

TA/TL/2023/[nomor admin]*

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI BATANG KANGKUNG AIR DENGAN CARBON NANOTUBE MENJADI FIBER ADSORBENT UNTUK MENYERAP LOGAM KADMIUM DALAM AIR

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**ZAUROSSA SALSABILA FIRDAUSI RAHMAN
19513095**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR
MODIFIKASI BATANG KANGKUNG AIR DENGAN
CARBON NANOTUBE MENJADI FIBER ADSORBENT
UNTUK MENYERAP LOGAM KADMIUM DALAM AIR

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



ZAUROSSA SALSABILA FIRDAUSI RAHMAN
19513095

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406
Tanggal: 20 Oktober 2023

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal: 20 Oktober 2023

HALAMAN PENGESAHAN*

**MODIFIKASI BATANG KANGKUNG AIR DENGAN
CARBON NANOTUBE MENJADI FIBER ADSORBENT
UNTUK MENYERAP LOGAM CADMIUM DALAM AIR**
Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat
Tanggal : 20 Oktober 2023

Disusun Oleh:

ZAUROSSA SALSABILA FIRDAUSI RAHMAN
19513095

Tim Penguji :

Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.



(
(
(

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Zaurossa Salsabila F. R.

NIM: 19513095

PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini yang berjudul **Modifikasi Batang Kangkung Air dengan Carbon Nanotube Menjadi Fiber Adsorbent Untuk Menyerap Logam Kadmium dalam Air**. Tugas ini disusun untuk memenuhi syarat penyelesaian program sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyelesaian tugas akhir tentu tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan dari beberapa pihak. Maka dari itu, penulis akan menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan dan masukan pada penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir.
2. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji I yang telah memberikan arahan dan masukan pada penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir.
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku dosen penguji II yang telah memberikan arahan dan masukan pada penelitian sampai dengan penyusunan laporan akhir.
4. Ibu Ati Qotulmuna selaku ibu penulis serta Ilham Yunan selaku kakak penulis yang selalu mendoakan kesehatan, kelancaran dan memberikan dukungan moril maupun materi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman-teman satu topik adsorpsi yang selalu memberikan dukungan selama penelitian sampai penulisan tugas akhir.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir jauh dari kata sempurna. Sehingga saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan penulis agar laporan ini dapat lebih baik. Semoga laporan ini bermanfaat bagi para pembaca dan dapat dijadikan referensi penelitian berikutnya.

Yogyakarta, 15 Agustus 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Zaurossa Salsabila Firdausi Rahman', written in a cursive style.

Zaurossa Salsabila Firdausi Rahman

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang sifatnya sangat toksik baik bagi lingkungan maupun bagi kesehatan makhluk hidup. Limbah kadmium seringkali ditemukan di air akibat buangan limbah dari industri. Salah satu cara untuk mengurangi kadmium di dalam air yaitu dengan adsorpsi. Adsorpsi dipilih karena biaya yang terjangkau dan efisiensi penyisihan cukup tinggi. Adsorben yang digunakan pada penelitian ini yaitu batang kangkung air, karena mudah ditemukan, harga terjangkau serta kandungan selulosa dan amina pada batang kangkung air dapat menyerap logam dengan baik. Batang kangkung air diolah dengan aktivasi asam sitrat ($C_6H_8O_7$) kemudian dimodifikasi dengan karbon nanotube dan dijadikan fiber adsorbent untuk menambah kemampuan adsorben dalam menyerap limbah kadmium. Tujuan penelitian ini mengetahui karakteristik permukaan batang kangkung air, mengetahui massa, pH, waktu kontak dan konsentrasi optimum. Penelitian dilakukan dengan studi literatur dan uji di laboratorium menggunakan metode batch. Hasil uji karakteristik dengan FTIR menunjukkan bahwa batang kangkung memiliki gugus karboksil dan hidroksil. Hasil uji SEM perbesaran 1500x dan 3000x menunjukkan permukaan batang kangkung teraktivasi memiliki pori yang lebih lebar dan bersih. Pori pada fiber adsorbent batang kangkung tidak terlalu terlihat namun permukaan lebih padat. Kondisi optimum fiber adsorbent kangkung air yaitu massa 100 gram dengan efisiensi mencapai 88%. pH optimum 5 dengan efisiensi 73,67%. Waktu kontak optimum pada 120 menit dengan efisiensi 55,89 % dan konsentrasi optimum 100 mg/L dengan jumlah ion teradsorpsi 29,85 mg/g. Isoterm adsorpsi yang sesuai untuk proses adsorpsi kadmium oleh fiber adsorbent kangkung air yaitu isoterm Langmuir dengan nilai $R^2 = 0,7719$ dan kapasitas adsorpsi 21,882 mg/g.

Kata kunci: Adsorpsi, Fiber Adsorbent, Kadmium, Kangkung air

ABSTRACT

Cadmium (Cd) is one of the heavy metals that is very toxic both for the environment and for the health of living things. Cadmium waste is often found in water due to waste from industry. One way to reduce cadmium in water is by adsorption. Adsorption was chosen because of its affordable cost and high enough allowance efficiency. The adsorbent used in this study is water spinach stems, because it is easy to find, affordable prices and the cellulose and amine content in water kale stems can adsorb metals well. Water spinach stems are treated with citric acid activation ($C_6H_8O_7$) then modified with carbon nanotubes and used as fiber adsorbents to increase the ability of adsorbents to absorb cadmium waste. The purpose of this study is to know the surface characteristics of water spinach stems, determine the mass, pH, contact time and optimum concentration. The research was conducted by literature study and laboratory tests using the batch method. The results of the characteristic test with FTIR show that spinach stems have a carboxyl and hydroxyl group. The results of the 1500x and 3000x magnification SEM test showed that the surface of the activated spinach stem had wider and cleaner pores. The pores on the spinach stem adsorbent fiber are not very visible but the surface is denser. The optimum condition of water spinach fiber adsorbent is a mass of 100 grams with an efficiency of up to 88%. Optimum pH 5 with an efficiency of 73,67%. Optimum contact time at 120 minutes with an efficiency of 55,89% and an optimum concentration of 100 mg/L with the number of adsorbed ions was 29,85 mg/g. The adsorption isotherms suitable for the cadmium adsorption process by water spinach adsorbent fibers are Langmuir isotherms with a value of $R^2 = 0,7719$ and an adsorption capacity of 21,882 mg/g.

Keywords: Adsorption, Cadmium, Fiber Adsorbent, Water Spinach

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|--|--------------|
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| DAFTAR GAMBAR | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Ruang Lingkup | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Adsorpsi | 5 |
| 2.2 Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi | 5 |
| 2.3 Jenis Jenis Adsorpsi | 6 |
| 2.4 Carbon Nanotube | 7 |
| 2.5 Fiber Adsorbent | 8 |
| 2.6 Logam Kadmium | 8 |
| 2.7 Kangkung Air dan Kegunaannya | 9 |
| 2.8 Uji Karakteristik Adsorben | 10 |
| 2.9 Penelitian Terdahulu | 11 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 14 |
| 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian | 14 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 14 |
| 3.3 Prosedur Analisis Data | 15 |
| 3.3.1 Variabel Penelitian | 15 |
| 3.3.2 Prosedur Penelitian | 15 |
| 3.3.3 Pembuatan Serbuk Batang Kangkung | 16 |
| 3.3.4 Aktivasi Sebuk Batang Kangkung Menggunakan Asam Sitrat | 17 |
| 3.3.5 Pembuatan Na-Alginate 2% | 17 |
| 3.3.6 Pembuatan <i>Fiber Adsorbent</i> | 18 |
| 3.3.7 Pembuatan dan Pengujian Larutan Standar Logam Kadmium | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.8 Karakterisasi Adsorben | 18 |
| 3.3.9 Uji Variasi Massa | 19 |
| 3.3.9 Uji Variasi pH | 19 |
| 3.3.10 Uji Variasi Waktu Kontak | 20 |
| 3.3.11 Uji Variasi Konsentrasi Larutan | 21 |
| 3.4 Metode Analisis Data | 22 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 23 |
| 4.1 Karakteristik Adsorben | 23 |
| 4.1.1 FTIR (Fourtier Transform Infra Red) | 23 |
| 4.1.2 SEM (Scanning Electron Microscopy) | 27 |
| 4.2 Uji Adsorpsi | 29 |
| 4.2.1. Uji Variasi Massa | 29 |
| 4.2.2. Uji Variasi pH | 31 |
| 4.2.3. Uji Variasi Waktu Kontak | 33 |
| 4.2.4. Uji Variasi Konsentrasi | 34 |
| 4.3 Isoterm adsorpsi | 36 |
| 4.3.1. Isoterm Langmuir | 36 |
| 4.3.2. Isoterm Freundlich | 39 |
| 4.3.3. Penentuan Isoterm | 40 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 42 |
| 5.1 Kesimpulan | 42 |
| 5.2 Saran | 43 |
| DAFTAR PUSTAKA | 44 |
| LAMPIRAN | 48 |
| RIWAYAT HIDUP | 62 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4. 1 Klasifikasi titik puncak FTIR | 26 |
| Tabel 4. 2 Data hasil uji variasi massa..... | 30 |
| Tabel 4. 3 Data hasil uji variasi pH..... | 31 |
| Tabel 4. 4 Hasil data uji variasi waktu kontak..... | 33 |
| Tabel 4. 5 Hasil uji variasi konsentrasi | 35 |
| Tabel 4. 6 Data penentuan konstanta langmuir pada <i>fiber adsorbent</i> kangkung air..... | 37 |
| Tabel 4. 7 Data penentuan konstanta Freundlich <i>fiber adsorbent</i> kangkung air..... | 39 |
| Tabel 4. 8 Hasil pemodelan isoterm Langmuir dan Freundlich..... | 40 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian..... | 16 |
| Gambar 3. 2 Diagram alir pembuatan batang kangkung air..... | 16 |
| Gambar 3. 3 Diagram alir aktivasi adsorben | 17 |
| Gambar 3. 4 Diagram alir pembuatan Na-Alginate 2% | 17 |
| Gambar 3. 5 Diagram alir pembuatan fiber adsorbent | 18 |
| Gambar 3. 6 Diagram alir uji variasi massa | 19 |
| Gambar 3. 7 Diagram alir uji variasi pH | 20 |
| Gambar 3. 8 Diagram alir uji variasi waktu | 21 |
| Gambar 3. 9 Diagram alir uji variasi konsentrasi..... | 21 |
| Gambar 4. 1 Hasil uji FTIR kangkung air sebelum aktivasi..... | 24 |
| Gambar 4. 2 Hasil uji FTIR kangkung air setelah aktivasi | 24 |
| Gambar 4. 3 Hasil uji FTIR fiber adsorbent kangkung air..... | 25 |
| Gambar 4. 4 Gabungan hasil FTIR fiber adsorbent, kangkung teraktivasi dan kangkung belum teraktivasi | 25 |
| Gambar 4. 5 (a) Perbesaran 1500x permukaan adsorben sebelum aktivasi (b) Perbesaran 3000x permukaan adsorben sebelum aktivasi..... | 27 |
| Gambar 4. 6 (a) Perbesaran 1500x permukaan adsorben setelah aktivasi (b) Perbesaran 3000x permukaan adsorben setelah aktivasi..... | 28 |
| Gambar 4. 7 (a) Perbesaran 1500x permukaan fiber adsorbent (b) Perbesaran 3000x permukaan fiber adsorbent..... | 28 |
| Gambar 4. 9 Grafik hubungan variasi massa terhadap efisiensi removal..... | 30 |
| Gambar 4. 10 Grafik hubungan variasi pH dengan efisiensi removal | 32 |
| Gambar 4. 11 Grafik hubungan waktu kontak dengan efisiensi removal..... | 34 |
| Gambar 4. 12 Grafik hubungan konsentrasi dengan efisiensi removal | 35 |

Gambar 4. 13 Grafik hasil data isoterm langmuir fiber adsorbent kangkung
air 38

Gambar 4. 14 Grafik hasil data isoterm Freundlich fiber adsorbent
kangkung air 40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman, kegiatan industri di Indonesia juga semakin berkembang. Perkembangan industri di Indonesia bukan hanya memberikan dampak positif, tetapi juga memberikan dampak negatif. Banyak industri yang belum memiliki *water treatment* sebelum melakukan pembuangan air limbah sisa hasil industri. Tidak adanya *water treatment* untuk pembuangan air limbah sisa hasil industri ini dapat memberikan berbagai efek samping. Limbah yang dihasilkan dari sisa hasil proses industri mengandung berbagai macam senyawa kimia berbahaya dan sukar larut dalam air, salah satunya logam berat (Wijaya *et al.*, 2020).

Kadmium merupakan salah satu logam berat yang memiliki efek berbahaya karena memiliki toksisitas yang tinggi. Kadmium seringkali digunakan sebagai bahan baku industri maupun bahan penunjang industri. Penggunaan kadmium diantaranya yaitu sebagai campuran pigmen dalam pembuatan keramik dan cat, juga untuk pelapisan logam dan baterai Ni-Cd. Paparan kadmium pada tubuh dapat menimbulkan penyakit kronis dan kerusakan pada organ karena kadmium sukar dieliminasi oleh tubuh. Penyerapan kadmium dapat terjadi melalui saluran pernapasan dan pada kadar yang lebih rendah dapat melalui saluran pencernaan. Menurut Tinkov, *et al.*, (2018) paparan kadmium dapat mengakibatkan disfungsi ginjal dan hati, edema paru, kerusakan testis, osteomalacia dan kerusakan pada adrenal sistem hemopoietic.

Beberapa metode dapat dilakukan untuk mengurangi dan mengatasi logam berat diantaranya adalah koagulasi-flokulasi, elektrokoagulasi, oksidasi kimia dan adsorpsi. Menurut Emam, *et al.*, (2020) adsorpsi merupakan metode yang pengaplikasiannya mudah, biaya cukup terjangkau, efektif dan juga efisien. Efektivitas dari proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh jenis adsorben yang di pakai. Baru baru ini adsorben yang terbuat dari bahan alami lebih sering digunakan karena selain ramah

lingkungan, adsorben dari bahan alami juga tidak menimbulkan zat pencemar baru. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai adsorben yaitu kangkung air.

Kangkung merupakan sayuran yang sangat diminati oleh masyarakat Indonesia karena rasanya yang enak serta cara memasaknya yang mudah dan praktis. Kangkung juga mudah ditemukan dimana mana serta harganya sangat terjangkau. Selain mudah ditemukan, kangkung juga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Menurut penelitian Marianto *et al.*, (2009) kangkung air mampu menyerap logam berat yang ada di perairan. Kangkung air memiliki kandungan protein yang memiliki gugus asam amino dan gugus hidroksil pada selulosa. Kedua gugus ini berperan pada pertukaran ion serta adsorpsi logam berat pada air limbah (Ni'mah *et al.*, 2007). Asam amino yang terlarut dalam air akan membentuk gugus karboksilat (COOH) dan melepaskan ion H^+ dan gugus amina NH^2+ menerima ion H^+ dan membentuk NH^3+ . Ion ion inilah yang sangat reaktif berikatan dengan ion ion logam.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan kangkung air sebagai adsorben pernah dilakukan oleh Zaqiatul., *et al.*, (2021) untuk adsorpsi pewarna tekstil. Bagian kangkung air yang digunakan pada penelitian ini hanya bagian batangnya saja. Hasil dari penelitian ini berupa panjang gelombang optimum pada spektrofotometer UV-VIS yaitu 532 nm dan ukuran partikel 270 mesh untuk mendapat luas permukaan adsorben yang optimum. Penelitian lain juga telah dilakukan oleh Suhud *et al.*, (2012) dengan variasi uji pH dan konsentrasi pada batang serta akar kangkung. Pada penelitian ini pH optimum pada akar kangkung air yaitu 4 dengan daya adsorpsi mencapai 94.860% dan pH optimum 3 pada batang kangkung air dengan daya adsorpsi 94.842%. Kemudian konsentrasi optimum yang didapatkan pada akar dan batang sama yaitu pada 600 ppm dengan kemampuan adsorpsi pada akar sebesar 91,862 mg/g dan pada batang sebesar 91,118 mg/g.

Pada penelitian ini, dilakukan uji kemampuan adsorpsi kadmium pada air dengan membandingkan adsorben batang kangkung tanpa penambahan karbon nanotube dan modifikasi fiber, dengan batangkangkung dengan penambahan karbon nanotube serta modifikasi menjadi *fiber adsorbent*. Karbon nanotube memiliki struktur seperti *honeycomb* yang dapat menyerap logam kadmium dalam air. Kemudian adanya modifikasi *fiber adsorbent* diharapkan dapat meningkatkan efektivitas penyerapan dikarenakan teknik enkapsulasi pada *fiber adsorbent* dapat melindungi komponen bahan yang sensitif serta mengurangi degradasi senyawa aktif dalam bahan (Palupi *et al.*, 2014). Kemudian analisa karakteristik batang kangkung yang dimodifikasi menggunakan instrumen AAS, mencari efisiensi removal dan penentuan nilai optimum pada variasi uji pH, massa, waktu pengujian dan variasi konstentrasi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan kasus yang dijabarkan di latar belakang, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti pada Tugas Akhir ini:

1. Bagaimana karakteristik dari permukaan batang kangkung air yang dimodifikasi dengan karbon nanotube menjadi fiber adsorbent?
2. Bagaimana efektifitas batang kangkung air dalam menyerap kadmium dengan variasi massa, pH, waktu kontak dan konsentrasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin di capai dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis karakteristik pada permukaan batang kangkung yang dimodifikasi dengan karbon nanotube menjadi fiber adsorbent
2. Menganalisis efektivitas batang kangkung sebagai adsorben dengan variasi waktu, pH, massa dan konsentrasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberi informasi mengenai kemampuan penyerapan logam Cd dalam air menggunakan batang kangkung air yang dimodifikasi menjadi *fiber adsorbent*
2. Memberi informasi mengenai model isoterm adsorpsi penyerapan logam Cd
3. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan yang dapat memudahkan pengaplikasian ampas teh dalam kasus pencemaran air.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun lingkup (batasan) dari penelitian ini yaitu :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Penelitian Air sampel merupakan air buatan (sintetis) dari padatan kadmium dengan metode uji mengacu pada SNI 6989.16:2009 tentang Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada Air dan Air Limbah
3. Adsorben dimodifikasi dengan Na-Alginat sehingga berbentuk fiber
4. Uji kemampuan penyerapan logam Cd dengan fiber adsorbent kangkung air menggunakan metode batch dengan variasi massa, pH, waktu dan konsentrasi
5. Analisa model isoterm adsorpsi dengan isoterm Langmuir dan Freundlich
6. Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
7. Analisa tampak permukaan adsorben menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan atau penjerapan suatu molekul (adsorbat) oleh zat penjerap (adsorben) yang berupa padatan. Adsorpsi dapat terjadi apabila ada reaksi suatu zat dengan penjerapnya berupa ikatan kimia fisika dan terjadi peningkatan konsentrasi pada permukaan.

