Isoterm Adsorpsi Kromium (III) Oleh Biomassa Sargassum sp. *BIOPROPAL Industri*, 11(2), 87–93. <http://ejournal.kemenperin.go.id/biopropal>
- Wardani, G. A., & Wulandari, W. T. (2018). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*) sebagai Biosorben Ion Timbal (II) Utilization o f Kepok Banana ' s (*Musa acuminata*) Peel Waste As Lead (II) Ion Biosorben. *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(2), 143–148.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 175. <https://doi.org/10.30870/educemia.v4i2.6119>
- Wulandari, N. C., Widwastuti, H., & Asworo, R. Y. (2023). Pengaruh Massa Biosorben Kulit Batang Kayu Jawa (*Lannea coromandelica*) terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Cd(II). *Jurnal Atomik*, 08(2), 65–70.
- Wulandari, W. T., & Dewi, R. (2018). Selulosa Dari Ampas Tebu Sebagai Adsorben Pada Minyak Bekas Penggorengan. *Kovalen*, 4(3), 332–339.
- Yeung, V., Miller, D. D., & Rutzke, M. A. (2017). Atomic

Absorption Spectroscopy, Atomic Emission Spectroscopy, and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. In *Food Science Text Series* (pp. 129–150). https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_9

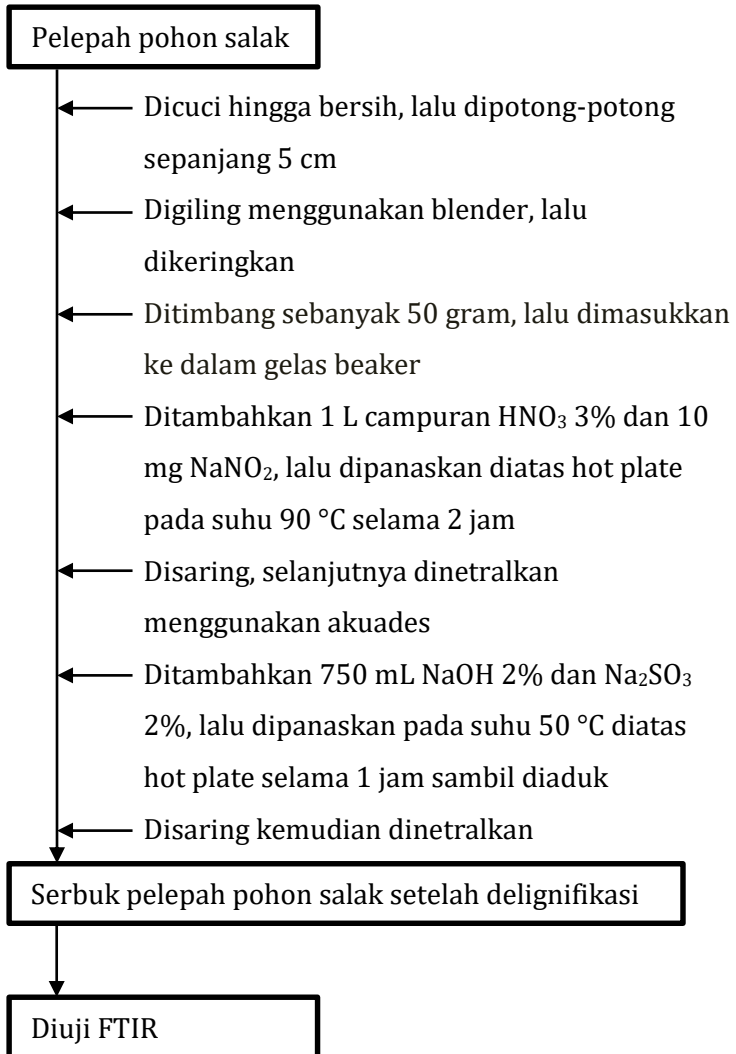
Zhou, Y., Zhang, L., Fu, S., Zheng, L., & Zhan, H. (2012). Adsorption Behavior Of Cd²⁺, Pb²⁺, and Ni²⁺ From Aqueous Solutions On Cellulose-based Hydrogels. *Bioresources*, 7(3), 2752–2765.

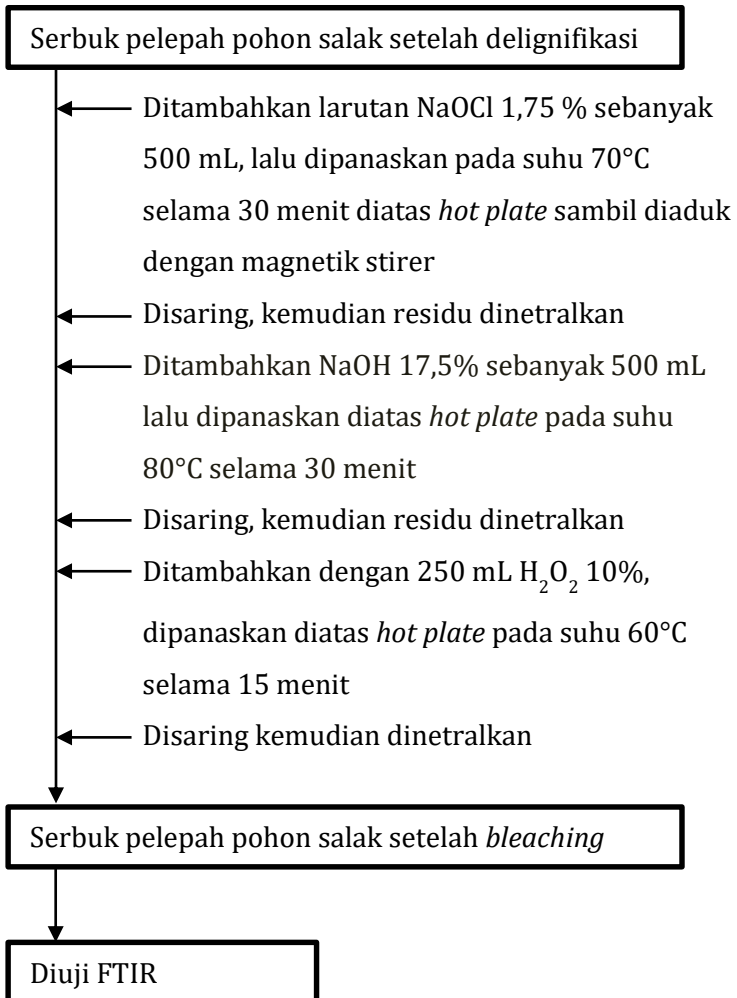
Zulichatun, S., Wijayanti, A., Marfina, A., & Pranata, Y. A. (2015). Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer. *Pelatihan Instrumen*.

LAMPIRAN

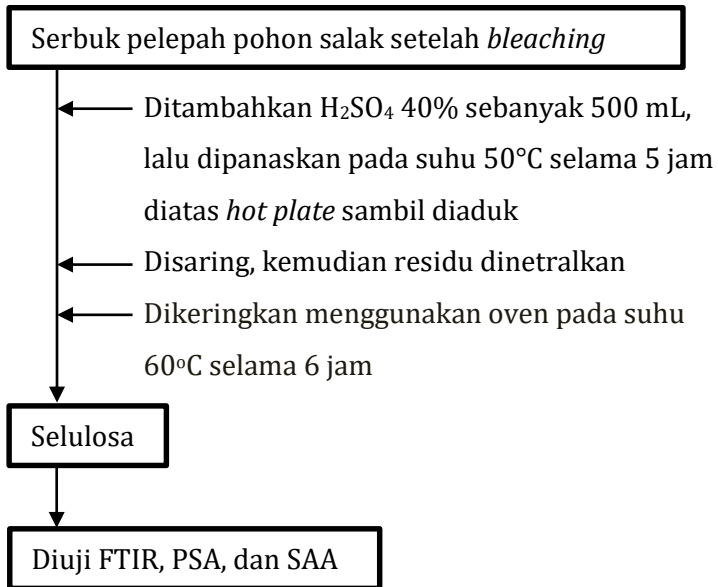
Lampiran 1. Diagram Alir Cara Kerja

1. Ekstraksi Selulosa

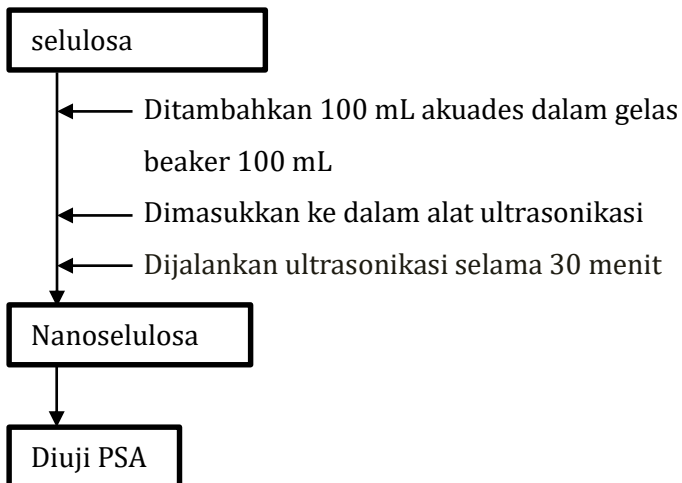


2. Proses *Bleaching*

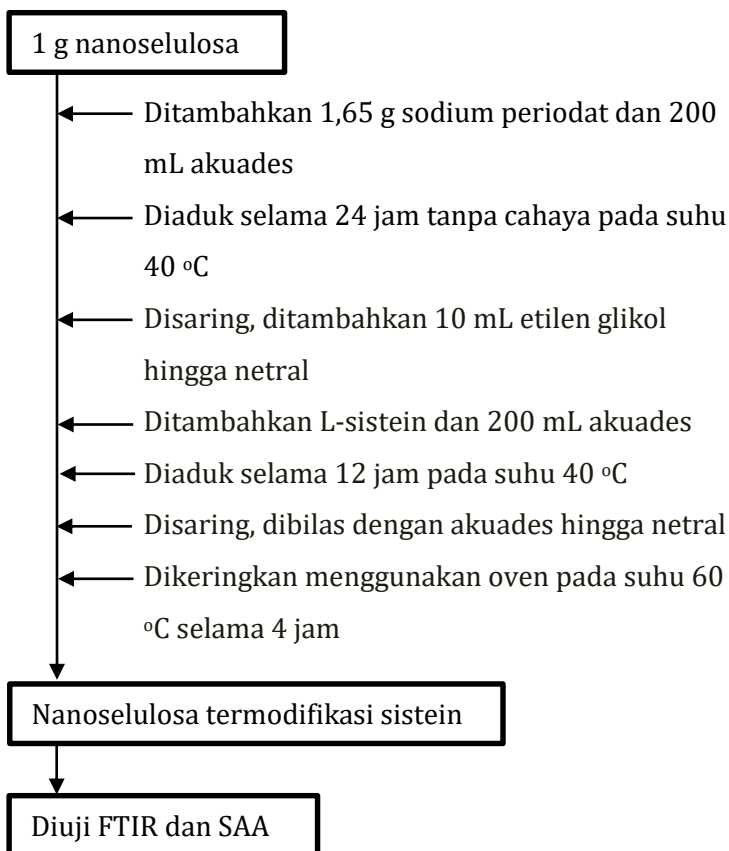
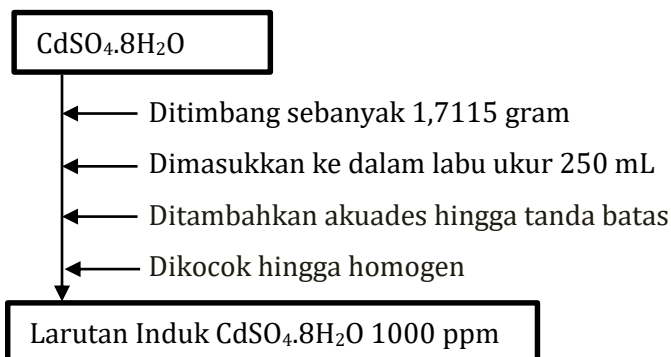
3. Hidrolisis Asam