Terdapat dua komponen yang dimiliki oleh adsorpsi yaitu adsorben dan adsorbat. Adsorben merupakan zat yang menyerap atau menarik zat lain, sementara adsorbat merupakan zat yang ditarik oleh adsorben. Gaya pada molekul adsorben cenderung tidak setimbang dimana gaya adhesi lebih kecil dari gaya kohesi. Kemudian gaya yang tidak setimbang ini menyebabkan adsorben menarik zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya (Perwitasari, 2008).

2.2 Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Daya serap adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantaranya adalah jenis adsorbat (logam berat) berat dan sifat dari adsorben yang dijelaskan lebih detail sebagai berikut :

1. Jenis Adsorbat

- a. Ukuran molekul adsorbat

Hal yang perlu diperhatikan agar adsorpsi terjadi adalah ukuran molekul adsorbat. Molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul yang diameternya sama atau lebih kecil dari diameter pori adsorben.

- b. Polaritas molekul adsorbat

Jika diameter molekul sama, maka molekul yang polar lebih mudah diserap daripada molekul yang kurang polar, kemudian molekul lebih polar dapat menggantikan molekul kurang polar yang telah diserap (Apriliani, 2010).

2. Sifat Adsorben

- a. Kemurnian adsorben, adsorben yang tingkat kemurniannya tinggi memiliki daya serap yang lebih baik (Apriliani, 2010). Kemudian perlakuan fisik seperti perebusan atau pengeringan dapat dilakukan untuk mengurangi kontaminasi yang dapat menghambat proses adsorpsi (Derco, 2018)
- b. Luas permukaan berpengaruh pada penyerapan polutan. Apabila permukaan adsorben semakin luas, maka polutan ataupun zat yang diserap akan semakin banyak (Derco, 2018)
- c. Temperatur dapat mempengaruhi efektivitas dalam penyerapan. Apabila temperatur terlalu tinggi, dapat merusak protein yang berdampak pada penyerapan polutan (Derco, 2018)
- d. pH, pada pH sangat basa atau >10 penukaran ion sulit dikarenakan sedikitnya jumlah logam dapat membentuk ion kompleks netral atau dalam bentuk hidroksida anionik. Pertukaran kation lebih efektif pada kondisi pH yang asam atau normal (Utama, 2015).
- e. Patrikulat, adanya patrikulat dalam larutan dapat menyebabkan penyumbatan media adsorben pada saat mengadsorpsi ion logam sehingga menghambat laju adsorpsi. Oleh karena itu sebelum proses adsorpsi, dapat dilakukan proses filtrasi terlebih dahulu untuk mencegah terjadinya penyumbatan (Utama, 2015).

2.3 Jenis Jenis Adsorpsi

Jenis adsorpsi dapat dibagi menjadi sebagai berikut

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika dapat terjadi apabila gaya tarik antar molekul lebih kecil dari gaya intermolekular. Gaya ini disebut dengan gaya *Van der Waals* sehingga adsorbat dapat bergerak bergerak gerak di permukaan adsorben. Gaya antar molekul adalah gaya tarik menarik antara molekul fluida dengan permukaan yang padat. Sementara gaya intermolekular yaitu gaya tarik menarik antara molekul itu sendiri (Sudirjo, 2005).

Pada adsorpsi fisika biasanya panas adsorpsi yang dikeluarkan sekitar 10 kJ/mol. Adsorpsi fisika juga terjadi pada suhu yang cenderung rendah dan zat yang teradsorpsi akan terus berkurang seiring dengan kenaikan suhu. Terdapat banyak zat yang teradsorpsi pada beberapa lapisan monokuler, kemudian apabila adsorben bersentuhan dengan adsorbat maka akan tercapai kesetimbangan. Hal ini dikarenakan tidak terlibatnya energi aktivasi pada adsorpsi fisika (Apriliani, 2010).

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia merupakan proses yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dengan ion antara molekul adsorbat dan adsorben, kemudian terjadi pemutusan serta pembentukan ikatan. Ikatan yang terbentuk ini merupakan ikatan yang kuat dan lapisan yang terbentuk disebut lapisan monolayer (Apriliani, 2010). Pada proses adsorpsi kimia, kalor yang dihasilkan cukup tinggi yaitu 100 kJ/mol serta zat yang teradsorpsi semakin bertambah seiring dengan kenaikan suhu. Oleh karena itu, adsorpsi kimia membutuhkan energi yang cukup banyak untuk melepas kembali adsorbat dalam proses adsorpsi karena adsorpsi kimia bersifat tidak balik atau *irreversible*. Senyawa aktif yang dimiliki molekul adsorben membuatnya mampu berinteraksi dengan logam pada permukaan sel.

Carbon Nanotube

Carbon nanotube atau CNT merupakan struktur karbon yang memiliki bentuk menyerupai tabung (*tube*) dan berukuran nano dengan perbandingan panjang : lebar yaitu 132.000.000:1 (Venkatesan *et al.*, 2014). Bentuk CNT juga dapat dideskripsikan seperti lembaran grafena yang memiliki ketebalan 1 atom dan digulung menyerupai tabung. Lembaran ini memiliki struktur seperti *honeycomb* dengan ikatan atom atom karbon (O'Connell, 2006). Molekul silinder yang dimiliki CNT sangat bermanfaat untuk berbagai macam bidang nanoteknologi karena memiliki konduktivitas termal. CNT selain digunakan pada nanoteknologi juga digunakan pada bahan kerangka sepeda, pembuatan nano-ram, pita nano, penggunaan pada bidang optik bahkan elektronik.

Untuk meningkatkan efektivitasnya sebagai material, CNT biasanya direaksikan dengan logam oksida (Lestari *et al.*, 2014). Pada penelitian ini CNT dimodifikasi untuk penambahan bahan pembuatan *fiber adsorbent*. Penambahan CNT ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas penyerapan adsorben karena CNT dapat membantu meningkatkan kemampuan *fiber* untuk mengikat logam Cd di dalam air.

Fiber Adsorbent

Fiber adsorbent dapat terbentuk karena terjadi enkapsulasi antara adsorben yang bereaksi dengan natrium alginat (Salsabila, 2022). Alginat umumnya ditemukan pada dinding sel alga coklat. Alginat merupakan polisakarida alami yang dimana menurut Erningsih (2014), secara kimia merupakan garam yang berasal dari asam alginat dan terdiri dari monomer (1-4) β -D-asam manuronat (unit M) dan α -L-asam guluronat (unit G) yang jumlah serta distribusinya bervariasi pada sepanjang polimernya. Ciri khusus dari struktur alginat ini menarik para peneliti untuk mengembangkan alginat sebagai adsorben logam karena natrium alginat dapat bereaksi dengan berbagai jenis logam seperti Pb^{2+} , Cd^{2+} dan Cu^{2+} (Ren *et al.*, 2016).

Modifikasi yang pernah dilakukan Badarinath *et al.*, (2010) yaitu *microbeads* dari *flurbiprofen* yang menggunakan metode gelasi ionik melibatkan natrium alginat. Metode gelasi ionik dapat membuat natrium alginat serta kalsium klorida membentuk elektrostatik, yang secara fisik dapat menstabilkan ikatan kompleks pada modifikasi adsorben berbentuk *fiber*. Pada metode gelasi ionik ini juga dapat menggunakan sirink untuk campuran adsorben dan natrium alginat yang akan dimasukkan ke dalam larutan kalsium klorida agar berbentuk seperti *fiber*.

Logam Kadmium

Kadmium (cd) termasuk dalam logam berat yang memiliki berat molekular 112,4 gram/mol, memiliki bilangan oksidasi +2 dan nomor atom 48. Ciri fisik kadmium yaitu berwarna silver dan berbentuk solid. Namun kadmium dalam kondisi murni berwarna putih kebiruan (Cobb, 2008). Titik

didih kadmium yaitu 765°C dan titik lelehnya sebesar 320.9°C (Sigel *et al.*, 2013).

Sumber pencemaran kadmium berasal dari aktivitas pertambangan, industri metalurgi dan industri elektronik. Kadmium banyak digunakan oleh industri karena sifatnya yang tahan terhadap korosi. Beberapa penggunaan kadmium diantaranya yaitu untuk pelapisan logam, bahan baku baterai, sebagai pigmen warna dan stabilisator pvc. Kadmium dapat menimbulkan berbagai macam efek samping apabila terpapar dengan makhluk hidup. Paparan kadmium yang cukup tinggi sulit dinetralisir oleh tubuh, sehingga dapat menyebabkan malfungsi organ hingga kematian pada manusia. Sementara pada tumbuhan, paparan kadmium dapat menimbulkan gangguan pada pigmen fotosintesis.

Kangkung Air dan Kegunaannya

Kangkung air atau *Ipomoea aquatica* merupakan sayuran yang sangat umum ditemukan di Indonesia. Kangkung sangat digemari oleh masyarakat Indonesia karena cara memasaknya yang mudah dan praktis. Selain itu, kangkung juga mudah ditemukan dimana mana dan harganya sangat terjangkau. Selain dapat dikonsumsi menjadi pangan, kangkung juga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben penyerap logam berat. Tanaman kangkung air merupakan tanaman yang mudah menyerap logam berat dari media tumbuhnya (Suhud *et al.*, 2012).

Kangkung mengandung protein yang menghasilkan asam amino dan karbohidrat yang menghasilkan selulosa. Asam amino dalam protein terdiri dari gugus karboksilat (-COOH) yang dapat melepaskan ion H saat larut dalam air, serta gugus amina (NH₂) yang menerima ion H⁺ untuk membentuk NH³⁺. Ion ini sangat reaktif dan dapat berikatan dengan ion-ion logam. Selain itu, selulosa dalam karbohidrat memiliki gugus hidroksil (-OH) yang berinteraksi dengan gugus lain seperti -O, -N, dan -S, membentuk ikatan hidrogen atau ikatan koordinasi. Ikatan antara ion logam dengan selulosa terjadi melalui ikatan hidrogen dan gaya *Van der Waals*. Oleh karena itu, menurut Poedjiadi (2007) hal ini lah yang

menyebabkan kangkung air dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat karena sifat-sifat ini.

Uji Karakteristik Adsorben

Instrumen pada pengujian adsorben dibutuhkan untuk melihat gugus fungsi yang dimiliki adsorben, kemudian melihat struktur permukaan adsorben serta menentukan kandungan logam yang diserap adsorben baik sesudah maupun sebelum modifikasi. Instrumen yang digunakan untuk uji karakteristik adsorben yaitu FTIR, SEM dan AAS.

Penggunaan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pada penelitian ini yaitu untuk menganalisis gugus fungsi dari sampel yang diuji. Adanya radiasi inframerah (IR) membuat FTIR dapat mengidentifikasi berbagai fase baik cair, gas ataupun padat. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) adalah teknik spektroskopi yang digunakan untuk mengukur kemampuan penyerapan radiasi inframerah (IR) yang terjadi pada ikatan molekuler dalam suatu substansi. Hasil pengukuran FTIR diekspresikan dalam spektrum, dengan bilangan gelombang (cm) di sepanjang sumbu X dan persentase transmitansi (%) di sepanjang sumbu Y (Sopyan, 2020).

Molekul yang memiliki momen dipol dapat dikategorikan sebagai molekul IR aktif. Ketika ikatan kovalen dalam suatu molekul yang memiliki momen dipol berinteraksi dengan radiasi IR, terjadi osilasi dalam ikatan molekuler tersebut. Osilasi ini menyebabkan perubahan pada momen dipol molekul, yang kemudian menyebabkan molekul tersebut menyerap radiasi IR (Khan et al., 2018).

Dengan demikian, FTIR digunakan untuk menganalisis molekul-molekul dalam suatu substansi dengan mengidentifikasi ikatan molekuler yang aktif secara inframerah, berdasarkan perubahan momen dipol mereka saat berinteraksi dengan radiasi IR. Teknik ini sangat berguna dalam menganalisis struktur kimia dan gugus fungsional dalam molekul-molekul yang berpartisipasi dalam penyerapan radiasi IR.

Scanning Elektron Microscope (SEM) termasuk dalam jenis mikroskop elektron yang dapat menggambarkan spesimen dengan pemindaian berkas elektron energi tinggi dengan pola raster (Wijayanto, 2013). Daya resolusi tinggi yang dimiliki elektron lebih tinggi dibandingkan dengan cahaya yang dapat mencapai resolusi 0,1 hingga 0,2 nm sementara cahaya hanya mencapai 200 nm.

SEM digunakan untuk melihat struktur morfologi permukaan dan memberikan informasi komposisi kimia pada suatu bahan. Selain itu, dengan penggunaan SEM juga dapat mengetahui struktur serta kerusakan pada bahan material. SEM dapat memperbesar objek sampai dengan 1.000.000 kali dengan resolusi cukup tinggi. Oleh karena itu, SEM digunakan para peneliti untuk mengamati material pada tingkat submikron dan nano. Prinsip kerja SEM yaitu elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel kemudian dilakukan pemindaian berkas elektron benergi tinggi pada permukaan sampel yang kemudian menghasilkan gambar (Ul-Hamid, 2018).

Instrumen *Atomic Adsorption Spectrofotometer* (AAS) berfungsi untuk menentukan kandungan logam dengan prinsip energi radiasi gelombang elektromagnetik yang diserap oleh populasi atom yang tingkat energinya berbeda (Ahdiyati, 2020). Pengujian pada AAS menghasilkan perbedaan tingkat energi dan menimbulkan garis serapan yang cukup sempit pada setiap elemennya. Pada pengujian menggunakan instrumen AAS, monokromator merupakan salah satu komponen penting dalam instrumen tersebut. Fungsi utama monokromator dalam AAS adalah untuk memisahkan garis-garis spektral yang terdapat dalam sampel, sehingga hanya garis yang diinginkan yang dapat mencapai detektor.

Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memiliki peran penting dalam mendukung dan memberikan landasan untuk penelitian yang sedang dilakukan. Mereferensikan penelitian-penelitian sebelumnya membantu peneliti memahami konteks penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, meninjau

metodologi, mempelajari teori dan konsep peneliti sebelumnya, meninjau hasil dan temuan penelitian sebelumnya serta mendapatkan sumber literatur yang relevan untuk mendukung argumen dan memperkuat dasar penelitian. Beberapa penelitian terdahulu yang pernah melakukan penelitian pada adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu mengenai adsorpsi

| Referensi | Jenis Adsorben | Ringkasan penelitian |
|---|----------------|---|
| <i>Bioadsorbent based on water hyacinth modified with citric acid for adsorption of methylene blue in water</i> (Siswoyo, 2018) | Eceng gondok | <ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Aktivasi menggunakan asam sitrat 1,3 M c. Variasi massa 10, 25, 50, 75 dan 100 mg d. Variasi rentang pH 2 sampai dengan ph 8 e. Variasi waktu pengadukan 30menit sampai 1440 menit f. Variasi konsentrasi 100 mg/L sampai 600 mg/L g. Hasil penelitian: Diperoleh kapastitas adsorben sebelum dan sesudah aktivasi sebesar 261 mg/g dan 320 mg/g, waktu pengadukan optimum 120 menit, massa 60 gram dan konsentrasi optimum 500 ppm dengan pH 5. |
| <i>Sorption of cadmium (II) ion from aqueous solution onto sweet potato (Ipomoea batatas L.) peel adsorbent: Characterisation, kinetic and isotherm studies</i> (Asuquo et al., 2016) | Kulit ubi | <ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Rentang pH 2 sampai pH 10 c. Variasi waktu kontak 5 menit sampai 1440 menit d. Variasi konsentrasi 50, 100,150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 dan 500 ppm sebanyak 100 mL e. Kecepatan shaker 200 rpm f. Diperoleh hasil pada penelitian; waktu optimum pengadukan selama 180 menit dengan konsentrasi 200 ppm dengan pH 7. Kapasitas penyerapan maksimum sebesar 18 mg/g. |
| Efektivitas Ampas Teh Sebagai Fiber Adsorbent Pada Penyerapan Logam Kadmium (Cd) Dalam Air | Ampas teh | <ul style="list-style-type: none"> a. Metode batch b. Rentang pH 3 sampai 8 c. Dosis adsorben 25 mg, 50 mg, 100 mg, dan 200 mg |

| | | |
|--|-------------------------------------|--|
| (Salsabila, 2022) | | <p>d. Waktu kontak 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit</p> <p>e. Konsentrasi 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L dan 200 mg/L</p> <p>f. Hasil penelitian : massa optimum 100 mg dengan kemampuan penyerapan hingga 95,61%, pH optimum 6, waktu penyerapan efektif pada 5-10 menit dan konsentrasi larutan optimum 25 mg/L.</p> |
| <p>Adsorpsi Ion Kadmium (II) Dari Larutannya Menggunakan Biomassa Akar Dan Batang Kangkung Air (Suhud <i>et al.</i>, 2012)</p> | <p>Batang dan akar kangkung air</p> | <p>a. Metode batch</p> <p>b. Rentang pH 1 sampai pH 8</p> <p>c. Variasi konsentrasi 100, 200, 300, 400, 500, 600 dan 700 mg/L</p> <p>d. Hasil : pH optimum pada akar kangkung yaitu 4 dengan daya adsorpsi sebesar 94.860% dan pH optimum 3 pada batang kangkung air dengan daya adsorpsi 94.842%.</p> <p>e. Hasil : konsentrasi optimum pada akar dan batang 600 mg/L dengan daya adsorpsi sebesar 91,862 mg/g dan pada batang sebesar 91,118 mg/g.</p> |