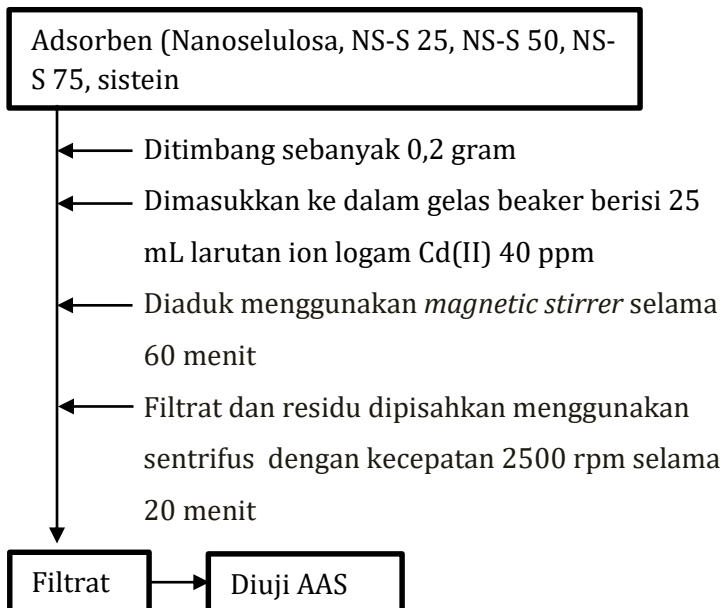
4. Ultrasonikasi



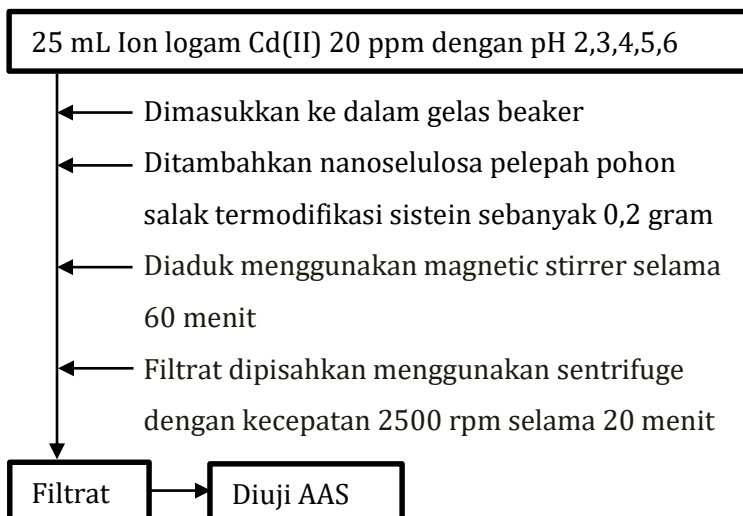
5. Modifikasi

6. Pembuatan larutan logam Cd(II) dalam $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 

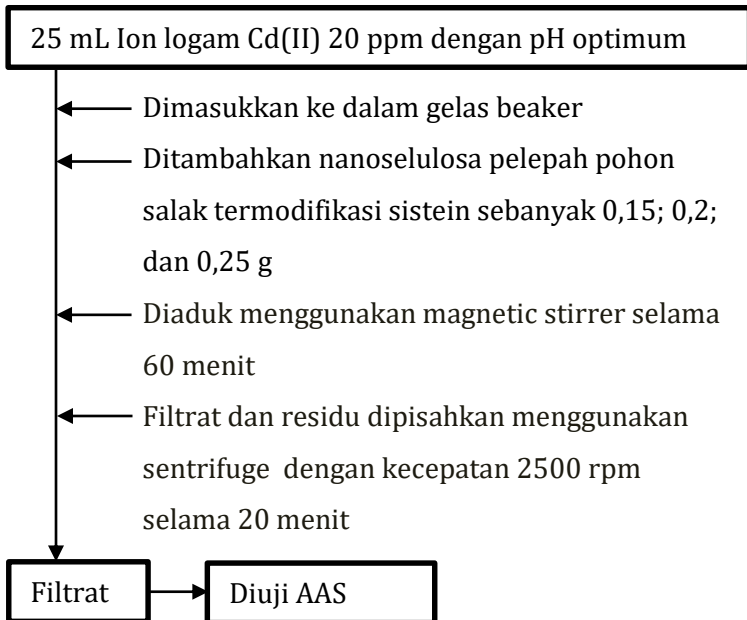
7. Adsorpsi Awal



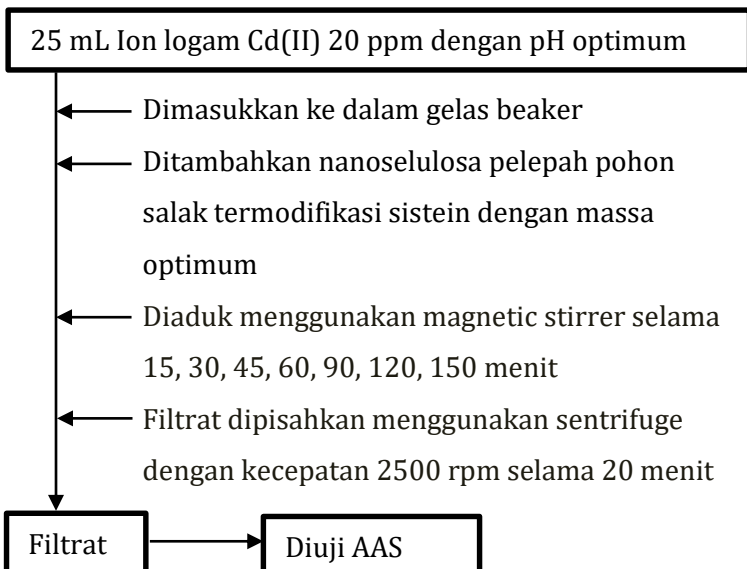
8. Optimasi pH



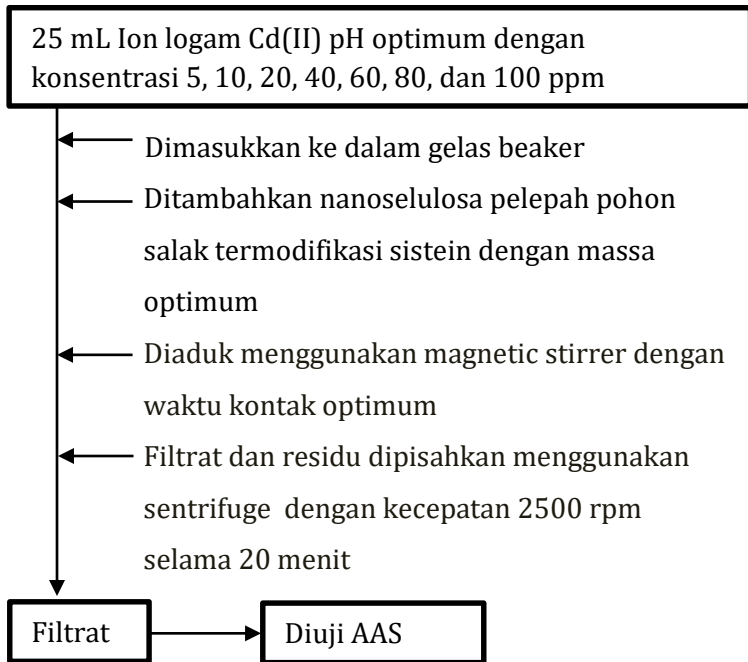
9. Optimasi Massa



10. Optimasi Waktu Kontak



11. Optimasi Konsentrasi



Lampiran 2. Data Hasil Percobaan

1. Data Uji Adsorpsi

Tabel L.1 Data Uji Adsorpsi Awal

Variasi Sampel	Adsorben	Massa	Volume	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Rata-rata Qe (mg/g)
		(g)	Larutan (mL)				
NS	A	0,2	25	73,46	62,51	1,369	1,369
NS-S	A	0,2	25	73,46	60,95	1,564	1,446
25	B	0,2	25	73,46	62,84	1,328	
NS-S	A	0,2	25	73,46	61,32	1,518	1,472
	50	B	0,2	25	73,46	61,79	
	C	0,2	25	73,46	61,95	1,439	
NS-S	A	0,2	25	73,46	57,24	2,028	1,986
	75	B	0,2	25	73,46	57,74	
	C	0,2	25	73,46	57,74	1,965	
Sistein	A	0,2	25	73,46	39,45	4,251	3,984
	B	0,2	25	73,46	42,24	3,903	
	C	0,2	25	73,46	43,08	3,798	

2. Data Optimasi pH

Tabel L.2 Data Optimasi Variasi pH

pH sampel	adsorben	Massa	Volume	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Rata-rata Qe (mg/g)
		(g)	larutan (mL)				
2	A	0,2	25	31,27	35,01	-0,468	-0,506
	B	0,2	25	31,27	35,62	-0,544	
3	A	0,2	25	31,27	38,93	-0,958	-0,964
	B	0,2	25	31,27	39,04	-0,971	

pH sampel		Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Rata-rata Qe (mg/g)
4	A	0,2	25	31,27	29,7	0,196	0,067
	B	0,2	25	31,27	31,77	-0,063	
5	A	0,2	25	31,27	16,66	1,826	2,239
	B	0,2	25	31,27	10,05	2,653	
6	A	0,2	25	31,27	3,88	3,424	3,503
	B	0,2	25	31,27	2,61	3,583	

3. Data Optimasi Massa

Tabel L.3 Hasil data Optimasi Massa

Massa Sampel (g)		Volume larutan (mL)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Rata-rata Qe (mg/g)
0,15	A	25	11,57	4,88	1,115	1,338
	B	25	11,57	2,2	1,562	
0,2	A	25	11,57	2,1	1,184	1,184
0,25	A	25	11,57	1,22	1,035	0,957
	B	25	11,57	2,78	0,879	

4. Data Optimasi Waktu kontak

Tabel L.4 Data Optimasi Waktu Kontak

Waktu (menit)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
15	0,15	25	27,72	9,47	3,042
30	0,15	25	27,72	8,56	3,193
45 A	0,15	25	27,72	9,33	3,065
45 B	0,15	25	27,72	7,78	3,323

60	0,15	25	27,72	8,63	3,182
90	0,15	25	27,72	8,89	3,138

5. Data optimasi konsentrasi

Tabel L.5 Data Optimasi Konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Massa adsorben (g)	Volume larutan (mL)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
10	0,15	25	28,24	19,83	1,402
20	0,15	25	41,31	23,19	3,020
40	0,15	25	59,35	36,75	3,768
60	0,15	25	72,95	62,6	1,725
80	0,15	25	81,40	75,04	1,060

6. Data Kinetika Adsorpsi

Tabel L.6 Kinetika Adsorpsi

Pseudo Orde 1			Pseudo Orde 2		
Qe (mg/g)	K ₁ (min ⁻¹)	R ²	Qe (mg/g)	K ₂ (min ⁻¹)	R ²
0,000832	0,000957	2,566515E-05	3,151095	2,33614	0,99964

7. Data Isoterm Adsorpsi

Tabel L.7 Isoterm Adsorpsi

Langmuir			Freundlich		
Qe (mg/g)	Kl (L/mg)	R ²	1/n	Kf (mg/g) (L/mg) ⁿ	R ²
0,06394	15,6796	0,83378	-0,3619	7,32386	0,16131

Lampiran 3. Perhitungan Analisis Data

1. Pembuatan Larutan

- a. Larutan asam nitrat 3,5 %

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 65\% \times V_1 &= 3,5\% \times 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= 53,8 \text{ mL} \end{aligned}$$

- b. Larutan asam sulfat 40 %

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 98\% \times V_1 &= 40\% \times 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= 408,2 \text{ mL} \end{aligned}$$

- c. Larutan hidrogen peroksida 10 %

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 98\% \times V_1 &= 10\% \times 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= 102 \text{ mL} \end{aligned}$$

- d. Larutan natrium hipoklorit 1,75 %

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 13\% \times V_1 &= 1,75\% \times 1000 \text{ mL} \\ V_1 &= 134,6 \text{ mL} \end{aligned}$$

- e. Larutan Cd(II) 1000 ppm

Membuat larutan Cd (II) dari padatan $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Ar Cd= 112,411 g/mol, Mr $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ = 769,546 g/mol), dengan volume 250 mL

- Larutan induk 1000 ppm = 1000 mg/L = 1 g/L
- Massa $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{Massa} &= \frac{\text{Mr CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Cd}} \times 1 \text{ g/L} \times 0,25 \text{ L} \\
 &= \frac{769,544}{112,411} \times 0,25 \\
 &= 1,7114 \text{ g}
 \end{aligned}$$

f. Pengenceran larutan Cd(II)

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

Keterangan:

M_1 = Konsentrasi Larutan Induk (1000 ppm)

M_2 = Konsentrasi yang diinginkan (ppm)

V_1 = Volume larutan yang dibutuhkan (mL)

V_2 = Volume larutan setelah pengenceran (mL)