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan selama 3 bulan, dari bulan Juni 2023 sampai dengan bulan Agustus 2023 di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

1. Alat

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| a. Oven listrik | m. Corong kaca |
| b. Neraca Analitik | n. Gelas beaker 100 mL |
| c. Magnetic stirrer | o. Gelas beaker 1000 mL |
| d. Orbital Shaker | p. Erlenmeyer 100 mL |
| e. Blender | q. Erlenmeyer 250 mL |
| f. Ayakan 100 mesh | r. Labu ukur 10 mL |
| g. Shrink 0,07 mm | s. Labu ukur 100 mL |
| h. Kertas saring | t. Labu ukur 1000 mL |
| i. pH meter | u. Pipet ukur 1 mL |
| j. Cawan porselen | v. Pipet ukur 5 mL |
| k. Kaca Arloji | w. Pipet ukur 10 mL |
| l. Spatula | |

2. Bahan

- | | |
|-----------------------------|---|
| a. Batang kangkung air | g. Carbon nanotube |
| b. Larutan induk Cd 1000 mL | h. Aquades |
| c. CaCl ₂ 5% | i. C ₆ H ₈ O ₇ 1 M |
| d. NaOH 0,1 M | |
| e. Na-alginat 2% | |

3. Instrumen

- a. *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*
- b. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*
- c. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

3.3 Prosedur Analisis Data

3.3.1 Variabel Penelitian

Terdapat 2 variabel penelitian yang berkaitan, yakni variabel bebas dan variabel terikat. Pada penelitian ini rincian 2 variabel tersebut yaitu:

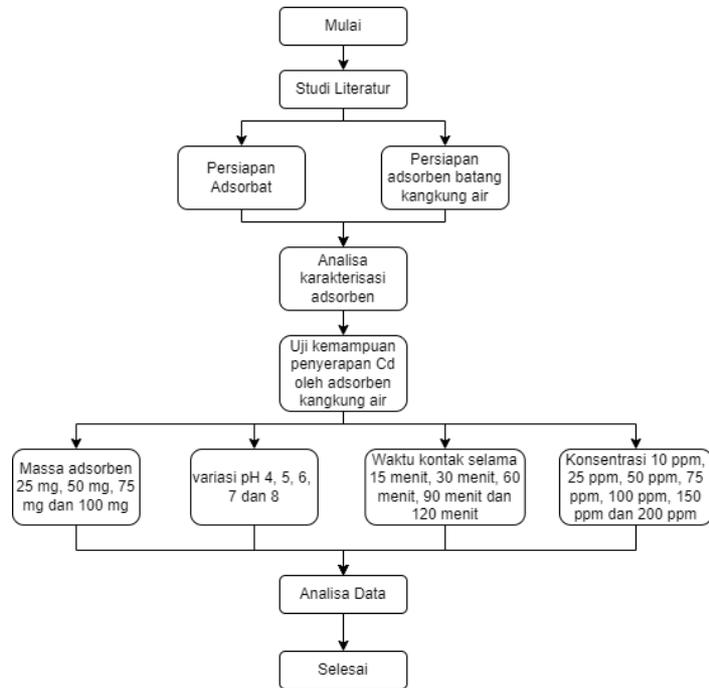
1. Variabel bebas, meliputi:
 - a. Massa Adsorben yang digunakan dalam penelitian memiliki variasi 25 mg, 50 mg, 75 mg, dan 100 mg.
 - b. Waktu kontak yang digunakan untuk pengadukan selama 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit
 - c. pH yang digunakan yaitu pH 3, 4, 5, 6, 7 dan 8
 - d. Konsentrasi larutan Cd 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L dan 200 mg/L

Nilai variabel yang tertulis menyesuaikan pada hasil uji untuk mendapatkan nilai optimum.

2. Variabel terikat, meliputi:
 - a. Adsorben dari kangkung air
 - b. Penambahan karbon nanotube
 - c. Penggunaan Na-Alginat pada pembuatan *fiber*

3.3.2 Prosedur Penelitian

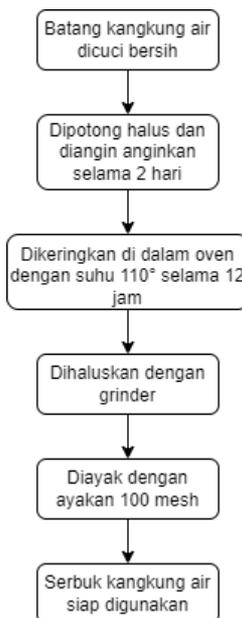
Langkah-langkah penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir yang disusun secara sistematis. Didalamnya mencakup tahapan penelitian dilengkapi dengan eksplorasi elemen-elemen kegiatan yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan ditampilkan pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.3.3 Pembuatan Serbuk Batang Kangkung

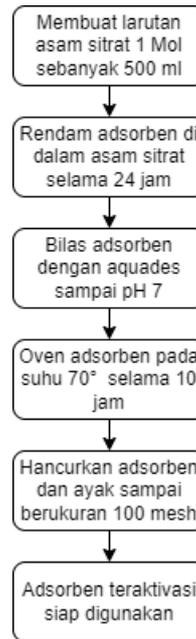
Tujuan dari pembuatan serbuk batang kangkung adalah untuk memudahkan adsorben menyerap logam berat di dalam air dan meningkatkan penyerapan. Alur pembuatan adsorben serbuk batang kangkung air ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram alir pembuatan batang kangkung air

3.3.4 Aktivasi Sebuk Batang Kangkung Menggunakan Asam Sitrat

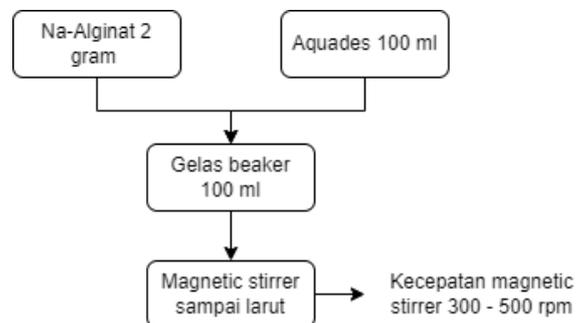
Tujuan dari aktivasi batang kangkung menggunakan asam sitrat yaitu untuk memperluas ukuran pori adsorben, sehingga adsorben dapat menyerap lebih banyak logam. Alur aktivasi adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram alir aktivasi adsorben

3.3.5 Pembuatan Na-Alginate 2%

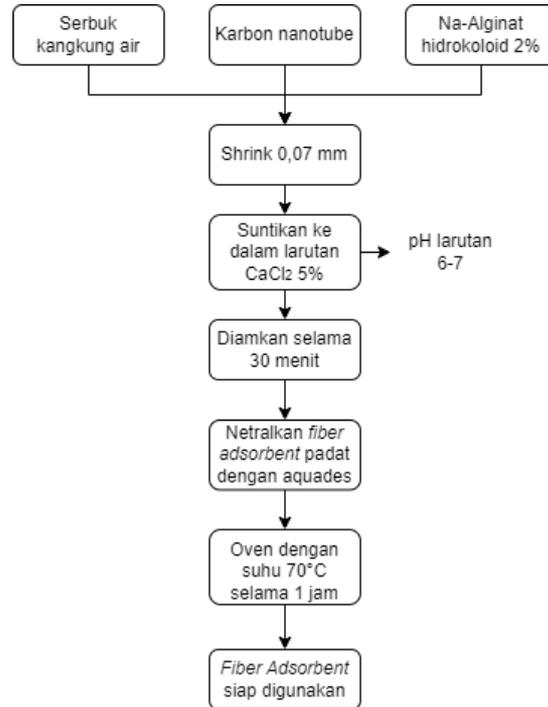
Pembuatan Na-alginat ini mengacu pada penelitian Sedyanto (2018). Pembuatan Na-alginat digunakan agar sebuk kangkung air membentuk fiber. Proses pembuatan Na-alginat dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Diagram alir pembuatan Na-Alginate 2%

3.3.6 Pembuatan *Fiber Adsorbent*

Pembuatan fiber adsorbent dari batang kangkung air menggunakan campuran Na-alginat yang sudah dilarutkan dengan aquades 100 ml. Bentuk fiber pada adsorbent memudahkan pengaplikasian adsorbent di dalam air. Langkah pembuatan fiber adsorbent dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram alir pembuatan fiber adsorbent

3.3.7 Pembuatan dan Pengujian Larutan Standar Logam Kadmium

Acuan yang digunakan dalam prosedur pembuatan dan pengujian larutan standar logam kadmium yaitu SNI 06-6989.16-2004, Air dan air limbah – Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala.

3.3.8 Karakterisasi Adsorben

Untuk mengetahui karakterisasi adsorben dapat menggunakan instrumen FTIR dan SEM. Karakterisasi dengan instrumen FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben. FTIR membantu dalam pemahaman struktur kimia adsorben. Sementara

instrumen SEM digunakan untuk mengamati morfologi dan struktur permukaan adsorben pada tingkat mikroskopis. Instrumen AAS digunakan untuk menganalisis dan mengukur kandungan logam berat dalam adsorben dan menentukan sejauh mana adsorben dapat menghilangkan logam-logam berat tersebut dari larutan.

3.3.9 Uji Variasi Massa

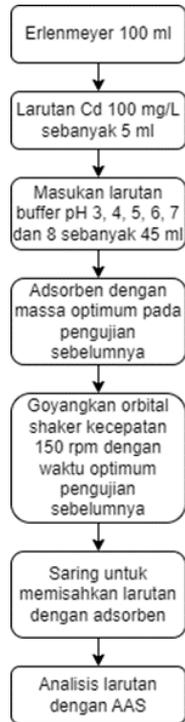
Tujuan dari uji variasi massa yaitu mengetahui kemampuan penyerapan dari setiap massa yang diuji, serta mengetahui massa optimum untuk penyerapan logam kadmium. Langkah pengujian variasi massa dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram alir uji variasi massa

3.3.9 Uji Variasi pH

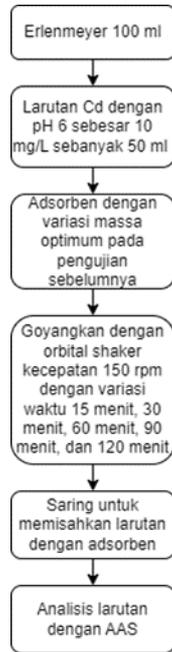
Uji variasi pH larutan dilakukan untuk mengetahui pada pH berapa adsorben optimum melakukan penyerapan dan pengaruh pH pada penyerapan adsorben. Langkah pengujian variasi pH dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 7 Diagram alir uji variasi pH

3.3.10 Uji Variasi Waktu Kontak

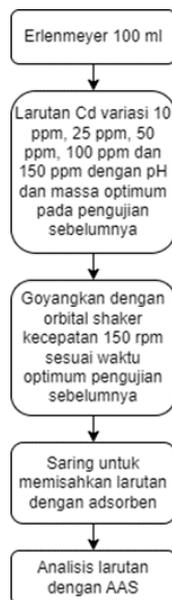
Uji variasi waktu pada adsorben dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu pada pengujian adsorben dan mengetahui waktu optimum untuk pengujian adsorben terhadap logam kadmium. Langkah pengujian variasi waktu dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Diagram alir uji variasi waktu

3.3.11 Uji Variasi Konsentrasi Larutan

Pengujian variasi konsentrasi larutan bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi adsorbat pada pengujian kemampuan adsorben dan menemukan konsentrasi optimum saat adsorben kontak dengan larutan kadmium. Langkah pengujian variasi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Diagram alir uji variasi konsentrasi

3.4 Metode Analisis Data

Analisa yang dilakukan yaitu menghitung efektivitas adsorben dan menentukan isotherm adsorpsi dari logam Cd. Mengacu dari Larasati (2015), efektivitas adsorpsi logam dapat dihitung menggunakan rumus efektivitas penurunan dengan persamaan dibawah

$$Ef = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana

Ef = Efektivitas Penurunan (%)

Y_i = Kandungan Cd awal

Y_f = Kandungan Cd akhir (mg/L)

Penentuan model isotherm menggunakan 2 model yaitu isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich. Model isotherm yang dianggap lebih sesuai yaitu nilai R^2 lebih besar dan mendekati 0. Berikut merupakan persamaan dari isotherm Langmuir dan Freundlich :

Isotherm Langmuir :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{kLq_m} \dots \dots \dots (3.2)$$

Isotherm Freundlich :

$$\log (q_e) = \log K_f + \frac{1}{n} \log (C_e) \dots \dots \dots (3.3)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Adsorben

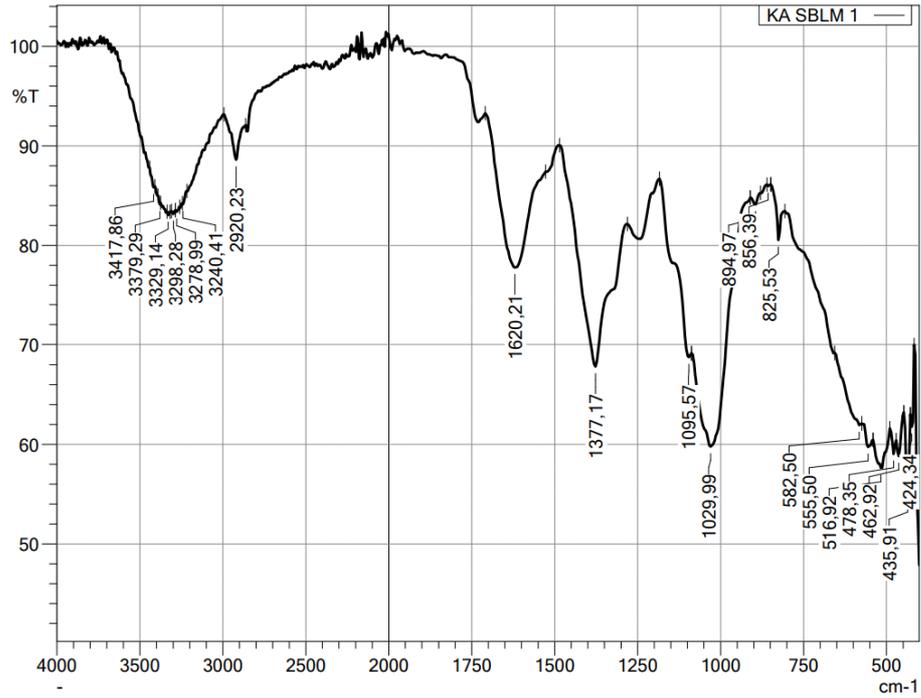
4.1.1 FTIR (Fourtier Transform Infra Red)

Penggunaan instrumen *Fourtier Transform Infra Red* (FTIR) pada adsorpsi yaitu untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada senyawa adsorben secara kualitatif. Pengujian FTIR fokus pada keberadaan gugus fungsi yang dimiliki adsorben agar dapat menyerap logam berat. Kangkung air memiliki kandungan karbohidrat sebanyak 4,40 gr dan selulosa 3,90 gr pada setiap 100 gr kangkung air segar (Zaqiyatul, 2021). Protein terdiri dari berbagai macam asam amino yang membentuk rantai polipeptida. Gugus karboksilat (-COOH) pada asam amino dapat melepaskan ion H^+ ketika larut dalam air. Gugus amina (-NH₂) pada asam amino menerima ion H^+ dan membentuk NH^{3+} . Ion NH^{3+} yang terbentuk ini sangat reaktif dan memiliki kemampuan untuk berikatan dengan ion logam dalam air. Dengan demikian, gugus asam amino pada protein dapat berperan sebagai penukar ion dan penyerap logam berat dalam lingkungan air (Ni'mah *et al*, 2007).