1) Larutan Cd(II) 80 ppm

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 80 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 8$$

2) Larutan Cd(II) 60 ppm

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

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

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

3) Larutan Cd(II) 40 ppm

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

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

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

4) Larutan Cd(II) 20 ppm

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

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

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

5) Larutan Cd(II) 10 ppm

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

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

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

6) Larutan Cd(II) 0,8 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 0,8 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,8 \text{ mL}$$

7) Larutan Cd(II) 0,4 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 0,4 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,4$$

8) Larutan Cd(II) 0,2 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 0,2 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,2$$

9) Larutan Cd(II) 0,1 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 0,1 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 0,1$$

10) Larutan Cd(II) 0,05 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 0,05 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

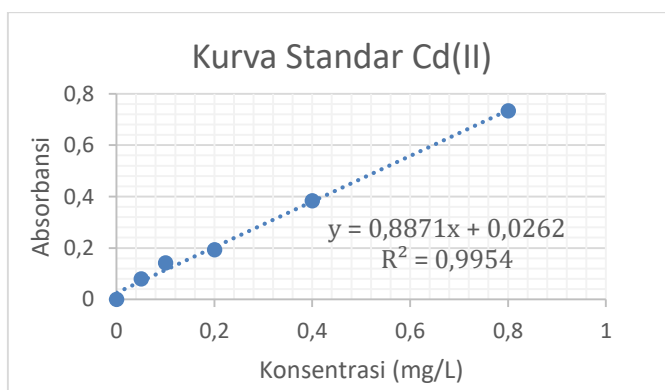
$$V_1 = 0,05$$

2. Kurva Standar Cd(II)

Tabel L.8 Kurva Standar Cd(II)

Konsentrasi Larutan Standar Cd(II) (mg/L)	Nilai Absorbansi
0	0
0,05	0,08
0,1	0,142
0,2	0,193
0,4	0,384
0,8	0,733

Tabel L.8 dapat dibuat grafik kurva standar Cd(II) yang disajikan pada Gambar L.1



Gambar L.1 Grafik Kurva Standar Cd(II)

3. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi (Q_e)

Rumus:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{w} \times V$$

Keterangan:

Q_e = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal (mg/L)

C_e = konsentrasi akhir (mg/L)

W = massa adsorben (g)

V = volume larutan ion logam Cd(II)

a. Variasi awal

1) NS A

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(73,46 - 62,51) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L} \\ &= 1,369 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) NS-S 25 A

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(73,46 - 60,95) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L} \\ &= 1,564 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3) NS-S 25 B

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(73,46 - 62,84) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L} \\ &= 1,328 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

4) NS-S 50 A

$$Q_e = \frac{(73,46 - 61,32) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,518 \text{ mg/g}$$

5) NS-S 50 B

$$Q_e = \frac{(73,46 - 61,79) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,459 \text{ mg/g}$$

6) NS-S 50 C

$$Q_e = \frac{(73,46 - 61,95) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,439 \text{ mg/g}$$

7) NS-S 75 A

$$Q_e = \frac{(73,46 - 57,24) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 2,028 \text{ mg/g}$$

8) NS-S 75 B

$$Q_e = \frac{(73,46 - 57,74) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,965 \text{ mg/g}$$

9) NS-S 75 C

$$Q_e = \frac{(73,46 - 57,74) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,965 \text{ mg/g}$$

10) Sistein A

$$Q_e = \frac{(73,46 - 39,45) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 4,251 \text{ mg/g}$$

11) Sistein B

$$Q_e = \frac{(73,46 - 42,24) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 3,903 \text{ mg/g}$$

12) Sistein C

$$Q_e = \frac{(73,46 - 43,08) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 3,798 \text{ mg/g}$$

b. Variasi pH

1) pH 2 A

$$Q_e = \frac{(31,27 - 35,01) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= -0,468 \text{ mg/g}$$

2) pH 2 B

$$Q_e = \frac{(31,27 - 35,62) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= -0,544 \text{ mg/g}$$

3) pH 3 A

$$Q_e = \frac{(31,27 - 38,93) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= -0,958 \text{ mg/g}$$

4) pH 3 B

$$Q_e = \frac{(31,27 - 39,04) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= -0,971 \text{ mg/g}$$

5) pH 4 A

$$Q_e = \frac{(31,27 - 29,7) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 0,196 \text{ mg/g}$$

6) pH 4 B

$$Q_e = \frac{(31,27 - 31,77) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= -0,063 \text{ mg/g}$$

7) pH 5 A

$$Q_e = \frac{(31,27 - 16,66) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,826 \text{ mg/g}$$

8) pH 5 B

$$Q_e = \frac{(31,27 - 10,05) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 2,424 \text{ mg/g}$$

9) pH 6 A

$$Q_e = \frac{(31,27 - 3,88) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,424 \text{ mg/g}$$

10) pH 6 B

$$Q_e = \frac{(31,27-2,61) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 3,583 \text{ mg/g}$$

c. Variasi Massa

1) 0,15 g A

$$Q_e = \frac{(11,57-4,88) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 1,115 \text{ mg/g}$$

2) 0,15 g B

$$Q_e = \frac{(11,57-2,2) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 1,562 \text{ mg/g}$$

3) 0,2 g

$$Q_e = \frac{(11,57-2,1) \text{ mg/L}}{0,2 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 1,184 \text{ mg/g}$$

4) 0,25 g A

$$Q_e = \frac{(11,57-1,22) \text{ mg/L}}{0,25 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 1,035 \text{ mg/g}$$

5) 0,25 g B

$$Q_e = \frac{(11,57-2,78) \text{ mg/L}}{0,25 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$

$$= 0,879 \text{ mg/g}$$

d. Variasi Waktu Kontak

1) 15 menit

$$Q_e = \frac{(27,72 - 9,47) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,042 \text{ mg/g}$$

2) 30 menit

$$Q_e = \frac{(27,72 - 8,56) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,193 \text{ mg/g}$$

3) 45 menit A

$$Q_e = \frac{(27,72 - 9,33) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,065 \text{ mg/g}$$

4) 45 menit B

$$Q_e = \frac{(27,72 - 7,78) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,323 \text{ mg/g}$$

5) 60 menit

$$Q_e = \frac{(27,72 - 8,63) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,182 \text{ mg/g}$$

6) 90 menit

$$Q_e = \frac{(27,72 - 8,89) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,138 \text{ mg/g}$$

e. Variasi konsentrasi

1) 10 ppm

$$Q_e = \frac{(28,24 - 19,83) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,402 \text{ mg/g}$$

2) 20 ppm

$$Q_e = \frac{(41,31 - 23,19) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,020 \text{ mg/g}$$

3) 40 ppm

$$Q_e = \frac{(59,35 - 36,75) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 3,768 \text{ mg/g}$$

4) 60 ppm

$$Q_e = \frac{(72,95 - 62,6) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,725 \text{ mg/g}$$

5) 80 ppm

$$Q_e = \frac{(81,40 - 75,04) \text{ mg/L}}{0,15 \text{ g}} \times 0,025 \text{ L}$$
$$= 1,060 \text{ mg/g}$$

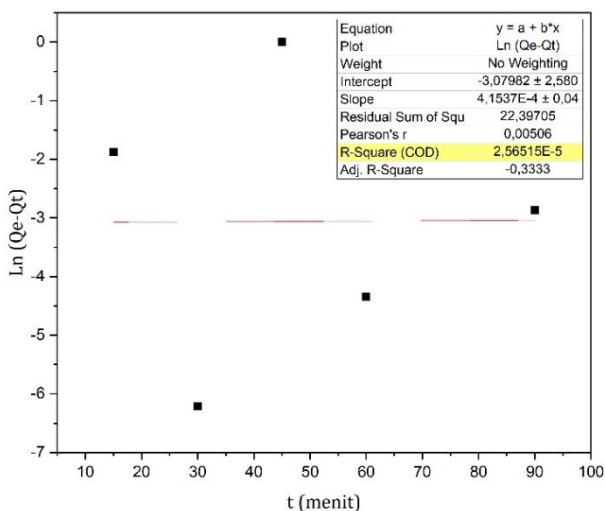
4. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

a. Pseudo Orde Satu

Tabel L.9 Data Penentuan Pseudo Orde Satu

t (menit)	Qe (mg/g)	Qt (mg/g)	Qe-Qt	Ln (Qe-Qt)
15	3,195	3,042	0,153	-1,8773174
30	3,195	3,193	0,002	-6,2146081
45	3,195	3,195	0	
60	3,195	3,182	0,013	-4,3428059
90	3,195	3,138	0,057	-2,8647040

Berdasarkan data kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu pada Tabel L.9 maka dapat digambarkan kurva persamaan linearnya yaitu antara waktu (t) sebagai sumbu x dan ln (Qe-Qt) sebagai sumbu y seperti Gambar L.2



Gambar L.2 Grafik Pseudo Orde Satu

Berdasarkan persamaan linear $y=0,00041537x-3,07982$ maka dapat dihitung untuk nilai k_1 dan Q_e sebagai berikut:

$$y = ax+b$$

$$y = 0,00041537x-3,07982$$

$$R^2 = 0,0000256515$$

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

$$\frac{K_1}{2,303} = 0,00041537$$

$$K_1 = 0,000956597$$

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

$$\text{Log } Q_e = -3,07982$$

$$\begin{aligned} Q_e &= 10^{-3,07982} \\ &= 0,0008321 \end{aligned}$$

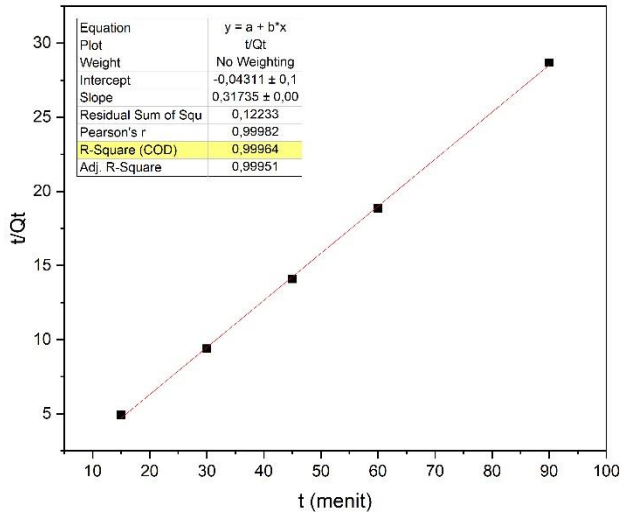
b. Pseudo Orde Dua

Tabel L.10 *Pseudo Orde Dua*

t (menit)	Qt (mg/g)	Qe (mg/g)	t/Qt
15	3,042	3,195	4,93097
30	3,193	3,195	9,395553
45	3,195	3,195	14,08451
60	3,182	3,195	18,85606
90	3,138	3,195	28,68069

Berdasarkan data kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua pada Tabel L.10 maka dapat digambarkan

kurva persamaan linearnya yaitu antara waktu (t) sebagai sumbu x dan t/Q_t sebagai sumbu y seperti Gambar L.3



Gambar L.3 Grafik *Pseudo* Orde Dua

Berdasarkan persamaan linear $y = 0,31735x - 0,04311$ maka dapat dihitung untuk nilai k_2 dan Q_e sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,31735x - 0,04311$$

$$R^2 = 0,99964$$

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

$$\frac{1}{Q_e} = 0,31735$$

$$Q_e = \frac{1}{0,31735}$$

$$Q_e = 3,151095$$

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

$$\frac{1}{K_2 \cdot 3,151095^2} = -0,04311$$

$$K_2 = \frac{1}{-0,04311(3,151095)^2}$$

$$K_2 = -2,33614$$

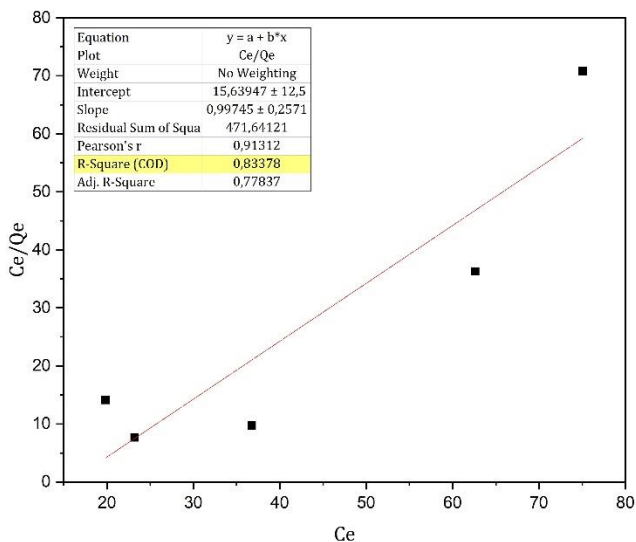
5. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

a. Langmuir

Tabel L.11 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce/Qe
28,24	19,83	1,402	14,14408
41,31	23,19	3,020	7,67881
59,35	36,75	3,768	9,75318
72,95	62,6	1,725	36,28986
81,40	75,04	1,060	70,79245