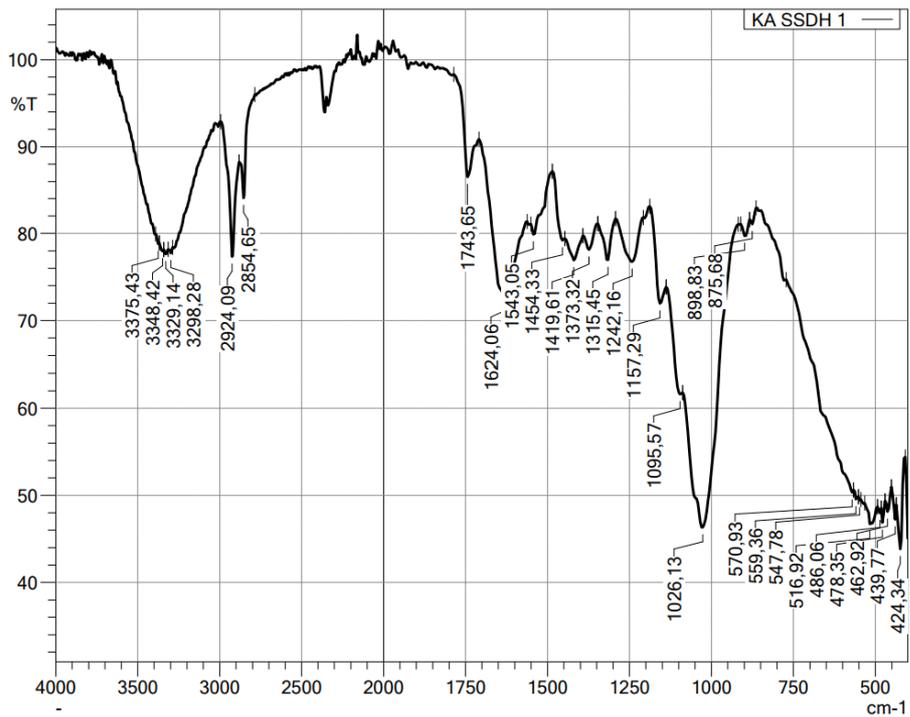
Peran gugus hidroksil (-OH) pada struktur selulosa yang merupakan komponen utama dinding sel tumbuhan yaitu dapat berinteraksi dengan gugus lain seperti -O, -N, dan -S (Suhud *et al*, 2012). Interaksi ini dapat menghasilkan ikatan koordinasi antara gugus hidroksil selulosa dan logam berat yang ada dalam larutan. Selain itu, gaya *van der Waals* juga dapat terlibat dalam interaksi ini. Kombinasi ikatan koordinasi dan gaya *van der Waals* membuat gugus hidroksil pada selulosa berperan sebagai penyerap logam berat dalam air.

Data hasil FTIR dianalisis dengan cara identifikasi puncak (peak) dengan panjang gelombang tertentu. Hasil dari uji FTIR ini berupa grafik dimana panjang gelombang (cm⁻¹) ada pada sumbu x dan presentase (%) transmittan ada pada sumbu y. Dibawah ini merupakan hasil uji FTIR

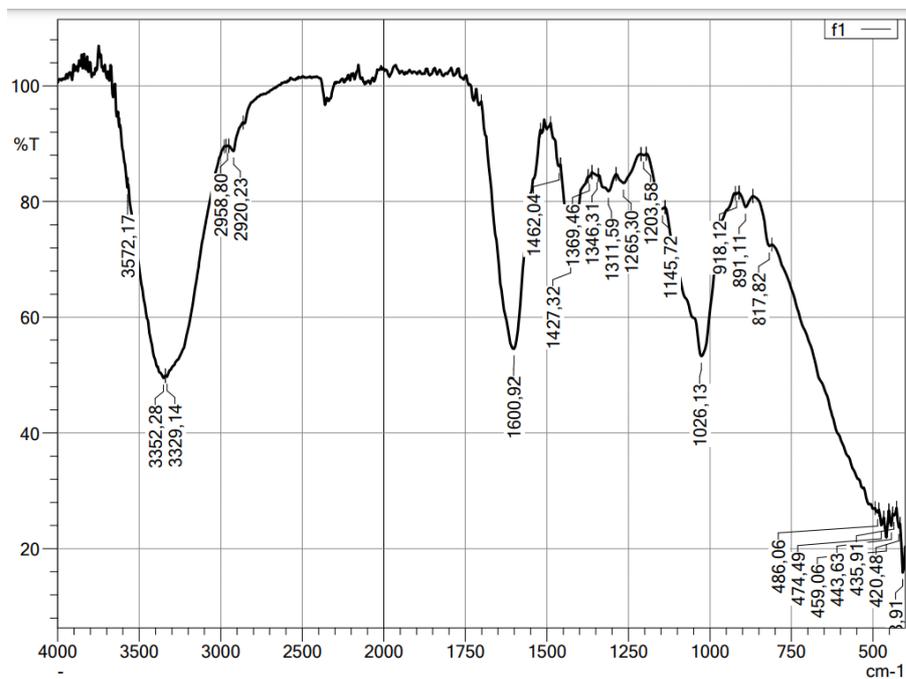
kangkung air sebelum aktivasi, kangkung air teraktivasi dan *fiber adsorbent* kangkung air sebelum dilakukan adsorpsi.



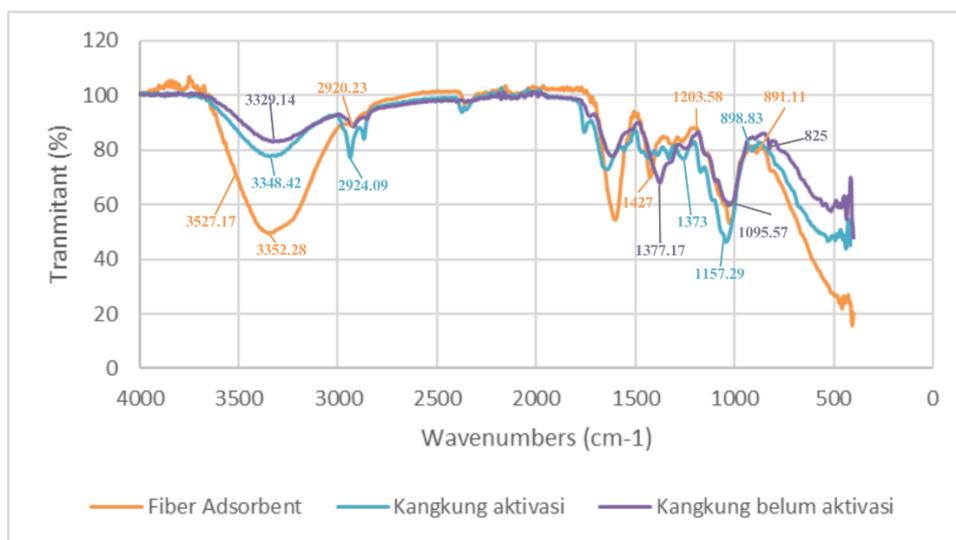
Gambar 4. 1 Hasil uji FTIR kangkung air sebelum aktivasi



Gambar 4. 2 Hasil uji FTIR kangkung air setelah aktivasi



Gambar 4. 3 Hasil uji FTIR fiber adsorbent kangkung air



Gambar 4. 4 Gabungan hasil FTIR fiber adsorbent, kangkung teraktivasi dan kangkung belum teraktivasi

Hasil pada grafik Gambar 4.1 FTIR titik puncak yang spesifik dengan rincian tabel klasifikasi pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Klasifikasi titik puncak FTIR

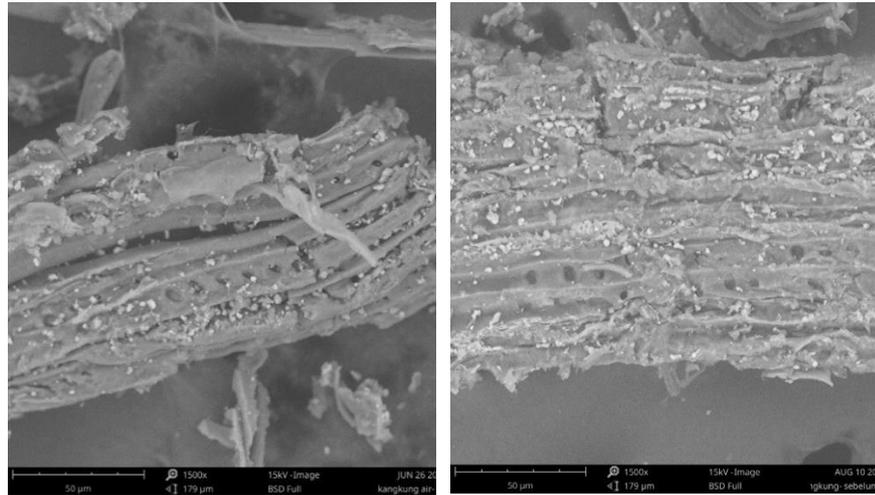
| Puncak | Kangkung air (cm-1) | Kangkung air teraktivasi (cm-1) | Fiber kangkung air (cm-1) | Panjang Gelombang (cm-1) | Ikatan | Tipe Senyawa |
|--------|---------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|---------------------|
| A | - | - | 3527,17 | 3500 - 3650 | O - H | Monomer karboksilat |
| B | 3329,14 | 3348,42 | 3352,28 | 3300 - 3500 | N - H | Amina, Amida |
| C | - | 2924,09 | 2920,23 | 2850 - 2970 | C - H | Alkana |
| D | 1377,17 | 1373,32 | 1427,32 | 1340 - 1470 | C - H | Alkana |
| E | 1095,57 | 1157,29 | 1203,58 | 1050 - 1300 | C - O | Asam Karboksilat |
| F | 825 | 898,83 | 891,11 | 675 - 995 | C - H | Alkena |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Klasifikasi gugus fungsi berdasarkan berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa pada adsorben yang sudah dimodifikasi menjadi fiber adsorbent terdapat gugus fungsi monomer karboksilat (O-H) pada frekuensi $3527,17 \text{ cm}^{-1}$ yang tidak ditemui pada kangkung air setelah aktivasi maupun sebelum aktivasi. Kemudian pada daerah frekuensi $3300 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ yaitu gugus fungsi amina (N-H) ditemukan pada ketiga adsorben. Gugus amina pada *fiber adsorbent* kangkung terdapat pada frekuensi $3352,28 \text{ cm}^{-1}$ pada kangkung air teraktivasi frekuensi $3348,42 \text{ cm}^{-1}$ dan pada kangkung air yang belum teraktivasi $3329,14 \text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya pada daerah frekuensi $2850 - 2970 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus alkana (C-H) terdapat di *fiber adsorbent* pada bilangan $2920,23$ dan di kangkung teraktivasi pada bilangan $2924,09 \text{ cm}^{-1}$. Pada ke tiga jenis adsorben, terdapat gugus alkana (C-H) dengan intensitas yang kuat pada daerah frekuensi $1340 - 1470 \text{ cm}^{-1}$. Posisi bilangan gelombangnya berbeda-beda untuk masing-masing adsorben; $1427,32 \text{ cm}^{-1}$ untuk fiber, $1373,32 \text{ cm}^{-1}$ untuk kangkung yang telah diaktivasi, dan $1377,17 \text{ cm}^{-1}$ untuk kangkung yang belum diaktivasi. Ketiga jenis adsorben juga menunjukkan adanya senyawa seperti eter, asam karboksilat, dan ester pada daerah frekuensi $1050 - 1300 \text{ cm}^{-1}$. Pada daerah frekuensi $675 - 995 \text{ cm}^{-1}$ dengan senyawa alkena (C-H) juga ditemukan di ketiga adsorben.

4.1.2 SEM (Scanning Electron Microscopy)

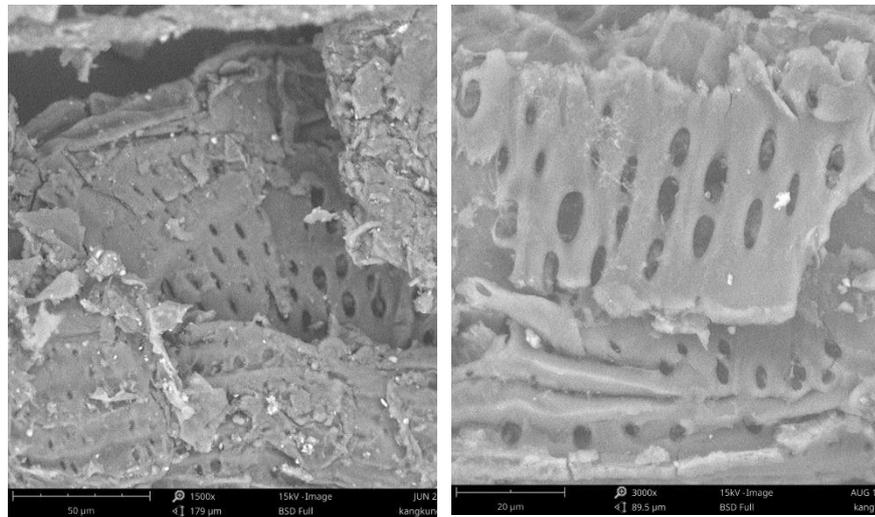
Penggunaan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk melihat permukaan adsorben kantung air sebelum aktivasi, setelah aktivasi dan setelah modifikasi menjadi *fiber adsorbent*. Perbesaran yang digunakan untuk melihat permukaan adsorben yaitu 1500x dan 3000x dengan ukuran partikel adsorben 100 mesh.



(a)

(b)

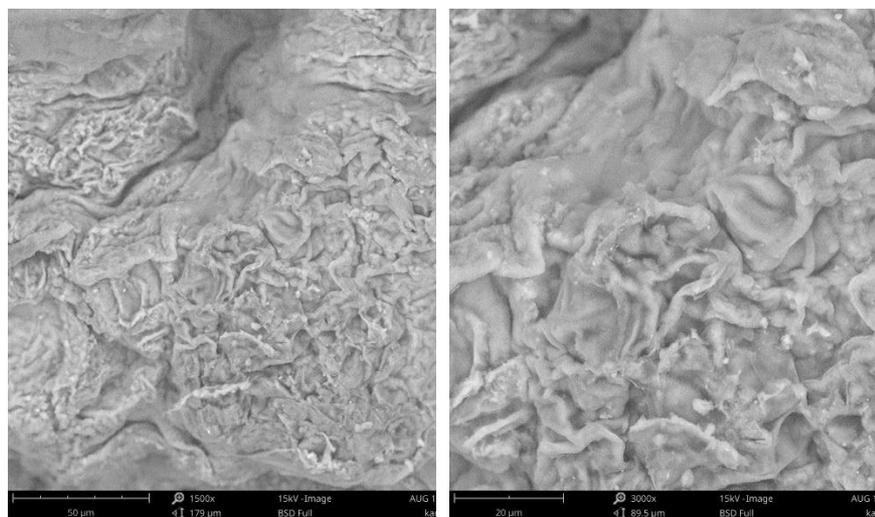
Gambar 4. 5 (a) Perbesaran 1500x permukaan fiber adsorben sebelum aktivasi
(b) Perbesaran 3000x permukaan fiber adsorben sebelum aktivasi



(a)

(b)

*Gambar 4. 6 (a) Perbesaran 1500x permukaan fiber adsorben setelah aktivasi
(b) Perbesaran 3000x permukaan fiber adsorben setelah aktivasi*



(a)

(b)

*Gambar 4. 7 (a) Perbesaran 1500x permukaan fiber adsorbent
(b) Perbesaran 3000x permukaan fiber adsorbent*

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan perbedaan yang cukup jelas. Pada perbesaran 1500x adsorben yang belum teraktivasi terlihat pori namun ukuran pori lebih kecil dibandingkan dengan adsorben yang sudah teraktivasi. Kemudian pada Gambar 4.6 pori terlihat cenderung lebih

banyak, lebih lebar serta bagian di sekitar pori lebih bersih dibandingkan dengan kangkung yang belum diaktivasi. Proses aktivasi menggunakan asam sitrat atau $C_6H_8O_7$ merupakan metode untuk membersihkan pori-pori adsorben kangkung dari kontaminan atau kotoran. Aktivasi dapat meningkatkan ketersediaan pori-pori dan permukaan adsorben untuk berinteraksi dengan logam berat dalam air. Oleh karena itu, proses aktivasi dapat meningkatkan kemampuan adsorben kangkung untuk menyerap logam berat dalam air. Dengan pori-pori yang bersih dan lebih terbuka, adsorben menjadi lebih efektif dalam menyerap logam berat dari larutan. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa proses pembentukan fiber mungkin telah mengubah morfologi adsorben kangkung. Meskipun bagian pori tidak terlalu terlihat karena penggunaan Na-Alginate pada saat pembentukan fiber, namun permukaan adsorben terlihat lebih padat. Harapannya, perubahan morfologi ini akan meningkatkan kemampuan adsorben dalam menyerap logam berat. Secara umum, tujuan aktivasi dan adanya perubahan morfologi ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja adsorben dalam aplikasi penurunan logam berat di dalam air.