Berdasarkan data pada Tabel L.11 dapat digambarkan kurva persamaan linier antara C_e vs C_e/Q_e dengan intersep = $1/KL \cdot Q_{max}$ dan slopenya adalah $1/b$, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar L.4



Gambar L.4 Grafik Isoterm Langmuir

Berdasarkan Gambar L.4 diperoleh persamaan isoterm adsorpsi langmuir $y = 0,99745x + 15,63947$ dengan $R^2 = 0,83378$. Untuk mencari KL dan Q_e , maka dapat dihitung melalui cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,99745x + 15,63947$$

$$R^2 = 0,83378$$

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

$$\frac{1}{Q_e} = 15,63947$$

$$Q_e = \frac{1}{15,63947}$$

$$Q_e = 0,06394$$

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

$$\frac{1}{0,06394 \cdot K_L} = 0,99745$$

$$K_L = \frac{1}{0,06394 \cdot 0,99745}$$

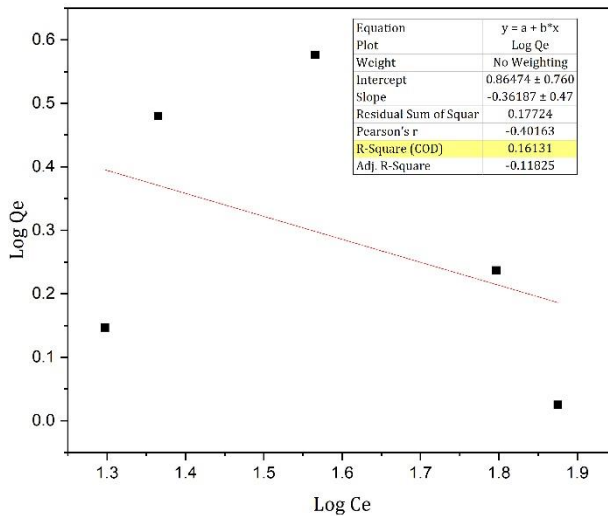
$$K_L = 15,6796$$

b. Freundlich

Tabel L.12 Isoterm Freundlich

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Log Ce	Log Qe
28,24	19,83	1,402	1,297323	0,146748
41,31	23,19	3,020	1,365301	0,480007
59,35	36,75	3,768	1,565257	0,576111
72,95	62,6	1,725	1,796574	0,236789
81,40	75,04	1,060	1,875293	0,025306

Berdasarkan data pada Tabel L.11 dapat digambarkan kurva persamaan linier antara Log Ce vs Log Qe dengan intersep = $1/n$ dan slopenya adalah $\log K_f$, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar L.5



Gambar L.5 Grafik Isoterm Freundlich

Berdasarkan Gambar L.5 diperoleh persamaan isoterm adsorpsi langmuir $y = -0,36187x + 0,86474$ dengan $R^2 = 0,16131$. Untuk mencari Kf dan Qe, maka dapat dihitung melalui cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = -0,36187x + 0,86474$$

$$R^2 = 0,16131$$

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

$$\log K_f = b$$

$$\log K_f = 0,86474$$

$$K_f = 10^{0,86474}$$

$$K_f = 7,32386$$

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

$$\frac{1}{n} = -0,36187$$

$$n = \frac{1}{-0,36187}$$

$$n = -2,76342$$

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

Pelepah salak bersih



Serbuk pelepah pohon salak



Setelah proses delignifikasi



Setelah proses bleaching



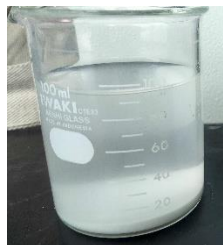
Setelah Hidrolisis asam



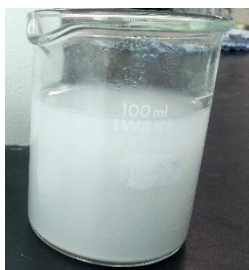
Pengeringan dengan oven



Nanoselulosa 200 mesh



Nanoselulosa sebelum ultrasonikasi



Nanoselulosa setelah ultrasonikasi



Nanoselulosa termodifikasi sistein



Proses adsorpsi



Larutan ion logam Cd(II) pada pH 7 terbentuk endapan putih

Lampiran 5. Hasil Karakterisasi

1. Hasil Karakterisasi PSA

a. Ukuran nanoselulosa sebelum ultrasonikasi

HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 [for Windows [Z Type] Ver2.20

2023.03.03 14:51:35

SZ-100

Nanoselulosa_8755.nsz Measurement Results

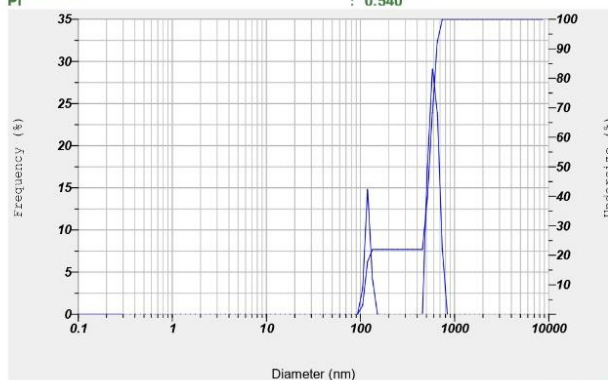
Date : 03 March 2023 14:45:05
 Measurement Type : Particle Size
 Sample Name : Nanoselulosa
 Scattering Angle : 90
 Temperature of the Holder : 25.0 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.894 mPa.s
 Transmission Intensity before Meas. : 26237
 Distribution Form : [Standard]
 Distribution Form(Dispersy) : Polydisperse
 Representation of Result : Scattering Light Intensity
 Count Rate : 184 kCPS

Calculation Results

Peak No.	S.P.Area Ratio	Mean	S. D.	Mode
1	0.22	112.7 nm	7.8 nm	112.2 nm
2	0.78	568.2 nm	64.3 nm	553.3 nm
3	---	--- nm	--- nm	--- nm
Total	1.00	468.3 nm	196.9 nm	553.3 nm

Cumulant Operations

Z-Average : 351.1 nm
 PI : 0.540



Explore the future

Autonomous Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

HORIBA

1/2

b. Ukuran nanoselulosa setelah ultrasonikasi

HORIBA
Scientific

HORIBA SZ-100 for Windows [Z Type] Ver2.20

SZ-100

Nanoselulosa_1140.nsz

Measurement Results

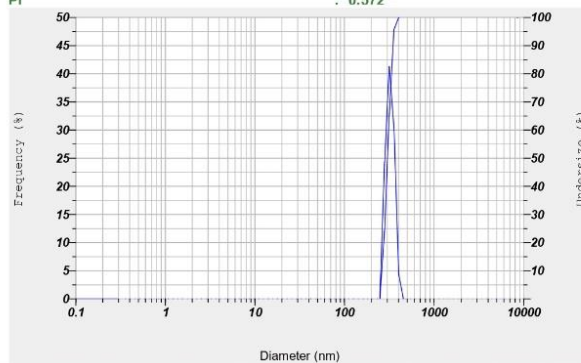
Date : 12 April 2023 13:15:21
 Measurement Type : Particle Size
 Sample Name : Nanoselulosa
 Scattering Angle : 90
 Temperature of the Holder : 25.0 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.896 mPa.s
 Transmission Intensity before Meas. : 15311
 Distribution Form : [Standard]
 Distribution Form(Dispersity) : Polydisperse
 Representation of Result : Scattering Light Intensity
 Count Rate : 1276 kCPS

Calculation Results

Peak No.	S.P.Area Ratio	Mean	S. D.	Mode
1	1.00	303.6 nm	31.1 nm	299.4 nm
2	---	--- nm	--- nm	--- nm
3	---	--- nm	--- nm	--- nm
Total	1.00	303.6 nm	31.1 nm	299.4 nm

Cumulant Operations

Z-Average : 250.5 nm
 PI : 0.572



Explore the future

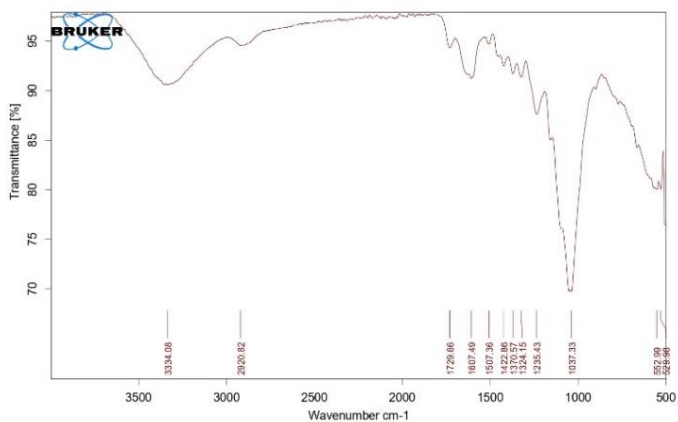
Automated Test Systems | Process & Environmental | Medical | Geomaterials | Sports

HORIBA

1/1

2. Hasil Karakterisasi FT-IR

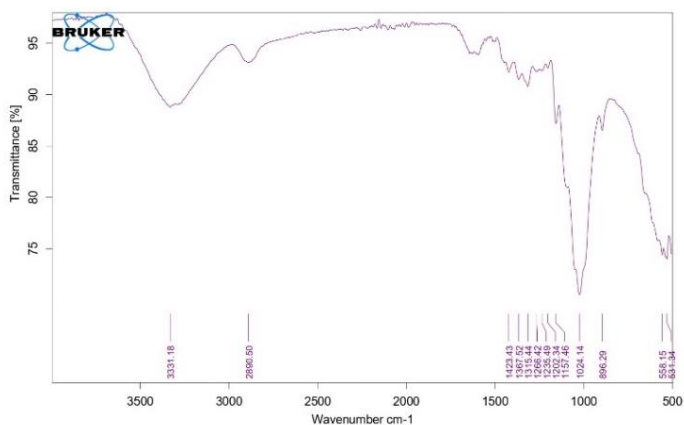
a. Serbuk Pelepah Pohon Salak



C:\Users\Lab Fisikal\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\Selulosa 1.0 Selulosa 1 Instrument type and / or accessory 07/02/2023

Page 1/1

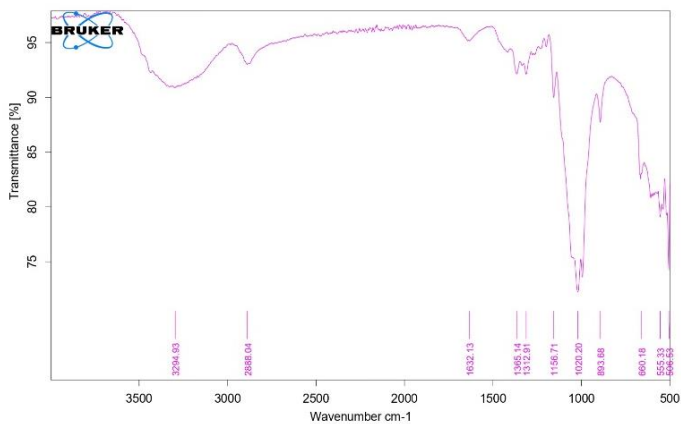
b. Setelah Delignifikasi



C:\Users\Lab Fisikal\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\Selulosa 2.0 Selulosa 2 Instrument type and / or accessory 07/02/2023

Page 1/1

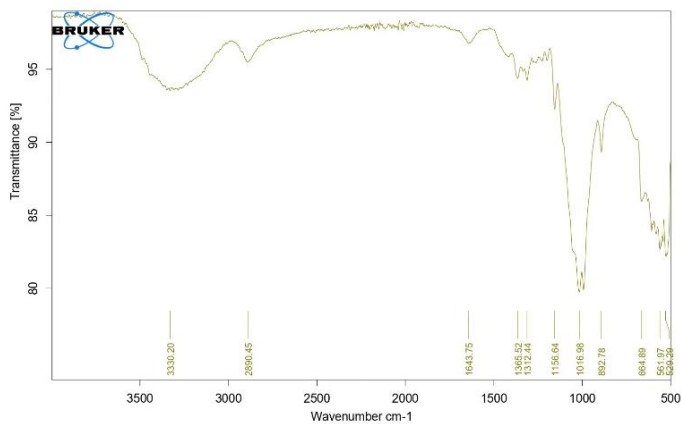
c. Setelah Bleaching



C:\Users\Lab Fisika\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\Bleaching.1 Bleaching Instrument type and / or accessory 13/04/2023