4.2 Uji Adsorpsi

4.2.1. Uji Variasi Massa

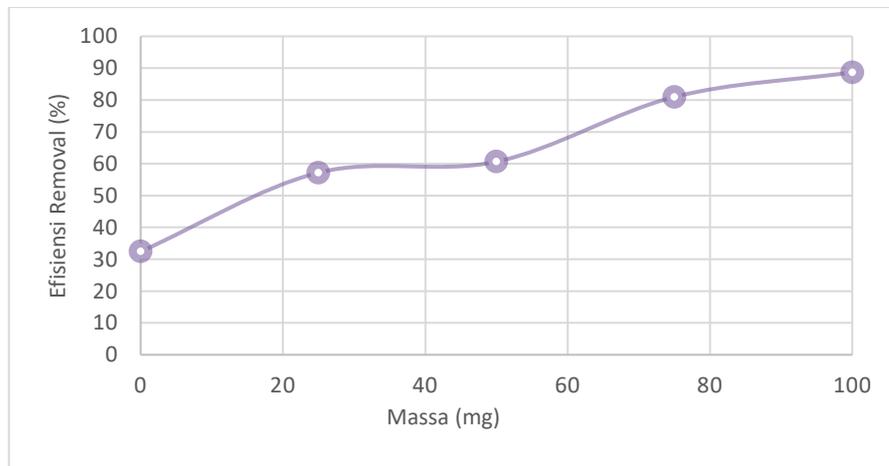
Uji variasi massa dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui massa paling optimum untuk mengadsorpsi logam berat Cd^{2+} . Variasi massa yang digunakan untuk uji yaitu 25 mg, 50 mg, 75 mg dan 100 mg. Konsentrasi larutan cadmium awal uji variasi 20 mg/L dengan larutan $CdNO_3$ sebanyak 50 ml serta pH 7. Pengondisian pH menggunakan penambahan larutan NaOH. Metode yang digunakan yaitu *batch* dengan *orbital shaker* dan waktu kontak selama 120 menit. Apabila *shaker* sudah selesai, adsorben akan disaring menggunakan kertas saring dan selanjutnya di uji menggunakan instrumen AAS. Hasil dari uji variasi massa adsorpsi logam Cd^{2+} menggunakan AAS dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data hasil uji variasi massa *fiber adsorbent*

| Massa (mg) | pH awal | pH akhir | C awal (mg/L) | C akhir (mg/L) | C terserap (mg/L) | efisiensi removal (%) |
|------------|---------|----------|---------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| 25 | 7 | 6 | 22,73 | 9,73 | 13,00 | 57,19 |
| 50 | 7 | 6 | | 8,95 | 13,78 | 60,64 |
| 75 | 7 | 6 | | 4,33 | 18,40 | 80,97 |
| 100 | 7 | 6 | | 2,56 | 20,17 | 88,71 |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Dari hasil data uji variasi massa kemudian dilakukan *plotting* ke dalam grafik untuk menunjukkan hubungan antara massa adsorben dengan efisiensi removal. Grafik ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik hubungan variasi massa *fiber adsorbent* terhadap efisiensi removal

Dari grafik, terlihat bahwa efisiensi removal meningkat seiring dengan peningkatan massa adsorben yang digunakan. Artinya, semakin banyak massa adsorben yang digunakan, maka semakin efisien proses penghilangan logam berat dari larutan. Mengutip penelitian Nurafriyanti *et al.*, (2017), peningkatan massa adsorben secara langsung berkaitan dengan peningkatan jumlah partikel dan luas permukaan adsorben. Peningkatan luas permukaan ini menghasilkan peningkatan dalam jumlah pori yang dapat mengikat logam berat, sehingga efisiensi removal juga meningkat. Massa optimum yang menghasilkan efisiensi removal tertinggi dalam penelitian ini adalah

100 mg. Pada massa ini, proses adsorpsi mencapai titik puncak dengan efisiensi sebesar 88,71%. Oleh karena itu, massa 100 mg dianggap sebagai massa optimum yang akan digunakan dalam uji variasi selanjutnya sebagai massa yang paling efektif dalam menghilangkan logam berat dari larutan.

4.2.2. Uji Variasi pH

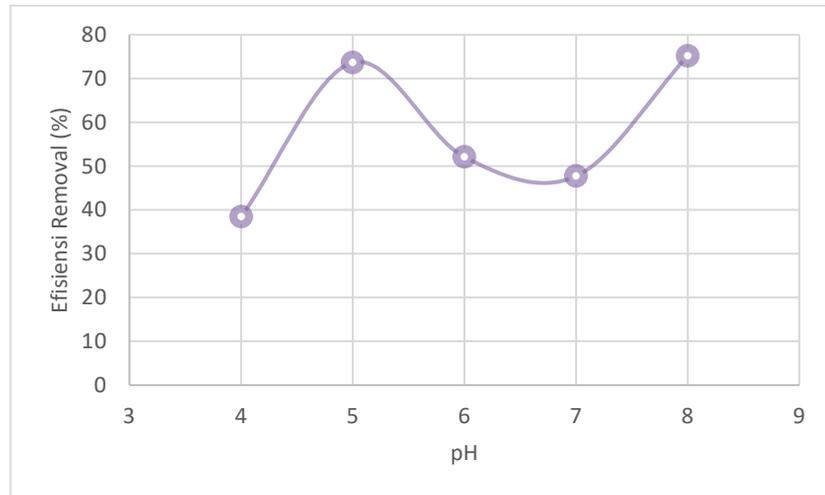
Uji variasi pH larutan bertujuan untuk mengetahui pada pH berapa adsorben memiliki kemampuan paling optimum dalam menyerap logam. Rentang pH yang digunakan untuk uji variasi pH yaitu 4,5,6,7 dan 8. Karena larutan Cd^{2+} yang digunakan memiliki pH <2, maka pengondisian pH hanya perlu larutan NaOH untuk menaikkan pH larutan sesuai pH uji variasi. Uji variasi pH menggunakan massa optimum pada pengujian sebelumnya, yaitu 100 mg dan waktu kontak selama 120 menit dan larutan uji sebanyak 50 ml. Dibawah ini adalah hasil dari uji variasi pH yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Data hasil uji variasi pH *fiber adsorbent*

| Massa (mg) | pH Rencana | pH awal | pH akhir | C awal (mg/L) | C akhir (mg/L) | C terserap (mg/L) | Efisiensi Removal (%) |
|------------|------------|---------|----------|---------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| 100 | 4 | 4 | 3,5 | 22,9 | 14,10 | 8,80 | 38,43 |
| 100 | 5 | 5 | 4,5 | | 6,03 | 16,87 | 73,67 |
| 100 | 6 | 6 | 5 | | 10,97 | 11,93 | 52,10 |
| 100 | 7 | 7 | 6 | | 11,97 | 10,93 | 47,73 |
| 100 | 8 | 8 | 7 | | 5,68 | 17,22 | 75,20 |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Dari hasil data uji variasi pH kemudian dilakukan *plotting* ke dalam grafik untuk menunjukkan hubungan antara pH adsorben dengan efisiensi removal. Grafik ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik hubungan variasi pH fiber adsorbent dengan efisiensi removal

pH atau derajat keasaman merupakan faktor penting untuk adsorpsi logam, karena kation dan ion H^+ akan berkompetisi untuk berikatan dengan situs aktif (Nurhidayati *et al.*, 2009). Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa pH awal adalah 4 kemudian terjadi kenaikan di pH 5 dan kembali menurun pada pH 6 dan 7, tetapi kemudian efisiensi removal kembali naik di pH 8. Penurunan pada pH 6-7 dapat terjadi karena larutan Cd mengalami hidrolisis yang menghasilkan perubahan dalam spesies ion kadmium dalam larutan. Kemudian kenaikan pada pH 8 dapat diindikasikan adanya pengendapan karena pada larutan basa mengandung banyak ion OH, sehingga ion kadmium cenderung akan berikatan dengan ion OH. Pengendapan ini dapat mempengaruhi interaksi adsorben dengan ion kadmium dalam larutan, dimana semakin banyak ion kadmium yang lebih dulu mengendap maka ion kadmium dalam larutan semakin berkurang (Suhud *et al.*, 2012). Maka, pH optimum yang dapat digunakan untuk uji selanjutnya adalah pH 5.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suhud, *et al* (2012) uji variasi pH batang kangkung air optimum pada pH 3 dengan kemampuan penyerapan mencapai 94,8%. pH optimum dapat disebabkan karena Ion logam dalam larutan, seperti Cd yang bermuatan positif, dapat berikatan dengan gugus aktif yang ada dalam adsorben kangkung air. Gugus aktif

penyusun adsorben kangkung terdiri dari gugus hidroksil selulosa, gugus karboksil, dan gugus amina pada protein, memiliki muatan yang cenderung berubah menjadi negatif dalam larutan. Hal ini disebabkan oleh adanya kesetimbangan antara konsentrasi ion H⁺ (hidrogen) dan ion OH⁻ (hidroksil) dalam larutan. Ion logam berat dalam larutan dapat berikatan dengan gugus aktif ini untuk membentuk senyawa kelat. Proses ini melibatkan penggantian atom H pada gugus hidroksil selulosa, gugus karboksil, dan gugus amina pada protein oleh ion logam berat. Interaksi antara ion logam dan gugus aktif pada adsorben juga melibatkan pembentukan ikatan koordinasi. Ikatan koordinasi ini memungkinkan terjadinya interaksi yang efektif antara ion logam berat (Cd) yang bermuatan positif dengan gugus aktif yang bermuatan negatif pada adsorben kangkung. Kondisi ini memungkinkan adsorben untuk secara efisien menghilangkan ion logam berat dari larutan sehingga terjadi penyerapan secara maksimal.

4.2.3. Uji Variasi Waktu Kontak

Uji variasi waktu kontak bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan adsorben untuk optimum menyerap logam dalam air hingga mencapai titik kesetimbangan (*Equilibrium*). Pada variasi waktu kontak, massa dan pH yang digunakan adalah yang paling optimum dari pengujian sebelumnya yaitu 100 mg dan pada pH 5 dan larutan uji sebanyak 50 ml. Variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Hasil dari uji waktu kontak ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil data uji variasi waktu kontak *fiber adsorbent*

| Massa (mg) | pH awal | pH akhir | Waktu (menit) | C awal (mg/L) | C akhir (mg/L) | C terserap (mg/L) | Efisiensi Removal (%) |
|------------|---------|----------|---------------|---------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| 100 | 5 | 4,5 | 15 | 21,97 | 16,28 | 5,69 | 25,90 |
| 100 | 5 | 4,5 | 30 | | 13,98 | 7,99 | 36,37 |
| 100 | 5 | 4,5 | 60 | | 11,44 | 10,53 | 47,93 |
| 100 | 5 | 4,5 | 90 | | 9,74 | 12,23 | 55,67 |
| 100 | 5 | 4,5 | 120 | | 9,69 | 12,28 | 55,89 |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Dari hasil data uji variasi waktu kontak kemudian dilakukan *plotting* ke dalam grafik untuk menunjukkan hubungan antara waktu kontak dengan efisiensi removal. Grafik ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Grafik hubungan waktu kontak fiber adsorbent dengan efisiensi removal

Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa semakin lama waktu untuk adsorpsi, maka kemampuan adsorben dalam menyerap logam semakin meningkat. Waktu optimum *fiber adsorbent* kangkung air untuk menyerap logam kadmium yaitu 120 menit karena pada waktu tersebut adsorpsi mencapai titik puncak dengan efisiensi removal 55,89%. Peningkatan efisiensi removal pada variasi waktu kontak tidak terlalu signifikan dan hanya berbeda sedikit pada setiap rentang waktunya. Pada waktu 90 menit kemungkinan permukaan adsorben sudah mulai jenuh, ditandai dengan selisih efisiensi removal pada waktu 120 menit dan 90 menit yang hanya 0,22%. Apabila sudah mencapai titik jenuh, kemampuan adsorben menyerap limbah sudah tidak lagi efektif.

4.2.4. Uji Variasi Konsentrasi

Uji variasi konsentrasi dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum yang diperlukan untuk menyerap logam Cd dalam pada larutan. Variasi konsentrasi yang digunakan yaitu 10 mg/L, 20 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L dan 200 mg/L pada larutan 50 ml dengan pH

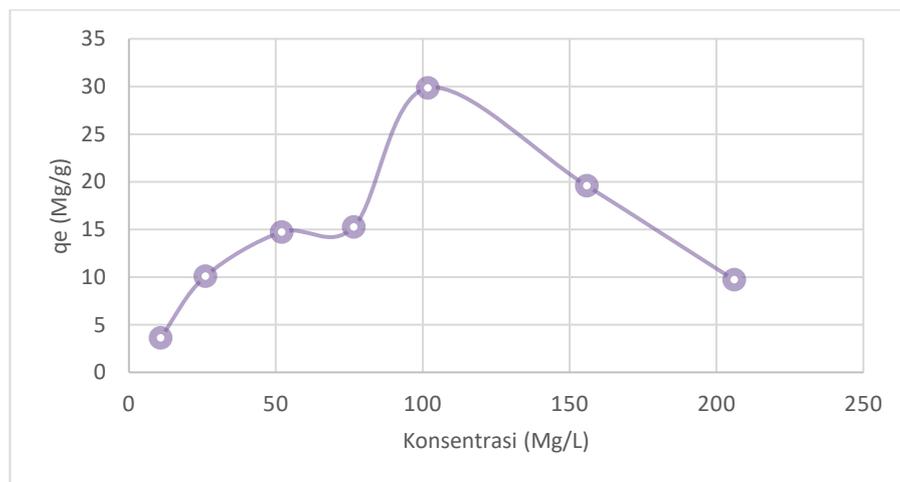
5, waktu kontak selama 120 menit dan volume larutan 50 ml. Hasil uji variasi konsentrasi ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil uji variasi konsentrasi

| Massa (mg) | pH | C Rencana | C awal (mg/L) | C Akhir (mg/L) | qe (mg/g) | Efisiensi Removal (%) |
|------------|----|-----------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|
| 100 | 5 | 10 | 10,74 | 3,52 | 3,61 | 67,23 |
| 100 | 5 | 25 | 25,97 | 5,83 | 10,07 | 77,55 |
| 100 | 5 | 50 | 51,95 | 22,50 | 14,73 | 56,69 |
| 100 | 5 | 75 | 76,47 | 45,96 | 15,26 | 39,90 |
| 100 | 5 | 100 | 101,70 | 42,00 | 29,85 | 58,70 |
| 100 | 5 | 150 | 155,83 | 116,67 | 19,58 | 25,13 |
| 100 | 5 | 200 | 206,00 | 186,60 | 9,70 | 9,42 |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Dari hasil data uji variasi konsentrasi kemudian dilakukan *plotting* ke dalam grafik untuk menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan jumlah ion yang teradsorpsi (mg/g). Grafik ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 11 Grafik hubungan konsentrasi fiber adsorbent dengan jumlah ion teradsorpsi (qe)

Berdasarkan grafik dan tabel dapat diketahui bahwa konsentrasi dengan jumlah ion teradsorpsi paling banyak adalah 100 mg/L. Namun hasil ini kurang akurat karena data error yang disebabkan karena banyaknya faktor, diantaranya penggunaan alat yang kurang higienis, bahan yang sudah kurang layak digunakan, pemipetan kurang akurat,

perlakuan adsorben kurang sesuai ataupun karena penambahan bahan pada adsorben yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi sehingga data yang didapatkan kurang sesuai.

Dari grafik pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi 10 mg/L sampai dengan konsentrasi 100 mg/L jumlah ion yang teradsorpsi (q_e) mengalami kenaikan, namun kenaikan tajam terjadi pada konsentrasi 100 mg/L. Pada titik ini, adsorben mencapai kapasitas adsorpsi maksimal dan kapasitas ini mencapai puncaknya. Kemudian jumlah ion yang teradsorpsi mengalami penurunan konstan pada konsentrasi 150 mg/L dan 200 mg/L. Jumlah ion teradsorpsi turun seiring dengan naiknya konsentrasi. Menurunnya ion yang teradsorpsi dapat menunjukkan bahwa kinerja senyawa-senyawa atau gugus penyerap logam Cd pada adsorben sudah mulai menurun. Hal ini bisa disebabkan oleh jenuhnya permukaan adsorben oleh ion logam Cd yang semakin pekat pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorben untuk menyerap logam Cd mencapai puncak pada konsentrasi 100 mg/L kemudian mulai menurun saat permukaan adsorben menjadi jenuh. Setelah uji variasi konsentrasi, dapat ditentukan kapasitas adsorpsi atau kemampuan adsorben untuk menyerap limbah yang digambarkan dalam satuan massa.

4.3 Isoterm adsorpsi

Isoterm adsorpsi menggunakan 2 metode, yaitu metode Langmuir dan Freundlich yang kemudian kedua metode ini akan dibandingkan untuk menentukan kapasitas adsorpsi serta mengetahui gambaran dari proses adsorpsi yang terjadi pada adsorbat saat keadaan setimbang.

4.3.1. Isoterm Langmuir

Metode isoterm langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi mencapai maksimum terjadi hanya pada lapisan tunggal (monolayer) pada permukaan adsorben.

Persamaan isoterm Langmuir yang dikutip dari Siswoyo, *et al* (2014) ditunjukkan pada persamaan dibawah

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e \frac{1}{k_L q_m} \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana :

C_e = Konsentrasi Equilibrium (mg/L)

q_e = Nilai Adsorpsi Logam saat Equilibrium (mg/g)

q_m = Nilai Konstanta Langmuir

K_L = Nilai Konstanta Langmuir

Untuk mendapatkan nilai K_L dan q_m diperlukan membuat grafik persamaan linier antara hubungan $1/q_e$ dan $1/C_e$ dan mendapatkan persamaan regresi linier $y = bx + a$. Nilai K_L merupakan nilai b sedangkan q_m didapatkan dengan rumus $q_m = 1/a$.

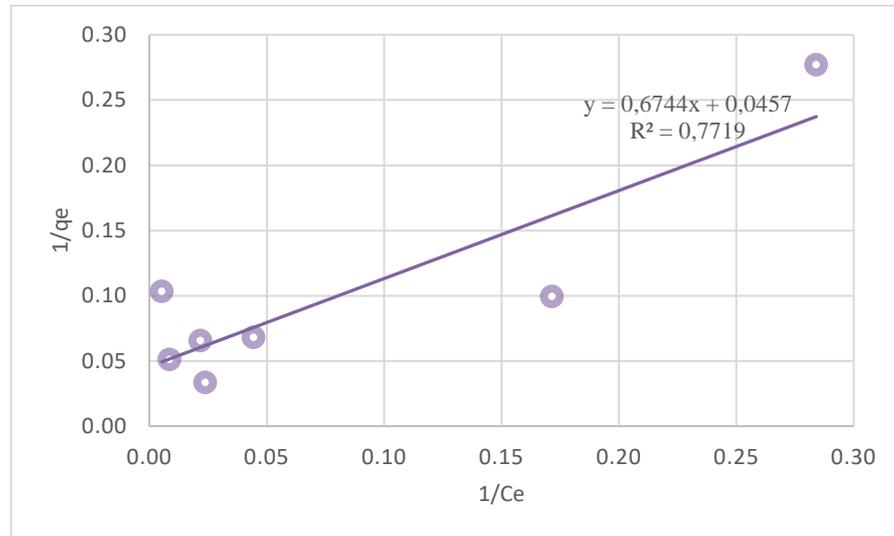
Dari hasil data uji variasi konsentrasi, dapat diketahui nilai $1/q_e$ dan $1/C_e$ dari kemampuan maksimum penyerapan *fiber adsorbent* kangkung air yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Data penentuan konstanta langmuir pada *fiber adsorbent* kangkung air

| Massa Adsorben (mg) | pH | C Rencana (mg/L) | C Awal (mg/L) | C Akhir (mg/L) | ΔC | q_e (mg/g) | $1/q_e$ | $1/C_e$ |
|---------------------|----|------------------|---------------|----------------|------------|--------------|---------|---------|
| 100 | 5 | 10 | 11 | 3,5 | 7,22 | 3,61 | 0,2770 | 0,2841 |
| | | 25 | 26 | 5,8 | 20,14 | 10,07 | 0,0993 | 0,1715 |
| | | 50 | 52 | 22,5 | 29,45 | 14,73 | 0,0679 | 0,0444 |
| | | 75 | 76,47 | 45,96 | 30,51 | 15,26 | 0,0655 | 0,0218 |
| | | 100 | 101,70 | 42,00 | 59,70 | 29,85 | 0,0335 | 0,0238 |
| | | 150 | 155,83 | 116,67 | 39,17 | 19,58 | 0,0511 | 0,0086 |
| | | 200 | 206,0 | 186,60 | 19,40 | 9,70 | 0,1031 | 0,0054 |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Hasil dari perhitungan $1/q_e$ dan $1/C_e$ kemudian di plotkan ke dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4. 13.



Gambar 4. 12 Grafik hasil data isoterm langmuir fiber adsorbent kangkung air

Dari grafik pada Gambar 4.13 dapat diketahui nilai $y = 0,6744x + 0,0457$ dengan $R^2 = 0,7719$. Nilai y ini akan digunakan untuk menghitung nilai q_m dari adsorben. Perhitungan nilai q_m dan KL dijabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q_m &= \frac{1}{a} \\
 &= 1/0,0457 \\
 &= 21,882 \text{ mg/g} \\
 KL &= \frac{1}{b \cdot q_m} \\
 &= \frac{1}{0,6744 \times 21,882 \text{ mg/g}} \\
 &= 0,0678 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat diartikan bahwa kapasitas maksimum dari logam kadmium yang dapat diserap oleh *fiber adsorbent* kangkung air sebesar 21,882 mg dalam 1 gram *fiber adsorbent* kangkung air dengan konstanta langmuir 0,0678 mg/g. Perhitungan kapasitas maksimum (q_m) dapat diaplikasikan pada perhitungan efektifitas adsorben dalam skala yang besar.

4.3.2. Isoterm Freundlich

Metode isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan (multilayer) dan *site* yang bersifat heterogen. Proses penyerapan oleh adsorben pada saat adsorpsi juga terjadi dengan tingkat energi yang berbeda. Adapun persamaan isoterm freundlich :

$$q_e = k_f \cdot C_e^{1/n} \dots\dots\dots(4.2)$$

Dimana

q_e = Jumlah zat yang teradsorpsi (mg/g)

C_e = Konsentrasi pada kesetimbangan (mg/L)

k_f = Konstanta Freundlich

n = Konstanta

Mengutip dari Ozcan, *et al .*, (2005), jika $n = 1$ maka adsorpsi yang terjadi adalah linear. Kemudian untuk nilai $n < 1$, maka proses adsorpsi yang terjadi adalah secara kimia. Apabila $n > 1$ maka proses adsorpsi adalah secara fisika. Untuk mendapatkan nilai k_f dan n , persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$\log (q_e) = \log k_f + \frac{1}{n} \log (C_e) \dots\dots\dots(4.3)$$

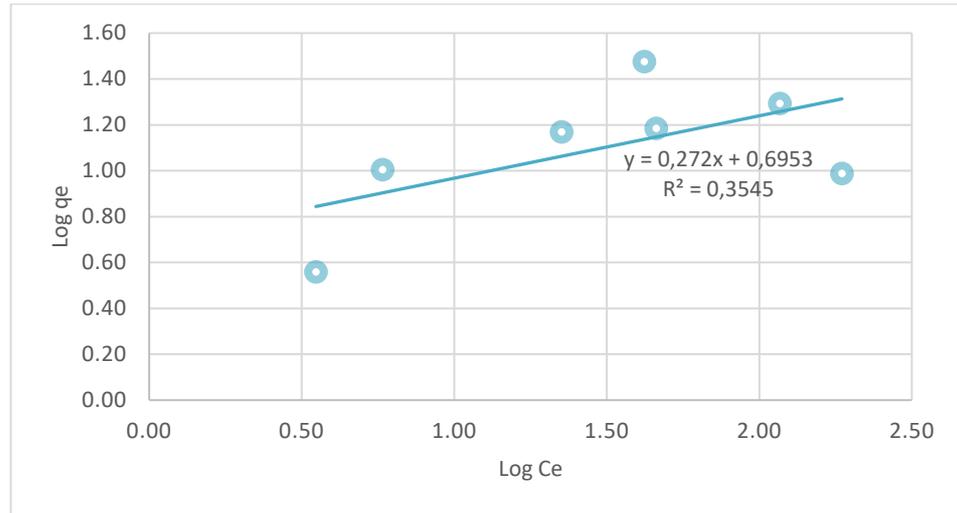
Data hasil perhitungan isoterm Freundlich berdasarkan persamaan ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Data penentuan konstanta Freundlich *fiber adsorbent* kangkung air

| Massa Adsorben (mg) | pH | C Rencana (mg/L) | C Awal (mg/L) | C Akhir (mg/L) | ΔC | q_e (mg/g) | Log q_e | Log C_e |
|---------------------|----|------------------|---------------|----------------|------------|--------------|-----------|-----------|
| 100 | 5 | 10 | 11 | 3,5 | 7,22 | 3,61 | 0,5575 | 0,5465 |
| | | 25 | 26 | 5,8 | 20,14 | 10,07 | 1,0030 | 0,7657 |
| | | 50 | 52 | 22,5 | 29,45 | 14,73 | 1,1681 | 1,3522 |
| | | 75 | 76,47 | 45,96 | 30,51 | 15,26 | 1,1835 | 1,6623 |
| | | 100 | 101,70 | 42,00 | 59,70 | 29,5 | 1,4749 | 1,6232 |
| | | 150 | 155,83 | 116,67 | 39,17 | 19,58 | 1,2919 | 2,0669 |
| | | 200 | 206,0 | 186,60 | 19,40 | 9,70 | 0,9868 | 2,2709 |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Dari hasil perhitungan isoterm Freundlich pada tabel, kemudian hasil di plotting ke dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 13 Grafik hasil data isoterm Freundlich fiber adsorbent kangkung air

Dari grafik dapat diketahui persamaan $y = 0,272x + 0,6953$ dengan nilai $R^2 = 0,3545$. Dari persamaan ini kemudian didapatkan nilai Kf dan nilai n secara berturut turut yaitu 4,9579 dan 3,6764.

4.3.3. Penentuan Isoterm

Pada data isotherm Langmuir dan Isoterm Freundlich didapatkan data nilai R^2 dan konstanta. Selanjutnya nilai R^2 serta konstanta pada kedua isoterm akan dibandingkan untuk menentukan model adsorpsi yang sesuai. Perbandingan nilai R^2 dan konstanta ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil perbandingan isoterm Langmuir dan Freundlich

| Adsorben | Isoterm Langmuir | | |
|------------------------------|--------------------|----------|----------|
| | R ² | qm | KL |
| Fiber adsorbent kangkung air | 0,7719 | 21,881 | 0,0677 |
| | Isoterm Freundlich | | |
| | R ² | Kf | n |
| | 0,3545 | 4,957926 | 3,676471 |

(Sumber : Data Primer, 2023)

Dari Tabel 4.8. dapat dilihat bahwa nilai R^2 pada isoterm Langmuir lebih besar dan mendekati 0 dibandingkan dengan isoterm Freundlich. Hal

ini menunjukkan bahwa *fiber adsorbent* kangkung air lebih mendekati model isoterm Langmuir. Isoterm Langmuir mendefinisikan bahwa reaksi antara adsorbat dan adsorben terjadi pada lapisan tunggal (monolayer) dimana adsorpsi bersifat kimia dengan terbentuknya ikatan kovalen koordinasi antara ion Cd dengan gugus hidroksil (OH).

Setelah mendapatkan model isoterm yang sesuai, karakteristik adsorben dapat diketahui melalui parameter kesetimbangan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RL = \frac{1}{1+(KL \times C_0)} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana

KL = Konstanta Langmuir

C₀ = Konsentrasi awal ion logam

Nilai RL pada parameter kesetimbangan menyatakan karakteristik isoterm berdasarkan kategorinya :

RL > 1 Kurang baik

RL = 1 Linear

RL = 0 *Irreversible*

0 < RL < 1 Baik

Perhitungan nilai RL menggunakan persamaan (4.5) untuk konsentrasi minimum dan maksimum pada pengujian, dengan konsentrasi minimum yaitu 10 mg/L didapatkan nilai RL 0,5787 dan konsentrasi maksimum 200 mg/L dengan nilai RL 0,0668. Pada kedua konsentrasi menunjukkan bahwa jenis isoterm Langmuir masuk ke dalam kategori baik karena memenuhi syarat nilai lebih dari nol dan kurang dari 1.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari Modifikasi Batang Kangkung Air Dengan Carbon Nanotube Menjadi *Fiber Adsorbent* untuk Menyerap Logam Kadmium dalam Air pada bab hasil dan pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil uji instrumen FTIR, pada kangkung air sebelum aktivasi, sesudah aktivasi dan setelah modifikasi menjadi fiber adsorbent terdapat gugus hidroksil, karboksilat dan amina. Namun gugus monomer karboksilat hanya ditemukan pada fiber adsorbent kangkung air. Ketiga bahan ini dapat menjadi adsorben yang efektif untuk menyerap logam kadmium di dalam air.
2. Berdasarkan uji instrumen SEM, morfologi permukaan adsorben sebelum aktivasi, setelah aktivasi dan setelah modifikasi menjadi fiber adsorbent memiliki perbedaan. Pada kangkung air yang belum teraktivasi, pori cenderung berukuran lebih kecil daripada yang sudah teraktivasi. Kemudian bagian di sekitar pori pada kangkung yang belum teraktivasi lebih kotor dan pori tertutup oleh kotoran, sementara pada adsorben yang sudah teraktivasi bagian di sekitar pori lebih bersih dan ukuran pori lebih lebar. Sementara pada *fiber adsorbent* pori tidak terlalu terlihat namun permukaan adsorben lebih solid dan padat.
3. Kondisi optimum berdasarkan hasil dan pembahasan untuk adsorben yaitu massa 100 gram, dimana efisiensi mencapai 88%. Pada pH 5 adsorben optimum menyerap kadmium dengan efisiensi 73,67%. Kemudian waktu kontak optimum yaitu pada 120 menit dengan efisiensi removal 55,89 % dan konsentrasi optimum 100 mg/L dengan jumlah ion yang teradsorpsi sebanyak 29,85 mg/g.
4. Isoterm adsorpsi yang sesuai untuk proses adsorpsi kadmium oleh *fiber adsorbent* kangkung air yaitu isoterm Langmuir dengan nilai $R^2 = 0,7719$ dan kapasitas adsorpsi 21,882 mg/g.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini yang dapat diberikan untuk pengembangan selanjutnya ialah :

- a. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan uji dari air limbah industri langsung, agar adsorben dapat diaplikasikan secara nyata
- b. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan penambahan bahan lain dan aktivasi menggunakan bahan lain untuk menambah kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahdiyati, W. N. (2020). *Modifikasi Eceng Gondok Menggunakan Asam Sitrat Sebagai Adsorben Limbah Logam Cr dan Cd Pada Limbah Cair Laboratorium Kimia* (Vol. 21, Issue 1).
- Apriliani, A. (2010). Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. *Repositoy UIN*, 54–56.
- Asuquo, E. D., & Martin, A. D. (2016). Sorption Of Cadmium (II) Ion From Aqueous Solution Onto Sweet Potato (*Ipomoea Batatas L.*) Peel Adsorbent: Characterisation, Kinetic And Isotherm Studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4207–4228. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.09.024>
- Badarinath, A. V., Ravi Kumar Reddy, J., Mallikarjuna Rao, K., Alagusundaram, M., Gnanaprakash, K., & Madhu Sudhana Chetty, C. (2010). Formulation and characterization of alginate microbeads of flurbiprofen by ionotropic gelation technique. *International Journal of ChemTech Research*, 2(1), 361–367.
- Cobb, A. B. (2008). *The Elements: Cadmium*. Marshall Cavendish/Benchmark.
- Derco, J., & Vrana, B. (2018). *Biosorption*. Slovak University of Technology in Bratislava. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68261>
- Emam, A. A., Abo Faraha, S. A., Kamal, F. H., Gamal, A. M., & Basseem, M. (2020). Modification and characterization of Nano cellulose crystalline from *Eichhornia crassipes* using citric acid: An adsorption study. *CaEmam, A. A., Abo Faraha, S. A., Kamal, F. H., Gamal, A. M., & Basseem, M. (2020). Modification and Characterization of Nano Cellulose Crystalline from Eichhornia Crassipes Using Citric Acid: An Adsorption Study. Carbohydrate Polymers*, 240(March), 116202., 240(March), 116202. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116202>

- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2015). The Effectiveness of Heavy Metals Adsorptions on Leachate by Activated Carbon, Zeolite, and Silica Gel in TPA Tlekung, Batu. *Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 2(1), 44–48.
- Lestari, N. D., Pardoyo, P., & Subagio, A. (2014). Sintesis dan Karakterisasi CNT (Carbon Nanotube) Berdopan Logam Kobalt. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 17(3), 80–85. <https://doi.org/10.14710/jksa.17.3.80-85>
- Muflihati, I. (2016). Penurunan Smoky Flavor Dan Intensitas Warna Asap Cair Melalui Adsorpsi Bertingkat Menggunakan Arang Aktif Dari Sekam Padi. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 2(1), 50–55.
- Ulfin, I., & Ni'mah, Y. L. (2007). Penurunan Kadar Tembaga Dalam Larutan Dengan Menggunakan Biomassa Bulu Ayam. *Akta Kimia Indonesia*, 2(1), 57–66.
- Özcan, A. S., Erdem, B., & Özcan, A. (2005). Adsorption of Acid Blue 193 from aqueous solutions onto BTMA-bentonite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 266(1–3), 73–81.
- Pratiwi, N., Nooryaneti, M., Purnamasari, A., & Komari, N. (2009). Kajian Biosorpsi Al(III) Dalam Larutan Oleh Biomassa Batang Pisang (Musa Paradisiaca) Yang Terimmobilkan Pada Abu Layang Batubara. *Sains Dan Terapan Kimia*, 2(1), 73–84.
- Permana, R., Andhikawati, A., Ferdian, F., & Wahyu, D. (2022). Mekanisme Toksisitas Logam Kadmium Terhadap Fitoplankton : Review. *Marinade*, 5(01), 54–61. <https://doi.org/10.31629/marinade.v5i01.4307>

- Rachmaningrum, M. (2015). Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Perairan Sungai Citarum Hulu Segmen Dayeuhkolot-Nanjung Mutiara Rachmaningrum, Eka Wardhani, Kancitra Pharmawati. *Jurnal Reka Lingkungan*, 3(1), 1–11.
- Satarug, S. (2018). Dietary cadmium intake and its effects on kidneys. *Toxics*, 6(1), 1–23. <https://doi.org/10.3390/toxics6010015>
- Sedyanto, A. P. (2018). Adsorben Terenkapsulasi Na-Alginat Penyerap Logam Berat Pb (II) Dalam Air The Development Of Fiber Adsorbent Based On Cassava Peel To Remove Pb Ion In Water. *Journal UII, Ii*, 1–17.
- Siswoyo, E., Adrian, A. R., & Tanaka, S. (2018). Bioadsorbent based on water hyacinth modified with citric acid for adsorption of methylene blue in water. *MATEC Web of Conferences*, 154, 2–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401012>
- Siswoyo, E., Mihara, Y., & Tanaka, S. (2014). Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water. *Applied Clay Science*, 97–98, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.05.024>
- Suhud, I., Tiwow, V. M. A., & Hamzah, B. (2012). Adsorpsi Ion Kadmium (Ii) Dari Larutannya Menggunakan Biomassa Akar Dan Batang Kangkung Air. *Jurnal Akademika Kimia*, 1(November), 153–158.
- Sopyan, I. (2020). *Kokristalisasi: Modifikasi Padatan Farmasi Sebagai Strategi Perbaikan Sifat Fisikokimia Obat* (1/2020). Deepublish.
- Tinkov, A. A., Filippini, T., Ajsuvakova, O. P., Skalnaya, M. G., Aaseth, J., Bjørklund, G., Gatiatulina, E. R., Popova, E. V, Nemereshina, O. N., Huang, P., Vinceti, M., & Skalny, A. V. (2018). Cadmium and Atherosclerosis: A review of toxicological mechanisms and a meta-analysis of epidemiologic studies. *Environmental Research*, 162(January), 240–260. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.008>

- Ul-Hamid, A. (2018). *A Beginners' Guide to Scanning Electron Microscopy*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-98482-7>
- Utama, S., Kristianto, H., & Andreas, A. (2016). Adsorpsi Ion Logam Kromium (Cr (VI)) Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan," VI*, 1–6.
- Venkatesan, J., Pallela, R., & Kim, S. K. (2014). Dispersion of Single Walled Carbon Nanotubes in Marine Polysaccharides for Bone Tissue Engineering. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, 4(6), 501-505.
- Wijaya, I. K., Yulia, Y. F., & Udyani, K. (2020). Pemanfaatan Daun Teh Sebagai Biosorben Logam Berat Dalam Air Limbah. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 12(2), 2533.
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. P. (2013). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(4), 33-39.
- Zaqiyatul, E., Malis, E., & Ridho, R. (2021). Pemanfaatan Biomasa Kangkung Air (*Ipomoea Aquatica* Forsk) untuk Adsorpsi Pewarna Tekstil. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya*, 3(1), 40-51.