Page 1/1

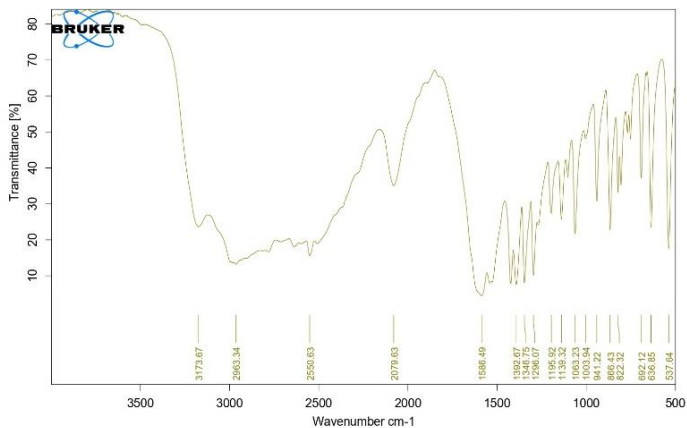
d. Setelah Hidrolisis Asam



C:\Users\Lab Fisika\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\Hidrolisis Asam.1 Hidrolisis Asam Instrument type and / or accessory 13/04/2023

Page 1/1

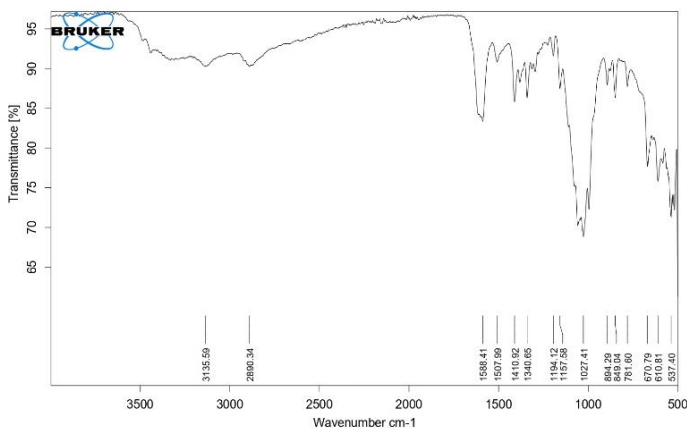
e. Sistein



C:\Users\Lab Fisika\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\Sistein.0 Sistein Instrument type and / or accessory 25/05/2023

Page 1/1

f. Nanoselulosa-sistein



C:\Users\Lab Fisika\Documents\Bruker\OPUS_8.2.28\DATA\MEAS\NSS 75.0 NSS 75 Instrument type and / or accessory 25/05/2023

Page 1/1

3. Hasil Karakterisasi SAA

a. Nanoselulosa

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA						
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta LABORATORIUM TERPADU Quantachrome TouchWin v1.22						
Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Yusuf			
Filename:	09740823_1 ulang.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample	ID 0974_1.i	Weight	0.0811 _g			
Description	NS					
Analysis						
Data ID	(27cd683-3572-412e-a5d0-51c6a19106e0)	Date	2023.08.18	Duration	82.3 _{min}	
Operator	Yusuf	Instrument	St 1 on NOVA touch 4XL [s/n: 170170510001]	Firmware	1.07	
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	19.78 _{°C}	Void Volume Mode	NOVA mode	Cell ID	21	
Cell type	9mm with rod	Thermal Delay	300 _{sec}	Po Mode	Continuous	
Adsorbate						
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 _{g/mol}	Cross Section Area	16.2 _{Å²/mole}	
Non-ideality	5.580000e-05 _{1/mole}	Bath Temperature	77.35 _{°C}			
Degas Information						
Time	12.0 _{hour}	Temp	80.000000 _{°C}			
Data Reduction Parameters						
Thermal Transpiration	yes				Eff. Molec. Diameter	0 _Å
Eff. Cell Diameter	0 _{mm}					
Adsorbate Model						
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134 _g	Cross Section Area	16.2 _{Å²/mole}	
Bath Temperature	77.35 _{°C}					
BET Multi-point BET results						
Isotherm Branch	Adsorption					
Slope	-1390.5					
Intercept	-114.805					
Correlation coeff., r	0.870931					
C constant	13.1119					
Surface area	0.000 m ² /g					
Table - BET Multi-point BET						
Relative Pressure	Volume Adsorbed @ STP cc/g	1 / [W((P/Po) - 1)]				
0.0477246	-0.468050	-85.6718				
0.153001	-0.319131	-452.8887				
0.251276	-0.531720	-505.0054				
0.352071	-0.814594	-533.7174				

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf			
Filename:	09740823_1 ulang.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample	ID 0974_1.i	Weight	0.0811g			
Description	NS					
Analysis						
Data ID	(27cdc683-3572-412e-a5d0-51c6a19f06e0)	Date	2023.08.18			
Operator	Misuf	Duration	82.3min			
Instrument	St 1 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	19.78°C	Void Volume	NOVA mode			
Cell Type	9mm width rod	Thermal Delay	300min			
Cell ID		Po Mode	Continuous			
Adsorbate		Molecular Weight	28.013g/mol			
Name	Nitrogen	Bath Temperature	77.35K			
Non-ideality	6.580000e-051/bar					
Degas information		Temp	80.000000°C			
Time	12.0hour					
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		Molecular Weight	28.0134g			
Name	Nitrogen	Cross Section Area	16.2Å ² /molec			
Bath Temperature	77.35K					
BJH Pore Size Distribution Adsorption results						
		Surface Area	0.1579 m ² /g			
		Pore Volume	0.00106286 cc/g			
		Pore radius Dv(r)	13.4624 nm			
Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption						
radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m ² /g	dV(r) cc/nm ³	Adsorption dS(r) m ² /nm ²	dV(log r) cc/g	dS(log r) m ² /g
2.04517	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2.65399	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.65595	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.68584	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
13.4624	1.062858e-03	1.579004e-01	8.329402e-05	1.237433e-02	2.375486e-03	3.529072e-01

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf			
Filename:	09740823_1 ulang.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	0974_1.i	Weight	0.0811g			
Description	NS					
Data ID	(27cdc683-3572-412e-a5d0-51c6a19f06e0)	Date	2023.08.18			
Operator	Misuf	Duration	82.3min			
Instrument	St 1 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	19.78°C	Void Volume	NOVA mode			
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300min			
Cell ID		Po Mode	Continuous			
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013g/mol			
Non-ideality	6.580000e-051/bar	Bath Temperature	77.35K			
Degas information		Temp	80.000000°C			
Time	12.0hour					
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		Molecular Weight	28.0134g			
Name	Nitrogen	Cross Section Area	16.2Å ² /molec			
Bath Temperature	77.35K					
BJH Pore Size Distribution Desorption results						
		Surface Area	0.133663 m ² /g			
		Pore Volume	0.000876819 cc/g			
		Pore radius Dv(r)	13.4211 nm			
Table - BJH Pore Size Distribution Desorption						
radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m ² /g	dV(r) cc/nm ³ g	dS(r) m ² /nm ² g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m ² /g
2.05156	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2.64774	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.61258	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.61165	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
13.4211	8.768193e-04	1.306630e-01	6.827262e-05	1.017394e-02	1.937626e-03	2.887437e-01

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sieman, Yogyakarta
 LABORATORIUM TERPADU
 Quantachrome TouchWin v1.22



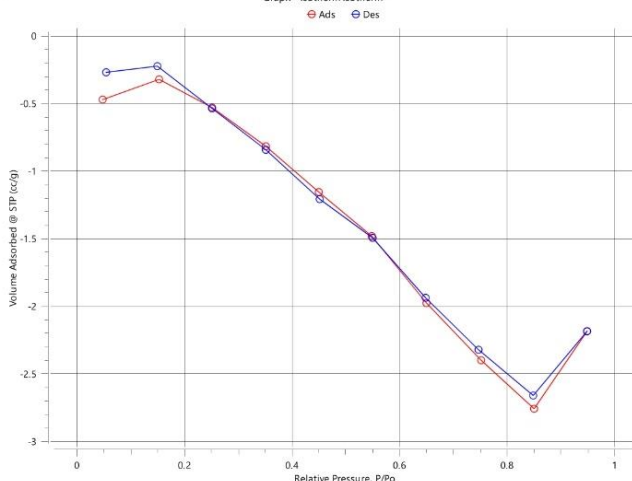
Report date: Mon Aug 21 2023 Operator: Yisuf
 Filename: 09740823_1 ulang.qcuPhysiso

Analysis Information

Sample ID 0974_1.i Weight 0.0811g
 Description NS
 Analysis Data ID (27cdc683-3572-412e-a5d0-51c4a19f06e0)
 Operator Nisuf Date 2023.08.18 Duration 82.3min
 Instrument St 1 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001] Firmware 1.07
 Comments description of sample
 Ambient Temp. 19.78°C Void Volume Mode NOVA mode Cell ID 21
 Cell Type 9mm with rod Thermal Delay 300min Po Mode Continuous
 Adsorbate Name Nitrogen Molecular Weight 28.013g/mol Cross Section Area 16.2Å²/mol
 Non-ideality 6.580000e-051/bar Bath Temperature 77.35K
 Degassing Information Time 12.0 hours Temp 80.000000°C

Thermal Transpiration yes Data Reduction Parameters Eff. Molec. Diameter 0Å
 Eff. Cell Diameter 0mm

Graph - Isotherm Isotherm



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sieman, Yogyakarta
 LABORATORIUM TERPADU
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf
Filename:	09740823_1 ulang.qcuPhysIso		
Analysis Information			
Sample ID	0974_1.i	Weight	0.0811g
Description	NS		
Analysis			
Data ID	(27cdc683-3572-412e-a5d0-51c6a19f06e0)	Date	2023.08.18
Operator	Misuf	Duration	82.3min
Instrument	St 1 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.78°C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300sec
Adsorbate		Molecular Weight	28.013g/mol
Name	Nitrogen	Bath Temperature	77.35K
Non-ideality	6.580000e-051/bar	Cross Section Area	16.2A1/mml
Degas Information		Temp	80.000000°C
Time	12.0hour		
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0mm		
Temp. Comp	no		
Thickness Method	deBoer		
Adsorbate Model			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g
Bath Temperature	77.35K	Cross Section Area	16.2A1/mml
Total Pore Volume results			
		Total Pore Volume	-3.3889e-03cm ³
		for pores smaller than	19.84A (mml)
		at relative pressure	0.94900

b. Nanoselulosa-sistein

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Nisuf
Filename:	09740823_2 ulang.qcuPhysIso		
Analysis Information			
Sample		Weight	0.0694g
ID	0974_2.1		
Description	NSS		
Analysis		Date	2023.08.18
Data ID	ib5d7f7e2-63a5-42cd-876b-78e67c9bf3ee	Duration	84.4min
Operator	Nisuf	Firmware	1.07
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]		
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.80 °C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300sec
Cell ID		Po Mode	Continuous
Adsorbate		Molecular Weight	28.013g/mol
Name	Nitrogen	Bath Temperature	77.35K
Non-ideality	6.580000e-05 1/hr	Cross Section Area	16.2x1mm
Degas information			
Time	72.0 hours	Temp	300.000000 °C
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0Å
Eff. Cell Diameter	0mm		
Adsorbate Model		Molecular Weight	28.0134g
Name	Nitrogen	Cross Section Area	16.2x1mm
Bath Temperature	77.35K		
BET Multi-point BET results			
Isotherm Branch	Adsorption		
Slope	11813.1		
Intercept	477.909		
Correlation coeff., r	0.516646		
C constant	25.7183		
Surface area	0.283 m ² /g		
Table - BET Multi-point BET			
Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP	1 / [W(P/Po) - 1]	
	cc/g		
0.0504712	0.965784		-44.0358
0.152349	0.0316243		4547.2735
0.251277	0.117015		2294.7748

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Siemau, Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf			
Filename:	09740823_2 ulang.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample	ID 0974_2 i	Weight	0.0694g			
Description	NS5					
Analysis	Data ID (b9d7f7e2-63a5-42cd-876b-78679bf3ee)	Date 2023.08.18	Duration 84.4min			
Operator Misuf	Instrument St 2 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware 1.07				
Comments	description of sample					
Ambient Temp. 19.80°C	Void Volume Mode NOVA mode	Cell ID 22				
Cell Type 9mm with rod	Thermal Delay 300min	Po Mode Continuous				
Adsorbate	Name Nitrogen	Molecular Weight 28.013g/mol	Cross Section Area 16.2A ² /mol			
Non-ideality 6.580000e-05 ^{1/3} bar	Bath Temperature 77.35K					
Degas information	Time 12.0hours	Temp 300.000000°C				
Data Reduction Parameters						
Thermal Transpiration yes	Eff. Cell Diameter 0mm	Eff. Molec. Diameter 0A				
Thickness Method deBoer	P-tags below 0.35 included	Moving Pt. Average off				
Adsorbate Model	Name Nitrogen	Molecular Weight 28.0134g	Cross Section Area 16.2A ² /mol			
Bath Temperature 77.35K						
BJH Pore Size Distribution Adsorption results						
	Surface Area 1.45764 m ² /g					
	Pore Volume 0.00921587 cc/g					
	Pore radius Dv(r) 13.4391 nm					
Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption						
radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m ² /g	dV(r) cc/nm/g	Adsorption dS(r) m ² /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m ² /g
2.05340	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2.66008	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.63408	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.65798	4.209098e-04	1.481846e-01	1.491198e-04	5.271137e-02	1.981146e-03	6.722356e-01
13.4391	9.215866e-03	1.457641e+00	6.903579e-04	1.027384e-01	1.965412e-02	2.924907e+00

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf			
Filename:	09740823_2 ulang.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample	ID 0974_2 i	Weight	0.0694g			
Description	NS5					
Data ID	(b9d7f7e2-63a5-42cd-876b-78679bf3ee)	Date	2023.08.18			
Operator	Yusuf	Duration	84.4min			
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	19.80°C	Void Volume	NOVA mode			
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300min			
Cell ID		Po Mode	Continuous			
Adsorbate		Molecular Weight	28.013g/mol			
Name	Nitrogen	Bath Temperature	77.35K			
Non-ideality	6.580000e-05 1/bar					
Degas information		Temp	300.000000°C			
Time	12.0 hours					
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		Molecular Weight	28.0134g			
Name	Nitrogen	Cross Section Area	16.2Å ² /molec			
Bath Temperature	77.35K					
BJH Pore Size Distribution Desorption results						
		Surface Area	1.73512 m ² /g			
		Pore Volume	0.00910589 cc/g			
		Pore radius Dv(r)	5.75863 nm			
Table - BJH Pore Size Distribution Desorption						
radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m ² /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m ² /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m ² /g
2.04554	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2.64026	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.65156	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.75863	1.942961e-03	6.747997e-01	6.68007e-04	2.320130e-01	8.666613e-03	3.000894e+00
13.5109	9.105892e-03	1.735117e+00	5.686607e-04	8.417791e-02	1.632557e-02	2.416647e+00

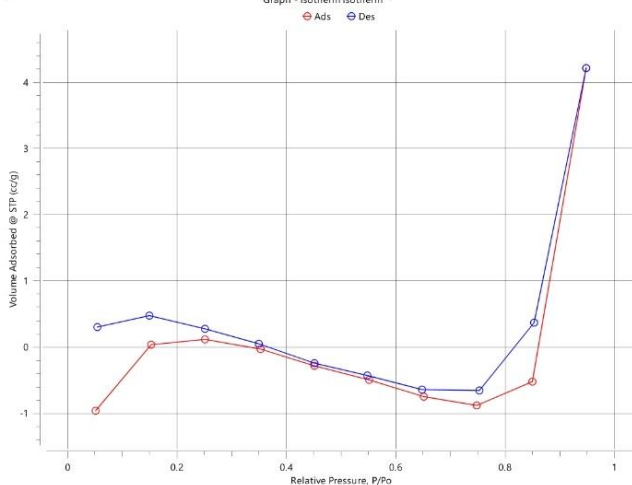
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sieman, Yogyakarta
 LABORATORIUM TERPADU
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf
Filename:	09740823_2 ulang.qcuPhysiso		
Analysis Information			
Sample	ID 0974_2 i	Weight	0.0694g
Description	NSS		
Analysis			
Data ID	(b9d7f7e2-63a5-42cd-876b-78e679bf3ee)	Date	2023.08.18
Operator	Misuf	Duration	84.4min
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.80 °C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300min
Cell ID		Cell ID	22
Adsorbate		Po Mode	Continuous
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013g/mol
Non-ideality	6.5800000e-051/bar	Bath Temperature	77.35K
Degas information		Cross Section Area	16.2x1mm ²
Time	12.0 hours	Temp	300.000000 °C
Thermal Transpiration	yes	Data Reduction Parameters	
Eff. Cell Diameter	0mm	Eff. Molec. Diameter	0Å

Graph - Isotherm Isotherm



Quantachrome TouchWin® v1.22

(Report ID: QC20230821082711192-17436) Page 1 of 1

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sieman, Yogyakarta
 LABORATORIUM TERPADU
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf
Filename:	09740823_2 ulang.qcuPhysIso		
Analysis Information			
Sample ID	0974_2.i	Weight	0.0694g
Description	NS5		
Analysis			
Data ID	(b9d7f7e2-63a5-42cd-876b-78e679bf3ee)	Date	2023.08.18
Operator	Misuf	Duration	84.4min
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.80°C	Void Volume	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300min
Adsorbate		Molecular Weight	28.013g/mol
Name	Nitrogen	Bath Temperature	77.35K
Non-ideality	6.580000e-051/bar	Cross Section Area	16.2A1mm ²
Degas Information		Temp	300.000000°C
Time	12.0hours		
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0mm		
Temp. Comp	no		
Thickness Method	deBoer		
Adsorbate Model			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g
Bath Temperature	77.35K	Cross Section Area	16.2A1mm ²
Total Pore Volume results			
		Total Pore Volume	6.5379e-03cc/g
		for pores smaller than	19.81mm ² /m ² cc
		at relative pressure	0.94891

c. Nanoselulosa-sistein-sonikasi

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA					
Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta LABORATORIUM TERPADU Quantachrome TouchWin v1.22					
Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Visuf		
Filename:	09740823_3 ulang.qcuPhysIso				
Analysis Information					
Sample	ID 0974_3 i	Weight	0.0814 _g		
Description	NSSS				
Analysis	Data ID i6b9b7ced-dc46-4a93-9cb4-7fcc5040c6b3	Date	2023.08.18	Duration	78.8 _{min}
Operator	Visuf	Date	2023.08.18	Firmware	1.07
Instrument	St 3 on NOVA touch 4XL [s/n:170170510001]				
Comments	description of sample				
Ambient Temp.	19.84 _{°C}	Void Volume	NOVA mode	Cell ID	23
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 _{sec}	Po Mode	Continuous
Adsorbate	Name Nitrogen	Molecular Weight	28.013 _{g/mol}	Cross Section Area	16.24 _{nm²}
Non-ideality	6.580000e-05 _{1/hw}	Bath Temperature	77.35 _K		
Degas information	Time 72.0 _{hours}	Temp	300.000000 _{°C}		
Data Reduction Parameters					
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0 _Å		
Eff. Cell Diameter	0 _{mm}				
Adsorbate Model	Name Nitrogen	Molecular Weight	28.0134 _g	Cross Section Area	16.24 _{nm²}
Bath Temperature	77.35 _K				
BET Multi-point BET results					
Isotherm Branch	Adsorption				
Slope	8974.41				
Intercept	-4193.16				
Correlation coeff., r	0.96817				
C constant	-1.14025				
Surface area	0.728 _{m²/g}				
Table - BET Multi-point BET					
Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP	1 / [W(P/Po) - 1]			
	cc/g				
0.153910	-0.0493858	-2947.1202			
0.251039	-0.160118	-1674.9113			
0.351982	-0.373226	-1164.4265			

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf			
Filename:	09740823_3 ulang.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	0974_3 i	Weight	0.0814 _g			
Description	NSS5					
Data ID	(6b9b7ced-dc46-4a93-9cb4-7fcc5040c6b3)	Date	2023.08.18			
Operator	Misuf	Duration	78.8 _{min}			
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	19.84 _{°C}	Void Volume	NOVA mode			
Cell Type	9mm width rod	Thermal Delay	300 _{min}			
Cell ID		Cell ID	23			
Cell Po Mode		Po Mode	Continuous			
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 _{g/mol}			
Non-ideality	6.580000e-05 _{1/bar}	Bath Temperature	77.35 _K			
Degas information		Cross Section Area	16.2 _{Å²/mm²}			
Time	12.0 _{hours}	Temp	300.000000 _{°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		Molecular Weight	28.0134 _g			
Name	Nitrogen	Cross Section Area	16.2 _{Å²/mm²}			
Bath Temperature	77.35 _K					
BJH Pore Size Distribution Adsorption results						
Surface Area 0.637708 m ² /g						
Pore Volume 0.00408008 cc/g						
Pore radius Dv(r) 12.7961 nm						
Table - BJH Pore Size Distribution Adsorption						
radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m ² /g	dV(r) cc/nm/g	Adsorption dS(r) m ² /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m ² /g
2.05183	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2.65279	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.62413	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.61501	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
12.7961	4.080079e-03	6.377079e-01	3.518350e-04	5.498108e-02	9.613299e-03	1.502539e+00

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf			
Filename:	09740823_3 ulang.qcuPhysIso					
Analysis Information						
Sample ID	0974_3 i	Weight	0.0814g			
Description	NSS5					
Data ID	(6b9b7ced-dc46-4a93-9cb4-7fcc5040c6b3)	Date	2023.08.18			
Operator	Misuf	Duration	78.8min			
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware	1.07			
Comments	description of sample					
Ambient Temp.	19.84°C	Void Volume	NOVA mode			
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300min			
Cell ID		Po Mode	Continuous			
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013g/mol			
Non-ideality	6.580000e-05 _{1bar}	Bath Temperature	77.35K			
Degas information		Temp	300.000000°C			
Time	12.0hours					
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		Molecular Weight	28.0134g			
Name	Nitrogen	Cross Section Area	16.2Å ² /molec			
Bath Temperature	77.35K					
BJH Pore Size Distribution Desorption results						
		Surface Area	0.581975 m ² /g			
		Pore Volume	0.00346786 cc/g			
		Pore radius Dv(r)	12.8368 nm			
Table - BJH Pore Size Distribution Desorption						
radius nm	Pore Volume cc/g	Pore Surf. Area m ² /g	dV(r) cc/nm/g	dS(r) m ² /nm/g	dV(log r) cc/g	dS(log r) m ² /g
2.05272	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
2.65582	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
3.64206	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
5.67482	2.119420e-04	7.465560e-02	7.545623e-05	2.659333e-02	9.654994e-04	3.402749e-01
12.8368	3.467862e-03	5.819750e-01	2.827513e-04	4.405327e-02	7.763362e-03	1.209549e+00

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

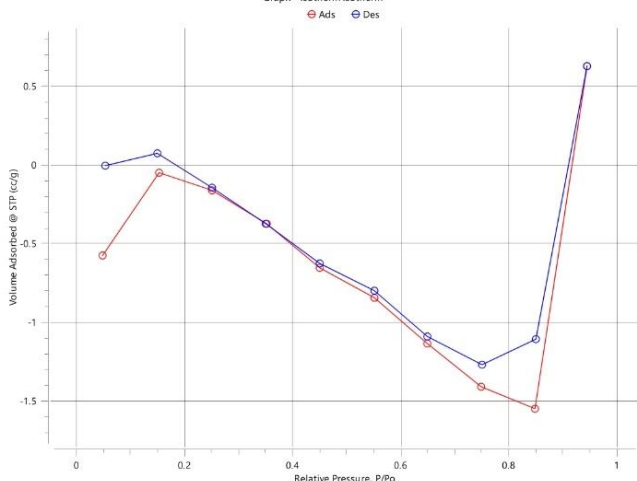
Jl. Kallurang Km 14.5, Sieman, Yogyakarta
 LABORATORIUM TERPADU
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Mon Aug 21 2023 Operator: Musuf
 Filename: 09740823_3 ulang.qcuPhysIso