LAMPIRAN

Lampiran I Perhitungan

1. Pembuatan larutan 1000 ml $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

$$\text{Ar Cd} = 112$$

$$\text{Ar H} = 1$$

$$\text{Ar N} = 14$$

$$\text{Ar O} = 16$$

$$\text{Ar O} = 16$$

$$\begin{aligned}\text{Mr CdNO}_3 &= 112 + (14 + (3 \times 16) \times 2) + 4(2 + 16) \\ &= 308 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa CdNO}_3 &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \times \frac{\text{Mr Cd(NO}_3)_2}{\text{Ar Cd}} \\ &= 1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 1000 \times \frac{308}{112} \\ &= 275 \text{ mg} \\ &= 0,275 \text{ g}\end{aligned}$$

Maka, untuk membuat larutan induk Cd 1000 ppm sebanyak 1000 ml dibutuhkan serbuk Cd sebanyak 0,275 gram

2. Pembuatan larutan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 1 M untuk aktivasi adsorben

$$\text{Ar C} = 12$$

$$\text{Ar H} = 1$$

$$\text{Ar O} = 16$$

$$\begin{aligned}\text{Mr C}_6\text{H}_8\text{O}_7 &= (12 \times 6) + (1 \times 8) + (16 \times 7) \\ &= 192,059 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \quad \text{M} &= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{v} \\ 1 &= \frac{\text{massa}}{192} \times \frac{1000}{500} \\ &= 96 \text{ g}\end{aligned}$$

Maka, untuk membuat 1 M $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ dibutuhkan sebanyak 96 gram bubuk $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ dilarutkan dengan aquades di dalam labu ukur 500 ml.

3. Pembuatan larutan uji kadmium

a. Larutan uji 100 mg/L

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 500 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}} = 50 \text{ mL}$$

b. Larutan uji 10 mg/L

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

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

4. Pembuatan larutan NaOH 0,1 M

$$\text{Ar Na} = 23$$

$$\text{Ar O} = 16$$

$$\text{Ar H} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Mr NaOH} &= 23 + 16 + 1 \\ &= 40 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

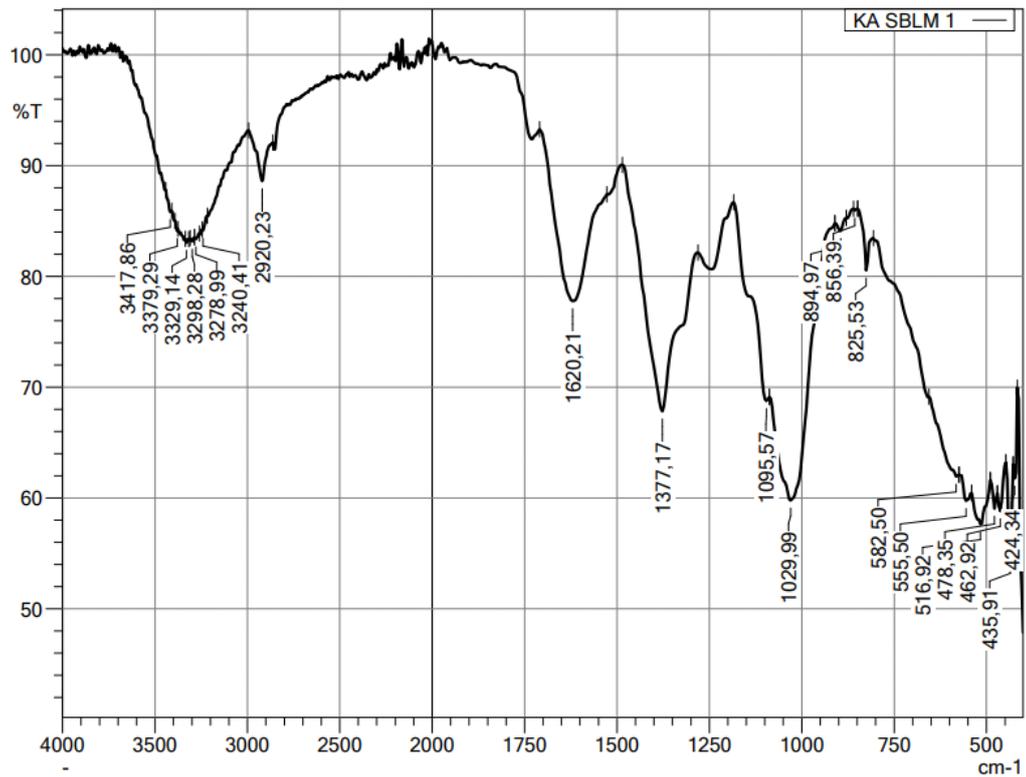
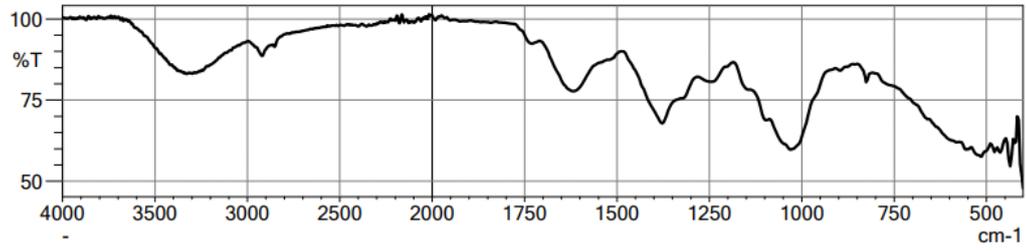
$$\text{Massa NaOH M} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{v}$$

$$\begin{aligned} 0,1 &= \frac{\text{massa}}{40} \times \frac{1000}{250} \\ &= 1 \text{ g} \end{aligned}$$

Maka, untuk membuat larutan NaOH dengan konsentrasi 0,1 M dibutuhkan 1 g NaOH bubuk dilarutkan dengan aquades di dalam labu ukur 250 ml.

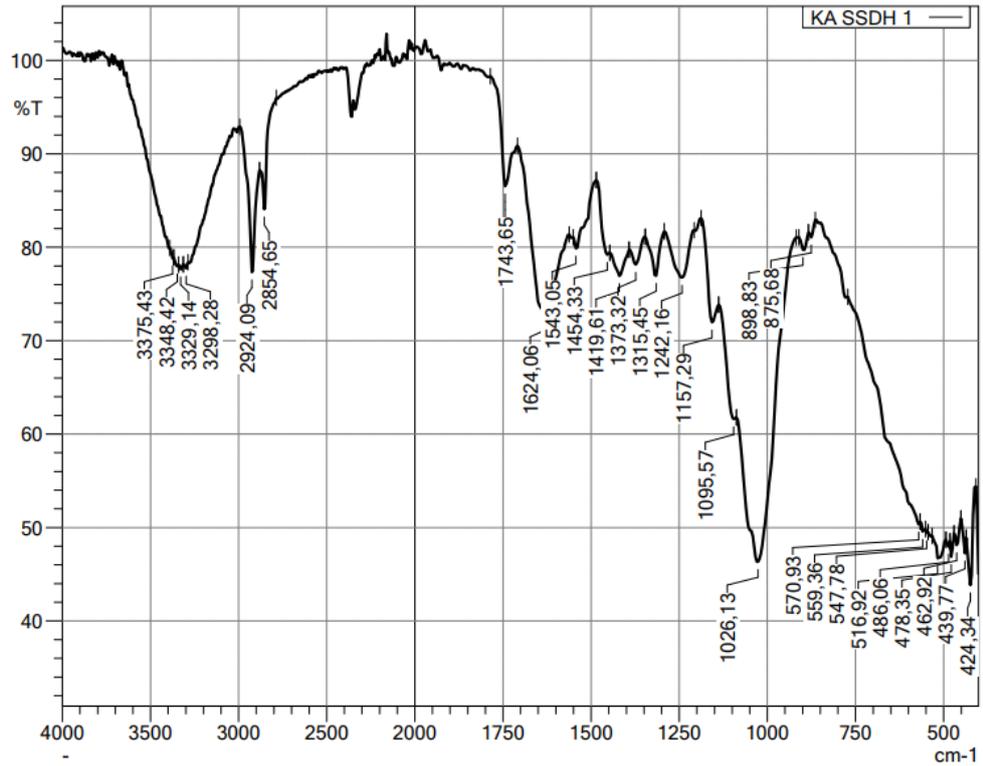
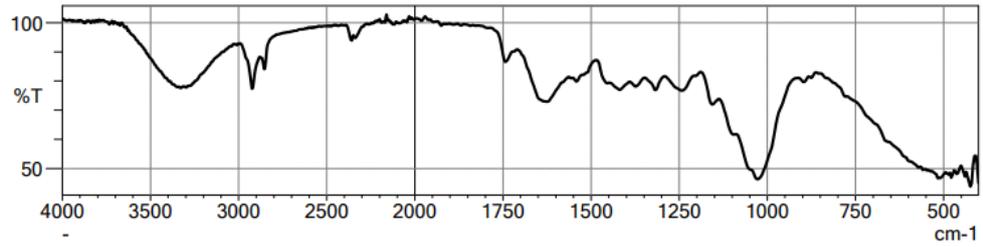
Lampiran II Karakterisasi data FTIR

a. Sebelum aktivasi



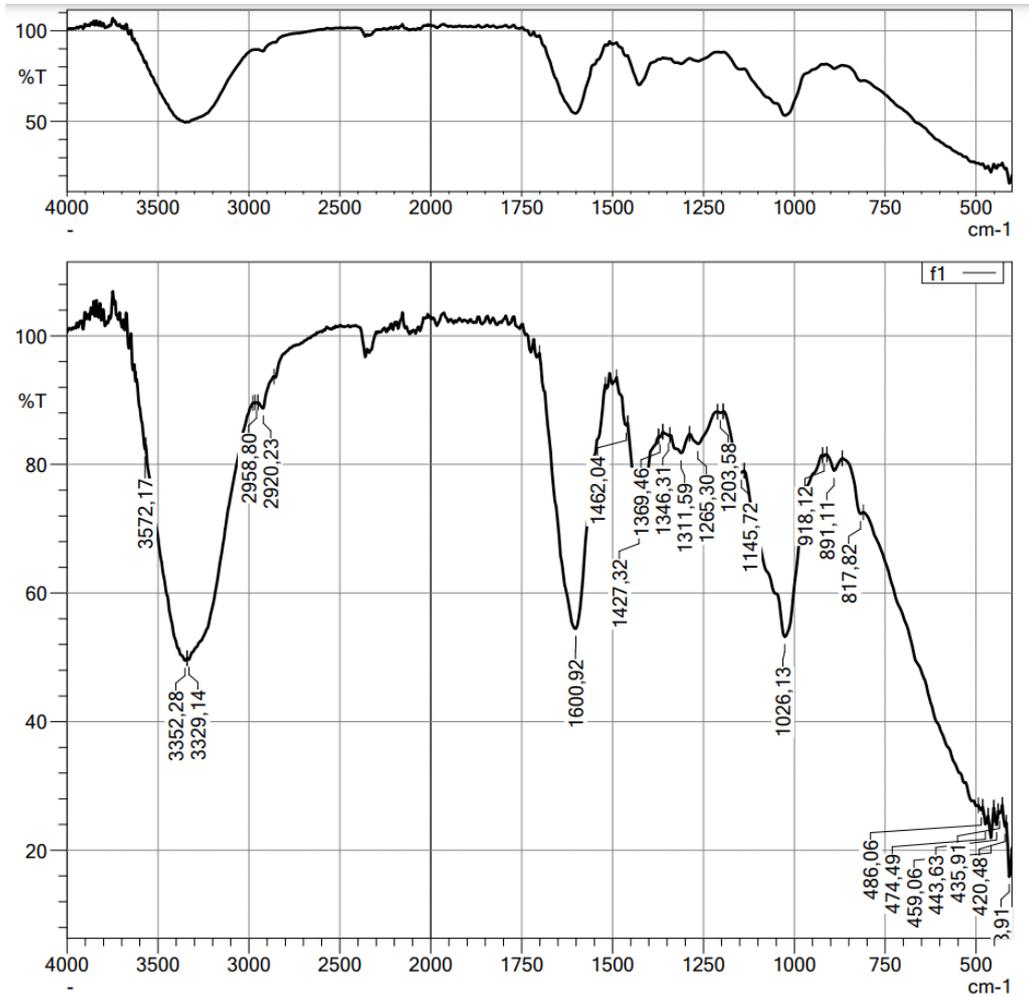
| | Peak | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area | Corr. Area | Comment |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|----------|------------|---------|
| 1 | 424,34 | 61,76 | 3,58 | 428,20 | 416,62 | 422,282 | 34,530 | |
| 2 | 435,91 | 54,60 | 8,51 | 447,49 | 428,20 | 795,082 | 83,873 | |
| 3 | 462,92 | 58,84 | 2,51 | 470,63 | 447,49 | 909,673 | 25,875 | |
| 4 | 478,35 | 59,04 | 1,84 | 489,92 | 470,63 | 766,591 | 14,459 | |
| 5 | 516,92 | 57,64 | 3,35 | 540,07 | 489,92 | 2056,919 | 102,744 | |
| 6 | 555,50 | 59,74 | 1,46 | 574,79 | 540,07 | 1363,943 | 19,869 | |
| 7 | 582,50 | 61,95 | 0,84 | 655,80 | 574,79 | 2852,305 | 68,473 | |
| 8 | 825,53 | 80,54 | 4,13 | 848,68 | 806,25 | 698,936 | 53,651 | |
| 9 | 856,39 | 85,96 | 0,16 | 860,25 | 848,68 | 161,511 | 0,846 | |
| 10 | 894,97 | 84,11 | 0,93 | 910,40 | 879,54 | 474,432 | 12,675 | |
| 11 | 1029,99 | 59,79 | 14,46 | 1087,85 | 910,40 | 5302,978 | 1215,443 | |
| 12 | 1095,57 | 68,77 | 1,77 | 1184,29 | 1087,85 | 2201,863 | 72,302 | |
| 13 | 1377,17 | 67,84 | 18,04 | 1485,19 | 1280,73 | 4594,417 | 1753,275 | |
| 14 | 1620,21 | 77,79 | 12,62 | 1708,93 | 1527,62 | 2913,809 | 1163,172 | |
| 15 | 2920,23 | 88,61 | 3,94 | 2993,52 | 2862,36 | 1167,945 | 199,605 | |
| 16 | 3240,41 | 84,12 | 0,29 | 3244,27 | 3217,27 | 410,885 | 1,873 | |
| 17 | 3278,99 | 83,36 | 0,28 | 3286,70 | 3259,70 | 443,757 | 3,726 | |
| 18 | 3298,28 | 83,15 | 0,35 | 3309,85 | 3286,70 | 385,802 | 3,875 | |
| 19 | 3329,14 | 83,04 | 0,34 | 3336,85 | 3317,56 | 323,819 | 3,307 | |
| 20 | 3379,29 | 84,10 | 0,35 | 3390,86 | 3375,43 | 239,797 | 2,876 | |
| 21 | 3417,86 | 85,82 | 0,58 | 3441,01 | 3410,15 | 416,305 | 11,084 | |

b. Setelah aktivasi



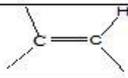
| | Peak | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area | Corr. Area | Comment |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|----------|------------|---------|
| 1 | 424,34 | 43,84 | 7,43 | 435,91 | 408,91 | 1394,596 | 89,112 | |
| 2 | 439,77 | 47,25 | 2,18 | 451,34 | 435,91 | 786,544 | 14,179 | |
| 3 | 462,92 | 48,12 | 1,89 | 470,63 | 451,34 | 980,657 | 19,493 | |
| 4 | 478,35 | 46,88 | 1,93 | 482,20 | 470,63 | 602,831 | 11,974 | |
| 5 | 486,06 | 47,97 | 0,62 | 493,78 | 482,20 | 598,324 | 3,685 | |
| 6 | 516,92 | 46,72 | 2,23 | 532,35 | 493,78 | 2015,871 | 45,137 | |
| 7 | 547,78 | 49,40 | 0,28 | 551,64 | 543,93 | 389,296 | 1,068 | |
| 8 | 559,36 | 49,55 | 0,68 | 567,07 | 551,64 | 771,689 | 3,766 | |
| 9 | 570,93 | 50,34 | 0,74 | 771,53 | 567,07 | 7790,230 | 154,742 | |
| 10 | 875,68 | 81,07 | 1,07 | 883,40 | 864,11 | 352,588 | 10,606 | |
| 11 | 898,83 | 79,72 | 1,58 | 910,40 | 883,40 | 528,323 | 24,294 | |
| 12 | 1026,13 | 46,34 | 22,45 | 1087,85 | 918,12 | 6692,618 | 1841,403 | |
| 13 | 1095,57 | 61,61 | 2,04 | 1138,00 | 1087,85 | 1666,338 | 53,031 | |
| 14 | 1157,29 | 71,96 | 5,46 | 1188,15 | 1138,00 | 1199,713 | 120,869 | |
| 15 | 1242,16 | 76,76 | 5,00 | 1292,31 | 1207,44 | 1778,187 | 229,697 | |
| 16 | 1315,45 | 76,95 | 4,49 | 1346,31 | 1292,31 | 1110,501 | 106,244 | |
| 17 | 1373,32 | 78,14 | 2,17 | 1392,61 | 1346,31 | 951,792 | 45,545 | |
| 18 | 1419,61 | 76,94 | 2,62 | 1446,61 | 1392,61 | 1175,556 | 71,868 | |
| 19 | 1454,33 | 79,21 | 1,76 | 1485,19 | 1446,61 | 688,702 | 44,448 | |
| 20 | 1543,05 | 79,88 | 1,90 | 1550,77 | 1485,19 | 1108,432 | 67,615 | |
| 21 | 1624,06 | 72,91 | 1,08 | 1631,78 | 1562,34 | 1594,730 | 13,078 | |
| 22 | 1743,65 | 86,54 | 7,68 | 1786,08 | 1708,93 | 606,281 | 188,577 | |
| 23 | 2854,65 | 84,06 | 6,34 | 2881,65 | 2785,21 | 844,721 | 84,052 | |
| 24 | 2924,09 | 77,34 | 12,66 | 2993,52 | 2881,65 | 1565,156 | 509,682 | |
| 25 | 3298,28 | 77,75 | 0,55 | 3313,71 | 3286,70 | 592,676 | 6,166 | |
| 26 | 3329,14 | 77,64 | 0,51 | 3340,71 | 3313,71 | 597,312 | 7,293 | |
| 27 | 3348,42 | 77,96 | 0,40 | 3367,71 | 3340,71 | 587,777 | 7,563 | |
| 28 | 3375,43 | 78,79 | 0,45 | 3390,86 | 3367,71 | 480,488 | 3,839 | |