Analysis Information			
Sample ID	0974_3 i	Weight	0.0814g
Description	NSS5		
Data ID	(6b9b7ced-dc46-4a93-9cb4-7fcc5040c6b3)	Date	2023.08.18
Operator	Nisuf	Duration	78.8min
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [c/m-170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	19.84°C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300min
Adsorbate		Cell ID	23
Name	Nitrogen	Po Mode	Continuous
Non-ideality	6.580000e-05 1/bar	Molecular Weight	28.013 g/mol
Degas information		Bath Temperature	77.35K
Time	12.0 hours	Temp	300.000000°C
Thermal Transpiration	yes	Data Reduction Parameters	
Eff. Cell Diameter	0mm	Eff. Molec. Diameter	0Å

Graph - Isotherm Isotherm



Quantachrome TouchWin® v1.22

(Report ID: QC20230821082938942-17916) Page 1 of 1

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kallurang Km 14.5, Sieman, Yogyakarta
 LABORATORIUM TERPADU
 Quantachrome TouchWin v1.22



Report date:	Mon Aug 21 2023	Operator:	Misuf
Filename:	09740823_3 ulang.qcuPhysIso		
Analysis Information			
Sample ID	0974_3 i	Weight	0.0814 _g
Description	NSS5		
Analysis Data ID	(6b9b7ced-dc46-4a93-9cb4-7fcc5040c6b3)		
Operator	Misuf	Date	2023.08.18
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Duration	78.8min
Comments	description of sample	Firmware	1.07
Ambient Temp.	19.84°C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm with rod	Thermal Delay	300 _{min}
Adsorbate Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 _{g/mol}
Non-ideality	6.580000e-05 _{1/bar}	Bath Temperature	77.35 _K
Degas Information Time	12.0 _{hours}	Temp	300.000000 _C
Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0.Å
Eff. Cell Diameter	0 _{mm}		
Temp. Comp	no		
Thickness Method	deBoer		
Adsorbate Model Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134 _g
Bath Temperature	77.35 _K	Cross Section Area	16.2Å ² /molec
Total Pore Volume results			
		Total Pore Volume	9.7387e-04 _{cm³}
		for pores smaller than	18.59 _{nm (pore)}
		at relative pressure	0.94543

4. Hasil Uji AAS

a. Optimasi pH

Thermo
SCIENTIFIC

Operator Name: MUCHIS
Results File: C:\SOLAAR\MDATA\Logam Cu\Uji Cd Rina 14723 2.SLR

Method : Uji Cd 3062022
Autosampler : None
Use SFI: No

Analysis Name: Analysis 1 14/07/2023
Operator Name: MUCHIS

Y = 0,59944x - 0,0087
Fit: 0,9983
Characteristic Conc: 0,0073



Report Date: 14/07/2023 14:41:53

General Parameters

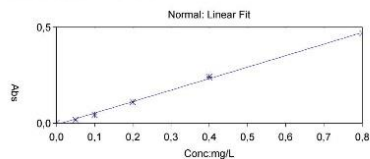
Operator : MUCHIS

Instrument Mode: Flame
Dilution: None

Analysis Details

Spectrometer: ICE 3000 AA05194702 v1.30

Solution Results - Cd



Sample ID	Signal Abs	Red %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L	
Cd Blank	0,000	26,2	0,0000		
	1 0,000		Background: 0,000		14/07/2023 14:20:00
	2 0,000		Background: 0,000		14/07/2023 14:20:04
Cd Standard 1	0,016	1,5	0,0500		
	1 0,016		Background: 0,000		14/07/2023 14:20:36
	2 0,016		Background: 0,000		14/07/2023 14:20:41
Cd Standard 2	0,043	0,8	0,1000		
	1 0,043		Background: 0,000		14/07/2023 14:21:09
	2 0,044		Background: 0,000		14/07/2023 14:21:13
Cd Standard 3	0,109	0,7	0,2000		
	1 0,108		Background: 0,001		14/07/2023 14:21:40
	2 0,108		Background: 0,001		14/07/2023 14:21:45
Cd Standard 4	0,241	0,6	0,4000		
	1 0,239		Background: 0,001		14/07/2023 14:41:28
	2 0,242		Background: 0,000		14/07/2023 14:41:33
Cd Standard 5	0,468	0,7	0,8000		
	1 0,471		Background: 0,002		14/07/2023 14:37:45
	2 0,465		Background: 0,002		14/07/2023 14:37:49
Cd 40 ppm	0,179	1,9	0,3127	0,3127	
	1 0,175		Background: 0,001		14/07/2023 14:23:28
	2 0,179		Background: 0,001		14/07/2023 14:23:32
Cd pH 1A 100x	0,215	0,3	0,3727	0,3727	
	1 0,214		Background: 0,001		14/07/2023 14:34:09
	2 0,214		Background: 0,001		14/07/2023 14:34:13
3 0,215		Background: 0,001		14/07/2023 14:34:18	

SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS

Report Date: 14/07/2023 14:41:53

Results File: C:\SOLAAR\MDATA\logam Cu\Uji Cd Rins 14723 2.SLR

Solution Results - Cd

Sample ID	Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd pH 1B 100x	0.239	0.3	0.4129	0.4129
1	0.239		Background: 0.001	14/07/2023 14:24:54
2	0.238		Background: 0.001	14/07/2023 14:24:59
3	0.239		Background: 0.001	14/07/2023 14:25:03
Cd pH 2A 100x	0.201	0.3	0.3501	0.3501
1	0.202		Background: 0.001	14/07/2023 14:25:49
2	0.201		Background: 0.001	14/07/2023 14:25:53
3	0.201		Background: 0.001	14/07/2023 14:25:57
Cd pH 2B 100x	0.205	0.1	0.3562	0.3562
1	0.205		Background: 0.001	14/07/2023 14:27:24
2	0.205		Background: 0.001	14/07/2023 14:27:28
3	0.205		Background: 0.001	14/07/2023 14:27:32
Cd pH 3A 100x	0.225	0.4	0.3893	0.3893
1	0.224		Background: 0.001	14/07/2023 14:27:56
2	0.225		Background: 0.001	14/07/2023 14:28:00
3	0.225		Background: 0.001	14/07/2023 14:28:04
Cd pH 3B 100x	0.225	0.1	0.3904	0.3904
1	0.225		Background: 0.001	14/07/2023 14:28:32
2	0.225		Background: 0.001	14/07/2023 14:28:36
3	0.226		Background: 0.001	14/07/2023 14:28:41
Cd pH 4A 100x	0.169	1.7	0.2970	0.2970
1	0.166		Background: 0.001	14/07/2023 14:29:26
2	0.170		Background: 0.001	14/07/2023 14:29:30
3	0.172		Background: 0.001	14/07/2023 14:29:34
Cd pH 4B 100x	0.182	0.5	0.3177	0.3177
1	0.181		Background: 0.001	14/07/2023 14:30:24
2	0.182		Background: 0.001	14/07/2023 14:30:29
3	0.182		Background: 0.001	14/07/2023 14:30:33
Cd pH 5A 100x	0.091	0.2	0.1666	0.1666
1	0.091		Background: 0.000	14/07/2023 14:31:02
2	0.091		Background: 0.001	14/07/2023 14:31:06
3	0.091		Background: 0.001	14/07/2023 14:31:10
Cd pH 5B 100x	0.052	0.1	0.1005	0.1005
1	0.052		Background: 0.001	14/07/2023 14:31:31
2	0.052		Background: 0.001	14/07/2023 14:31:35
3	0.051		Background: 0.001	14/07/2023 14:31:40
Cd pH 6A 100x	0.015	6.7	0.0388	0.0388
1	0.014		Background: 0.001	14/07/2023 14:32:05
2	0.014		Background: 0.000	14/07/2023 14:32:09
3	0.016		Background: 0.000	14/07/2023 14:32:13
Cd pH 6B 100x	0.007	1.1	0.0261	0.0261
1	0.007		Background: 0.001	14/07/2023 14:32:37
2	0.007		Background: 0.000	14/07/2023 14:32:42
3	0.007		Background: 0.000	14/07/2023 14:32:46

b. Optimasi Massa

Thermo
SCIENTIFIC

Operator Name: MUCHIS

Results File: C:\SOLA\ARM\DATA\Logam Cu\Uji Cd Rina 01092023 SLR

Method: L'JL Cd 3062022

Autosampler: None

Use SFI: No

Analysis Name: Analysis 1 01/09/2023

Operator Name: MUCHIS

Y = 0.97249x + 0.0164

R²: 0.9856

Characteristic Conc: 0.0045



Report Date: 01/09/2023 09:56:31

General Parameters

Operator: MUCHIS

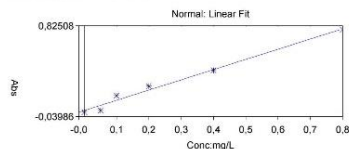
Instrument Mode: Flame

Dilution: None

Analysis Details

Spectrometer: ICE 3000 AA05194702 v1.30

Solution Results - Cd



Sample ID	Signal Abs	Rad %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd Blank	-0.001	49,5	0,0000	
1	-0.000		Background: 0.000	01/09/2023 09:52:01
2	-0.001		Background: 0.001	01/09/2023 09:52:06
3	-0.001		Background: 0.001	01/09/2023 09:52:10
Cd Standard 1	0.015	3,1	0,0500	
1	0.016		Background: 0.000	01/09/2023 09:53:58
2	0.015		Background: 0.001	01/09/2023 09:54:03
3	0.015		Background: 0.001	01/09/2023 09:54:07
Cd Standard 2	0.157	0,3	0,1000	
1	0.157		Background: 0.001	01/09/2023 09:43:10
2	0.158		Background: 0.001	01/09/2023 09:43:15
3	0.157		Background: 0.001	01/09/2023 09:43:19
Cd Standard 3	0.249	0,2	0,2000	
1	0.249		Background: 0.002	01/09/2023 09:43:51
2	0.250		Background: 0.002	01/09/2023 09:43:56
3	0.249		Background: 0.002	01/09/2023 09:44:00
Cd Standard 4	0.399	0,5	0,4000	
1	0.401		Background: 0.002	01/09/2023 09:44:32
2	0.397		Background: 0.002	01/09/2023 09:44:36
3	0.398		Background: 0.002	01/09/2023 09:44:40
Cd Standard 5	0.786	0,1	0,8000	
1	0.786		Background: 0.003	01/09/2023 09:45:15
2	0.786		Background: 0.003	01/09/2023 09:45:19
3	0.785		Background: 0.003	01/09/2023 09:45:23
Cd 20 ppm 100X	0.129	1,5	0,1157	
1	0.127		Background: 0.001	01/09/2023 09:46:08
2	0.129		Background: 0.001	01/09/2023 09:46:12
3	0.131		Background: 0.001	01/09/2023 09:46:17
Cd 0.15 A 100x	0.084	1,6	0,0488	0,0488
1	0.085		Background: 0.001	01/09/2023 09:46:57
2	0.084		Background: 0.001	01/09/2023 09:47:01
3	0.083		Background: 0.001	01/09/2023 09:47:06

Sample ID	Signal Abs	Rad %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd 0.15 B 100x	0.038	1,2	0,0220	0,0220
1	0.037		Background: 0.001	01/09/2023 09:47:36
2	0.038		Background: 0.001	01/09/2023 09:47:40
3	0.038		Background: 0.001	01/09/2023 09:47:45
Cd 0.2 A 100x	0.037	0,7	0,0210	0,0210
1	0.037		Background: 0.001	01/09/2023 09:48:32
2	0.037		Background: 0.001	01/09/2023 09:48:37
3	0.037		Background: 0.001	01/09/2023 09:48:41
Cd 0.2 B 100x	0.085	0,7	0,0708	0,0708
1	0.085		Background: 0.001	01/09/2023 09:49:12
2	0.085		Background: 0.001	01/09/2023 09:49:16
3	0.086		Background: 0.001	01/09/2023 09:49:20
Cd 0.25 A 100x	0.028	4,8	0,0122	0,0122
1	0.030		Background: 0.001	01/09/2023 09:49:48
2	0.028		Background: 0.001	01/09/2023 09:49:53
3	0.027		Background: 0.001	01/09/2023 09:49:57
Cd 0.25 B 100x	0.043	0,5	0,0276	0,0276
1	0.043		Background: 0.001	01/09/2023 09:50:22
2	0.044		Background: 0.001	01/09/2023 09:50:26
3	0.043		Background: 0.001	01/09/2023 09:50:31

c. Optimasi Waktu Kontak

Thermo
S C I E N T I F I C

Operator Name: MUCHIS

Results File: C:\SOLAAR\MDATA\Logam Cu\Uji Cd Rine 14092023.SLR

Method: LJI Cd 3062022

Autosampler: None

Use SFI: No

Analysis Name: Analysis 1 14/09/2023

Operator Name: MUCHIS

General Parameters

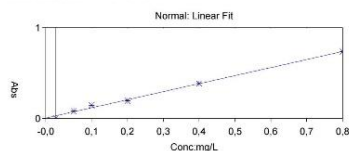
Operator: MUCHIS

Instrument Mode: Flame

Dilution: None

Analysis Details

Spectrometer: ICE 3000 AA05194702 v1.30

Solution Results - Cd

$Y = 0.89634x + 0.0263$
Fit: 0.9856
Characteristic Conc: 0.0050

Sample ID	Signal Abs	Rad %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd Blank	0,001	43,0	0,0000	
1	0.001		Background: 0.001	14/09/2023 14:48:17
2	0.001		Background: 0.001	14/09/2023 14:48:21
3	0.002		Background: 0.001	14/09/2023 14:48:25
Cd Standard 1	0,080	0,6	0,0500	
1	0.079		Background: 0.001	14/09/2023 14:48:50
2	0.080		Background: 0.001	14/09/2023 14:48:55
3	0.080		Background: 0.001	14/09/2023 14:48:59
Cd Standard 2	0,142	1,3	0,1000	
1	0.140		Background: 0.001	14/09/2023 14:49:27
2	0.142		Background: 0.001	14/09/2023 14:49:31
3	0.144		Background: 0.002	14/09/2023 14:49:35
Cd Standard 3	0,193	0,6	0,2000	
1	0.191		Background: 0.002	14/09/2023 14:50:15
2	0.193		Background: 0.002	14/09/2023 14:50:20
3	0.194		Background: 0.002	14/09/2023 14:50:24
Cd Standard 4	0,384	0,3	0,4000	
1	0.382		Background: 0.002	14/09/2023 14:50:54
2	0.384		Background: 0.002	14/09/2023 14:50:58
3	0.385		Background: 0.002	14/09/2023 14:51:03
Cd Standard 6	0,733	0,2	0,8000	
1	0.731		Background: 0.003	14/09/2023 14:51:34
2	0.734		Background: 0.003	14/09/2023 14:51:38
3	0.733		Background: 0.003	14/09/2023 14:51:42
Cd 20ppm 100x	0,272	0,3	0,2772	0,2772
1	0.273		Background: 0.002	14/09/2023 14:52:26
2	0.272		Background: 0.002	14/09/2023 14:52:30
3	0.271		Background: 0.002	14/09/2023 14:52:35
Cd 15 A 10x	0,729	0,3	0,7931	0,7931
1	0.729		Background: 0.003	14/09/2023 14:56:15
2	0.727		Background: 0.003	14/09/2023 14:56:20
3	0.731		Background: 0.003	14/09/2023 14:56:24

SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS

Report Date: 14/09/2023 15:53:50

Results File: C:\SOLAAR\MDATA\Logam CU\Uji Cd Rina 14092023.SLR

Solution Results - Cd

Sample ID	Signal Abs	Rsd %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd 15 B 100x	0,110	0,6	0,0947	0,0947
	0,111		Background 0,001	14/09/2023 15:28:46
	0,110		Background 0,002	14/09/2023 15:28:50
	0,109		Background 0,002	14/09/2023 15:28:55
Cd 30 A 10x	0,451	0,3	0,4791	0,4791
	0,450		Background 0,002	14/09/2023 14:57:42
	0,452		Background 0,002	14/09/2023 14:57:46
	0,451		Background 0,003	14/09/2023 14:57:51
Cd 30 B 100x	0,102	0,4	0,0856	0,0856
	0,103		Background 0,001	14/09/2023 15:31:45
	0,102		Background 0,002	14/09/2023 15:31:49
	0,102		Background 0,002	14/09/2023 15:31:54
Cd 45 A 100x	0,109	0,7	0,0933	0,0933
	0,110		Background 0,001	14/09/2023 15:33:21
	0,108		Background 0,001	14/09/2023 15:33:25
	0,109		Background 0,001	14/09/2023 15:33:30
Cd 45 B 100x	0,095	0,4	0,0778	0,0778
	0,095		Background 0,001	14/09/2023 15:51:50
	0,096		Background 0,001	14/09/2023 15:51:54
	0,095		Background 0,001	14/09/2023 15:51:58
Cd 60 A 10x	0,535	0,4	0,5739	0,5739
	0,535		Background 0,003	14/09/2023 15:00:51
	0,533		Background 0,003	14/09/2023 15:00:55
	0,537		Background 0,002	14/09/2023 15:00:59
Cd 60 B 100x	0,103	0,0	0,0863	0,0863
	0,103		Background 0,001	14/09/2023 15:36:56
	0,103		Background 0,001	14/09/2023 15:37:00
	0,103		Background 0,001	14/09/2023 15:37:04
Cd 90 A 10x	0,617	0,1	0,6663	0,6663
	0,618		Background 0,003	14/09/2023 15:02:12
	0,617		Background 0,003	14/09/2023 15:02:16
	0,616		Background 0,003	14/09/2023 15:02:21
Cd 90 B 100x	0,105	1,0	0,0899	0,0899
	0,104		Background 0,001	14/09/2023 15:38:40
	0,106		Background 0,001	14/09/2023 15:38:44
	0,106		Background 0,001	14/09/2023 15:38:48



d. Optimasi Konsentrasi

Thermo
S C I E N T I F I C

Operator Name: MUCHIS
Results File: C:\SOLAAR\MIDATA\Logam Cu\Uji Cd Rtn 2192023_SLR



Report Date: 21/09/2023 14:49:51

Method: UJI Cd 30E2022
Autosampler: None
Use SFI: No

General Parameters

Operator: MUCHIS
Instrument Mode: Flame
Dilution: None

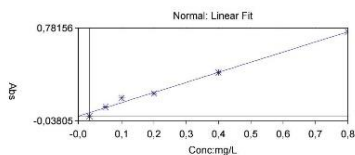
Analysis Name: Analysis 1 21/09/2023
Operator Name: MUCHIS

Analysis Details

Spectrometer: ICE 3000 AA65194702 v1.30

$Y = 0,89351x + 0,0306$
Fit: 0,9924
Characteristic Conc: 0,0049

Solution Results - Cd



Sample ID	Signal Abs	Red %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd Blank	-0,001	36,8	0,0000	
	-0,000		Background: 0,001	21/09/2023 13:44:24
	-0,001		Background: 0,001	21/09/2023 13:44:28
Cd Standard 1	0,081	0,6	0,0500	
	0,081		Background: 0,002	21/09/2023 13:45:00
	0,081		Background: 0,002	21/09/2023 13:45:05
Cd Standard 2	0,160	0,7	0,1000	
	0,162		Background: 0,002	21/09/2023 13:45:40
	0,160		Background: 0,002	21/09/2023 13:45:46
Cd Standard 3	0,199	0,2	0,2000	
	0,199		Background: 0,001	21/09/2023 14:09:41
	0,200		Background: 0,001	21/09/2023 14:09:46
Cd Standard 4	0,385	0,3	0,4000	
	0,385		Background: 0,003	21/09/2023 13:47:10
	0,383		Background: 0,003	21/09/2023 13:47:14
Cd Standard 5	0,744	0,1	0,8000	
	0,744		Background: 0,004	21/09/2023 13:47:44
	0,745		Background: 0,004	21/09/2023 13:47:49
Cd 10 ppm 100x	0,283	0,2	0,2824	0,2824
	0,282		Background: 0,003	21/09/2023 13:49:43
	0,283		Background: 0,003	21/09/2023 13:49:47
	0,284		Background: 0,003	21/09/2023 13:49:52

SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS

Report Date: 21/09/2023 14:49:51

Results File: C:\SOLAAR\MIDATA\Logam Cu\Uji Cd Rina 2192023.SLR

Solution Results - Cd

Sample ID	Signal Abs	Rad %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd 20 ppm 100x	0,400	0,7	0,4131	0,4131
1	0,403		Background: 0,003	21/09/2023 13:50:31
2	0,399		Background: 0,003	21/09/2023 13:50:35
3	0,387		Background: 0,003	21/09/2023 13:50:39
Cd 40 ppm 100x	0,551	0,4	0,5935	0,5935
1	0,552		Background: 0,003	21/09/2023 13:51:22
2	0,559		Background: 0,003	21/09/2023 13:51:27
3	0,562		Background: 0,003	21/09/2023 13:51:31
Cd 60 ppm 100x	0,682	0,3	0,7295	0,7295
1	0,681		Background: 0,004	21/09/2023 13:52:00
2	0,685		Background: 0,004	21/09/2023 13:52:04
3	0,682		Background: 0,004	21/09/2023 13:52:08
Cd 80 ppm 1000x	0,103	0,6	0,0814	0,0814
1	0,103		Background: 0,001	21/09/2023 14:43:52
2	0,103		Background: 0,001	21/09/2023 14:43:56
3	0,104		Background: 0,001	21/09/2023 14:44:00
Cd 80 ppm A 100x	0,706	0,3	0,7554	0,7554
1	0,707		Background: 0,003	21/09/2023 14:01:32
2	0,706		Background: 0,004	21/09/2023 14:01:37
3	0,703		Background: 0,004	21/09/2023 14:01:41
Cd 80 ppm B 100x	0,697	0,3	0,7454	0,7454
1	0,699		Background: 0,004	21/09/2023 14:02:04
2	0,697		Background: 0,004	21/09/2023 14:02:09
3	0,695		Background: 0,004	21/09/2023 14:02:13
Cd 60 ppm A 100x	0,590	0,2	0,6260	0,6260
1	0,589		Background: 0,003	21/09/2023 14:02:39
2	0,591		Background: 0,004	21/09/2023 14:02:43
3	0,590		Background: 0,003	21/09/2023 14:02:47
Cd 60 ppm B 100x	0,620	0,4	0,6598	0,6598
1	0,616		Background: 0,004	21/09/2023 14:03:16
2	0,622		Background: 0,004	21/09/2023 14:03:20
3	0,621		Background: 0,004	21/09/2023 14:03:24
Cd 40 ppm A 100x	0,356	0,3	0,3642	0,3642
1	0,357		Background: 0,003	21/09/2023 14:03:53
2	0,356		Background: 0,003	21/09/2023 14:03:57
3	0,355		Background: 0,003	21/09/2023 14:04:02

SOLAAR Data Station V11,10

Page 2 - Results

SOLAAR AA Report

Operator Name: MUCHIS

Report Date: 21/09/2023 14:49:51

Results File: C:\SOLAAR\MIDATA\Logam Cu\Uji Cd Rina 2192023.SLR

Solution Results - Cd

Sample ID	Signal Abs	Rad %	Conc mg/L	Corrected Conc mg/L
Cd 40 ppm B 100x	0,362	0,0	0,3707	0,3707
1	0,362		Background: 0,003	21/09/2023 14:04:27
2	0,362		Background: 0,003	21/09/2023 14:04:32
3	0,362		Background: 0,003	21/09/2023 14:04:38
Cd 20 ppm A 100x	0,262	0,7	0,2587	0,2587
1	0,260		Background: 0,002	21/09/2023 14:05:01
2	0,263		Background: 0,003	21/09/2023 14:05:06
3	0,262		Background: 0,003	21/09/2023 14:05:10
Cd 20 ppm B 100x	0,238	0,7	0,2319	0,2319
1	0,236		Background: 0,002	21/09/2023 14:05:35
2	0,238		Background: 0,002	21/09/2023 14:05:39
3	0,239		Background: 0,002	21/09/2023 14:05:44
Cd 10 ppm A 100x	0,227	0,7	0,2200	0,2200
1	0,225		Background: 0,002	21/09/2023 14:06:08
2	0,228		Background: 0,002	21/09/2023 14:06:11
3	0,228		Background: 0,002	21/09/2023 14:06:15
Cd 10 ppm B 100x	0,208	0,3	0,1983	0,1983
1	0,208		Background: 0,002	21/09/2023 14:06:39
2	0,207		Background: 0,002	21/09/2023 14:06:43
3	0,209		Background: 0,002	21/09/2023 14:06:48

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Rina Alivia Nurhidayati
2. TTL : Wonosobo, 22 November 2000
3. Alamat : Kebondalem RT 04 RW 04, Sukorejo,
Mojotengah, Wonosobo
4. No.HP : 081228580627
5. E-mail : rinaalivia.ra@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. MI Ma'arif Kebondalem
2. SMPN 1 Mojotengah
3. SMAN 1 Wonosobo

Semarang, 5 Oktober 2023

Rina Alivia Nurhidayati
1908036042