c. Setelah modifikasi menjadi fiber



| | Peak | Intensity | Corr. Intensity | Base (H) | Base (L) | Area | Corr. Area | Comment |
|----|---------|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|------------|---------|
| 1 | 408,91 | 15,86 | 6,46 | 416,62 | 401,19 | 1251,601 | 52,957 | |
| 2 | 420,48 | 23,68 | 1,52 | 428,20 | 416,62 | 870,471 | 10,156 | |
| 3 | 435,91 | 25,73 | 0,64 | 439,77 | 428,20 | 855,488 | 5,387 | |
| 4 | 443,63 | 23,94 | 2,30 | 451,34 | 439,77 | 868,128 | 15,597 | |
| 5 | 459,06 | 21,93 | 4,06 | 466,77 | 451,34 | 1174,574 | 32,642 | |
| 6 | 474,49 | 24,03 | 2,02 | 482,20 | 466,77 | 1156,798 | 15,766 | |
| 7 | 486,06 | 26,24 | 0,59 | 493,78 | 482,20 | 850,307 | 3,957 | |
| 8 | 817,82 | 72,30 | 1,38 | 867,97 | 810,10 | 1321,971 | -22,754 | |
| 9 | 891,11 | 79,03 | 2,27 | 910,40 | 867,97 | 839,625 | 44,652 | |
| 10 | 918,12 | 81,31 | 0,17 | 921,97 | 910,40 | 214,651 | 0,548 | |
| 11 | 1026,13 | 53,18 | 27,08 | 1138,00 | 921,97 | 6936,189 | 2664,166 | |
| 12 | 1145,72 | 78,75 | 1,50 | 1195,87 | 1138,00 | 1001,165 | 54,265 | |
| 13 | 1203,58 | 88,02 | 0,21 | 1211,30 | 1195,87 | 183,460 | 1,841 | |
| 14 | 1265,30 | 83,19 | 2,61 | 1288,45 | 1211,30 | 1143,381 | 100,757 | |
| 15 | 1311,59 | 81,76 | 2,93 | 1342,46 | 1288,45 | 917,821 | 90,301 | |
| 16 | 1346,31 | 84,46 | 0,23 | 1361,74 | 1342,46 | 294,628 | 2,264 | |
| 17 | 1369,46 | 84,20 | 0,41 | 1373,32 | 1361,74 | 179,291 | 2,579 | |
| 18 | 1427,32 | 70,02 | 15,65 | 1458,18 | 1373,32 | 1867,695 | 628,005 | |
| 19 | 1462,04 | 86,07 | 1,24 | 1489,05 | 1458,18 | 330,844 | 21,690 | |
| 20 | 1600,92 | 54,46 | 40,14 | 1701,22 | 1519,91 | 4845,625 | 3913,145 | |
| 21 | 2920,23 | 88,74 | 2,32 | 2951,09 | 2862,36 | 801,516 | 62,569 | |
| 22 | 2958,80 | 89,55 | 0,11 | 2966,52 | 2951,09 | 160,215 | 0,638 | |
| 23 | 3329,14 | 49,65 | 1,49 | 3340,71 | 2978,09 | 12025,050 | 1042,004 | |
| 24 | 3352,28 | 49,49 | 2,07 | 3568,31 | 3340,71 | 8665,694 | 1023,744 | |
| 25 | 3572,17 | 82,38 | 1,39 | 3618,46 | 3568,31 | 633,330 | 38,226 | |

Lampiran III Tabel Korelasi FTIR

| Ikatan | Tipe Senyawa | Daerah frekuensi (cm ⁻¹) | Intensitas |
|-----------------|--|--------------------------------------|---|
| C - H | Alkana | 2850 - 2970 1340 - 1470 | Kuat Kuat |
| C - H | Alkena  | 3010 - 3095 675 - 995 | Sedang Kuat |
| C - H | Alkuna  | 3300 | Kuat |
| C - H | Cincin Aromatik | 3010 - 3100 690 - 900 | Sedang Kuat |
| O - H | Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol | 3590 - 3650 3200 - 3600 | Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar |
| | monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat | 3500 - 3650 2500 - 2700 | Sedang Melebar |
| N - H | Amina, Amida | 3300 - 3500 | Sedang |
| C=C | Alkena | 1610 - 1680 | Berubah-ubah |
| C=C | Cincin Aromatik | 1500 - 1600 | Berubah-ubah |
| C≡C | Alkuna | 2100 - 2260 | Berubah-ubah |
| C - N | Amina, Amida | 1180 - 1360 | Kuat |
| C≡N | Nitril | 2210 - 2280 | Kuat |
| C - O | Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester | 1050 - 1300 | Kuat |
| C=O | Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester | 1690 - 1760 | Kuat |
| NO ₂ | Senyawa Nitro | 1500 - 1570 1300 - 1370 | Kuat Kuat |

Sumber : *Principle of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998.

Lampiran IV Dokumentasi

1. Pembuatan serbuk kangkung



2. Aktivasi kangkung dengan asam sitrat dan penyaringan



3. Pembuatan *fiber adsorbent* kangkung air



4. Uji Variasi adsorben



Lampiran V SNI Air dan air limbah – Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala

SNI 6989.16:2009

Air dan air limbah – Bagian 16: Cara uji kadmium (Cd) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala

1 Ruang lingkup

Metode ini digunakan untuk penentuan logam kadmium (Cd) total dan terlarut dalam air dan air limbah secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala pada kisaran kadar Cd 0,05 mg/L sampai dengan 2 mg/L dengan panjang gelombang 228,8 nm.

2 Istilah dan definisi

2.1

air bebas mineral

air yang diperoleh dengan cara penyulingan ataupun proses demineralisasi sehingga diperoleh air dengan konduktivitas lebih kecil dari 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2

blind sample

larutan dengan kadar analit tertentu yang diperlakukan seperti contoh uji.

2.3

kadmium terlarut

kadmium dalam air yang dapat lolos melalui saringan membran berpori 0,45 μm .

2.4

kadmium total

kadmium yang terlarut dan tersuspensi dalam air setelah dilakukan proses pemanasan dengan asam kuat.

2.5

kurva kalibrasi

kurva yang menyatakan hubungan kadar larutan kerja dengan hasil pembacaan serapan yang merupakan garis lurus.

2.6

larutan induk kadmium

larutan yang mempunyai kadar logam kadmium 100 mg Cd/L yang digunakan untuk membuat larutan baku dengan kadar yang lebih rendah.

2.7

larutan baku logam kadmium (Cd)

larutan induk logam kadmium yang diencerkan dengan air bebas mineral sampai kadar tertentu.

2.8

larutan kerja logam kadmium (Cd)

larutan baku logam kadmium yang diencerkan, digunakan untuk membuat kurva kalibrasi.

2.9

larutan blanko

air bebas mineral yang diasamkan atau perlakuannya sama dengan contoh uji.

SNI 6989.16:2009

2.10

larutan pengencer

larutan yang digunakan untuk mengencerkan larutan kerja, yang dibuat dengan cara menambahkan asam nitrat pekat ke dalam air bebas mineral hingga $\text{pH} \leq 2$.

2.11

larutan pencuci

larutan yang digunakan untuk mencuci semua peralatan gelas dan plastik.

2.12

matrix modifier

bahan yang digunakan untuk mengurangi gangguan matriks contoh uji.

2.13

spike matrix

contoh uji yang diperkaya dengan larutan baku dengan kadar tertentu

3 Cara uji

3.1 Prinsip

Analit logam kadmium dalam nyala udara-asetilen diubah menjadi bentuk atomnya, menyerap energi radiasi elektromagnetik yang berasal dari lampu katoda dan besarnya serapan berbanding lurus dengan kadar analit.

3.2 Bahan

- Air bebas mineral.
- Asam nitrat (HNO_3) pekat p.a.
- Logam kadmium (Cd) dengan kemurnian minimum 99,5 %.
- Gas asetilen (C_2H_2) HP dengan tekanan minimum 100 psi.
- Larutan pengencer HNO_3 0,05 M.
Larutkan 3,5 mL HNO_3 pekat ke dalam 1000 mL air bebas mineral dalam gelas piala.
- Larutan pencuci HNO_3 5% (v/v).
Tambahkan 50 mL asam nitrat pekat ke dalam 800 mL air bebas mineral ke dalam gelas piala 1000 mL, lalu tambahkan air bebas mineral hingga 1000 mL dan homogenkan.
- Udara tekan HP atau udara tekan dari kompresor.

3.3 Peralatan

- Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala.
- Lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*(HCL) kadmium.
- Gelas piala 100 mL dan 250 mL.
- Pipet volumetrik 10,0 mL dan 50,0 mL.
- Labu ukur 50,0 mL; 100,0 mL; dan 1000,0 mL.
- Erlenmeyer 100 mL.
- Corong gelas.
- Kaca arloji.
- Pemanas listrik.
- Seperangkat alat saring vakum.
- Saringan membran dengan ukuran pori 0,45 μm .
- Timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001 g.
- Labu semprot.

2 dari 8

3.4 Pengawetan contoh uji

Bila contoh uji tidak dapat segera diuji, maka contoh uji diawetkan sesuai petunjuk di bawah ini:

| | | |
|---------------------|---|---|
| Wadah | : | Botol plastik (<i>polyethylene</i>) atau botol gelas |
| Pengawet | : | a) Untuk logam terlarut, saring dengan saringan membran berpori 0,45 μm dan diasamkan dengan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$ b) Untuk logam total, asamkan dengan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$ |
| Lama Penyimpanan | : | 6 bulan |
| Kondisi Penyimpanan | : | Suhu ruang |

3.5 Persiapan pengujian

3.5.1 Persiapan contoh uji kadmium terlarut

Siapkan contoh uji yang telah disaring dengan saringan membran berpori 0,45 μm dan diawetkan. Contoh uji siap diukur.

3.5.2 Persiapan contoh uji kadmium total

Siapkan contoh uji untuk pengujian kadmium total, dengan tahapan sebagai berikut:

- Homogenkan contoh uji, pipet 50,0 mL contoh uji dan masukkan ke dalam gelas piala 100 mL atau *Erlenmeyer* 100 mL.
- Tambahkan 5 mL HNO_3 pekat, bila menggunakan gelas piala, tutup dengan kaca arloji dan bila dengan *Erlenmeyer* gunakan corong sebagai penutup.
- Panaskan perlahan-lahan sampai sisa volumenya 15 mL sampai dengan 20 mL.
- Jika destruksi belum sempurna (tidak jernih), maka tambahkan lagi 5 mL HNO_3 pekat, kemudian tutup gelas piala dengan kaca arloji atau tutup *Erlenmeyer* dengan corong dan panaskan lagi (tidak mendidih). Lakukan proses ini secara berulang sampai semua logam larut, yang terlihat dari warna endapan dalam contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih.

CATATAN Jika destruksi tidak sempurna, lihat Lampiran B.

- Bilas kaca arloji dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala.
- Pindahkan contoh uji ke dalam labu ukur 50,0 mL (saring bila perlu) dan tambahkan air bebas mineral sampai tepat tanda tera dan dihomogenkan.
- Contoh uji siap diukur serapannya.

3.5.3 Pembuatan larutan induk logam kadmium 100 mg Cd/L

- Timbang $\pm 0,100$ g logam kadmium, masukkan ke dalam labu ukur 1000,0 mL. Tambahkan 4 mL HNO_3 pekat sampai larut (≈ 100 mg Cd/L).
- Tambahkan 8 mL HNO_3 pekat dan air bebas mineral hingga tepat tanda tera dan homogenkan.
- Hitung kadar kadmium berdasarkan hasil penimbangan.

CATATAN Larutan ini dapat dibuat dari larutan standar 1000 mg Cd/L siap pakai.

SNI 6989.16:2009

3.5.4 Pembuatan larutan baku logam kadmium 10 mg Cd/L

- a) Pipet 10,0 mL larutan induk 100 mg Cd/L, masukkan ke dalam labu ukur 100,0 mL.
- b) Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera dan homogenkan.

3.5.5 Pembuatan larutan kerja logam kadmium (Cd)

Buat deret larutan kerja dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 (tiga) kadar yang berbeda secara proporsional dan berada pada rentang pengukuran.

3.6 Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi

3.6.1 Pembuatan kurva kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan tahapan sebagai berikut:

- a) Operasikan alat dan optimasikan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat untuk pengukuran kadmium.

CATATAN 1 Salah satu cara optimasi alat dengan uji sensitivitas.

CATATAN 2 Tambahkan *matrix modifier* dan atau atasi gangguan pengukuran sesuai dengan SSA yang digunakan.

- b) Aspirasikan larutan blanko ke dalam SSA-nyala kemudian atur serapan hingga nol.
- c) Aspirasikan larutan kerja satu persatu ke dalam SSA-nyala, lalu ukur serapannya pada panjang gelombang 228,8 nm, kemudian catat.
- d) Lakukan pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer.
- e) Buat kurva kalibrasi dari data pada butir 3.6.1.c) di atas, dan tentukan persamaan garis lurusnya.
- f) Jika koefisien korelasi regresi linier (r) < 0,995, periksa kondisi alat dan ulangi langkah pada butir 3.6.1 b) sampai dengan c) hingga diperoleh nilai koefisien $r \geq 0,995$.

3.6.2 Cara uji

Uji kadar kadmium dengan tahapan sebagai berikut:

- a) Aspirasikan contoh uji ke dalam SSA-nyala dan ukur serapannya pada panjang gelombang 228,8 nm. Bila diperlukan, lakukan pengenceran.
- b) Catat hasil pengukuran.

3.7 Perhitungan

Kadar logam kadmium (Cd) dihitung sebagai berikut:

$$Cd \text{ (mg/L)} = C \times fp \quad (1)$$

Keterangan:

C adalah kadar yang didapat hasil pengukuran (mg/L).

fp adalah faktor pengenceran.

4 Pengendalian mutu

- a) Gunakan bahan kimia pro analisis (pa).
- b) Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- c) Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
- d) Dikerjakan oleh analis yang kompeten.
- e) Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu penyimpanan maksimum.
- f) Perhitungan koefisien korelasi regresi linier (r) lebih besar atau sama dengan 0,995 dengan intersepsi lebih kecil atau sama dengan batas deteksi.
- g) Lakukan analisis blanko dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10 % per *batch* (satu seri pengukuran) atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol kontaminasi.
- h) Lakukan analisis duplo dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10 % per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol ketelitian analisis. Jika Perbedaan Persen Relatif (*Relative Percent Difference/RPD*) sama dengan 10 % maka dilakukan pengukuran ketiga.

Persen RPD:

$$\%RPD = \frac{\left| \text{hasil pengukuran} - \text{duplikat pengukuran} \right|}{(\text{hasil pengukuran} + \text{duplikat pengukuran}) / 2} \times 100\% \quad (2)$$

- i) Lakukan kontrol akurasi dengan *spike matrix* atau salah satu standar kerja dengan frekuensi 5 % - 10 % per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10. Kisaran persen temu balik untuk *spike matrix* adalah 85 % - 115 % dan untuk standar kerja 90 % - 110 %.

Persen temu balik (% *recovery*, %R)

$$\%R = \left(\frac{A - B}{C} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- A adalah kadar contoh uji yang diperkaya (*spike*) (mg/L);
- B adalah kadar contoh uji (mg/L);
- C adalah kadar standar yang ditambahkan (*target value*) (mg/L).

CATATAN 1 Volume *spike matrix* yang ditambahkan maksimal 5% dari volume contoh uji.

CATATAN 2 Hasil akhir kadar contoh uji yang diperkaya (*spike matrix*) berkisar 2 kali kadar contoh uji. Kadar contoh uji yang sudah diperkaya berada pada kisaran rentang pengukuran.

- j) Standar ini telah melalui uji banding metode dengan peserta 10 laboratorium pada kadar 1 mg Cd/L dengan tingkat presisi (% RSD) 6,90 % dan akurasi (bias metode) 1,25 %.

5 Rekomendasi

- a) Lakukan analisis *blind sample*.
- b) Buat *control chart* untuk akurasi dan presisi analisis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Zaurossa Salsabila Firdausi Rahman adalah penulis laporan Tugas Akhir ini. Penulis merupakan seorang kelahiran Bandung, 24 September 2000. Merupakan putri kedua dari 2 orang bersaudara. Penulis memiliki orang tua, bernama Abdurokhman dan Ati Qotulmuna. Penulis menempuh pendidikan di TK Qurrotal Áini, Bandung (pada tahun 2005-2007), kemudian melanjutkan sekolah dasar di SD Negeri Abdi Negara, Bandung (pada tahun 2007-2014), jenjang sekolah menengah pertama di SMPN 1 Rancaekek (pada tahun 2013-2014) kemudian penulis pindah ke Kota Cilacap dan melanjutkan di SMP Negeri 1 Cilacap (pada tahun 2014-2016). Penulis menempuh jenjang sekolah menengah atas di SMAN 1 Cilacap (pada tahun 2016-2019). Selanjutnya menempuh masa perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.