

**SINTESIS AEROGEL SELULOSA DARI SERAT BATANG JAGUNG
DAN APLIKASINYA DALAM ADSORBEN LOGAM Cu(II)**

REKY ASRUDIN

H311 16 301



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

SKRIPSI

**SINTESIS AEROGEL SELULOSA DARI SERAT BATANG JAGUNG
DAN APLIKASINYA DALAM ADSORBEN LOGAM Cu(II)**

Disusun dan diajukan oleh:

REKY ASRUDIN

H311 16 301



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**SINTESIS AEROGEL SELULOSA DARI SERAT BATANG JAGUNG
DAN APLIKASINYA DALAM ADSORBEN LOGAM Cu(II)**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*

Oleh:

REKY ASRUDIN

H311 16 301



MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

SINTESIS AEROGEL SELULOSA DARI SERAT BATANG JAGUNG
DAN APLIKASINYA DALAM ADSORBEN LOGAM Cu(II)

Disusun dan diajukan oleh:

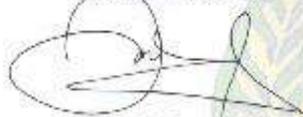
REKY ASRUDIN

H31116301

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Mei 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Indah Raya, M.Si
NIP. 19641125 199002 2 001

Pembimbing Pertama,



Dr. Muhammad Zakir, M.Si
NIP. 19701103 199903 1 001

Ketua Departemen Kimia,



Dr. Abd Karim, M.Si
NIP. 19630716 198803 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reky Asrudin
NIM : H311 16 301
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

SINTESIS AEROGEL SELULOSA DARI SERAT BATANG JAGUNG DAN
APLIKASINYA DALAM ADSORBEN LOGAM $Cu(II)$

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 4 Juni 2021

Menyatakan,

Reky Asrudin



PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayah serta ilmu pengetahuan yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Berhasilnya penyusunan skripsi ini dengan judul **“Sintesis Aerogel Selulosa dari Serat Batang Jagung dan Aplikasinya dalam Adsorben Logam Cu(II)”** menandakan berakhirnya suatu dimensi perjuangan syarat akan makna dan penuh kenangan dalam menggapai ilmu di Strata Satu Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Kampus Merah Universitas Hasanuddin.

Keberhasilan penulis ke tahap penulisan skripsi tidak lepas dari bantuan, baik berupa materi maupun spirit dari orang-orang terdekat dan yang berada di lingkungan penulis. Dengan setulus hati, pertama dari yang paling utama, melalui lembaran ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orangtua penulis Ayahanda **Asrudin, S.Tp** dan Ibunda **Sri Ganefo, S.Si** tercinta untuk perhatian, pengorbanan, kasih sayang, kesabaran, dukungan materi dan ketulusan doa yang tiada henti bagi penulis. Semoga Allah SWT membalas pengorbanan mereka dengan Jannah-Nya. Terima kasih untuk saudaraku tercinta **Ardiansyah, S.Hut, M.Pwk** dan **Muh. Andika** serta kakak iparku **Elvina Wahyuni R., S.Hut** dan keponakanku **Muhammad Dzaki Faidhan** yang selalu mendukung, menyemangati, memotivasi, menasihati dan tiada henti-hentinya memberikan doa yang terbaik. Semoga penulis bisa diberi kesempatan untuk bisa membahagiakan mereka.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebedar-besarnya kepada Ibu **Dr. Indah Raya, M.Si** selaku pembimbing utama sekaligus penasehat akademik dan bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** selaku pembimbing pertama, yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan penuh kesabaran dan pengertian dalam memberikan ilmu yang tak ternilai selama penelitian dan penyusunan skripsi sehingga berbagai kendala dapat diatasi serta ucapan maaf atas segala kesalahan selama persiapan penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih juga kepada:

1. Tim dosen penguji ujian sarjana kimia, yaitu ibu **Prof. Nunuk Hariani, MS** (ketua), ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si** (sekretaris) dan bapak **Dr. Syahrudin Kasim, M.Si** (koord. seminar).
2. Ketua Departemen Kimia FMIPA Unhas bapak **Dr. Abd. Karim, M.Si** dan Sekretaris Departemen Kimia FMIPA Unhas ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** beserta dosen dan staf Departemen Kimia **Ibu Sarina, Ibu Berlian (Almh), Kak Rahma, Kak Balqis** dan **Pak Haerul** yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia FMIPA Unhas.
3. Bapak **Dr. Abd. Karim, M.Si** dan ibu **Dr. Indah Raya, M.Si** selaku Penasehat Akademik sekaligus memberikan banyak bimbingan, masukan, motivasi dan dorongan selama mengikuti proses perkuliahan di Departemen Kimia FMIPA Unhas.
4. Seluruh Analis Laboratorium Kimia Departemen Kimia Unhas, **Pak Iqbal, Pak Sugeng, Ibu Tini, Ibu Anti, Kak Linda, Kak Fiby** dan **Kak Hannah**. Terima kasih atas bantuan yang diberikan selama proses penelitian.

5. Saudari **Sri Wulandary, S.Si**, kak **Zulkifli I. Tuara, M.Si** dan kak **Arham Yunus, M.Si** senantiasa membantu penulis dalam bimbingan penulis selama penelitian.
6. Saudara Pejantan Kromofor (**Pado, Aril, Aci, Rully, Midin, Ismul, Imam, Fadhil, Awal, Fajar, Dion, Khoyim, Maman dan Wandu**). Terima kasih atas kebersamaan masa-masa ramsis dan pondok harmoni selalu menjadi tempat teduh untuk memperkuat solidaritas.
7. Saudara-Saudariku **Miftahuddin, Hasmawati Asri, Fitrilya, Megawati, Nia Kurnia** dan **Andi Ismul Maulana**. Terima kasih atas dedikasi, selalu bersamai penulis selama penelitian di lab atas.
8. Saudara-Saudariku **Kromofor 2016 “Totalitas Hingga Akhir”**. Terima kasih atas semangat, mengajarkan rasa persaudaraan, suka duka selama proses dinamika organisasi/lembaga menjadi pengalaman pribadi penulis dalam kehidupan kampus.
9. Saudara-Saudariku **MIPA 2016 “Seperti Seharusnya”**. Terima kasih atas semangat, mengajarkan arti ke-MIPA-an dalam persaudaraan seperti seharusnya.
10. Seluruh warga dan alumni **KMK FMIPA Unhas**. HMK Tempat Kita dibina, HMK Tempat Kita ditempa.
11. Kakak-kakak, adik-adik serta alumni **KM FMIPA Unhas**. Salam *Use Your Mind Be The Best*.
12. Teman-teman KKN Tematik PU-PERA Gel. 102 Unhas Kabupaten Gowa, Kecamatan Tamarunang, posko 7: **Kak Soleman** (F-Teknik), **Kak Faisal** (FIKP), **Kak Vina** (F-Ekonomi), **Amaliah** (F-Teknik), **Fadillah** (F-

Kedokteran) dan **Azizah** (F-Teknik), serta **teman-teman posko lain KKN se-Tematik PU-PERA**, terima kasih atas kebersamaan dan pengalaman berharga selama di lokasi KKN.

13. Bapak/ibu pembimbing PKL Laboratorium Forensik Polri Cab. Makassar: **Pak Gede, Ibu Hasura, Pak Budi, Pak Usman, Kak Diah** dan **semua personil lab. Forensik** terima kasih atas ilmu dan pengalaman selama kami magang.
14. **Semua pihak** yang tidak sempat disebut namanya yang telah memberikan bantuan, dukungan dan do'a kepada penulis.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diperlukan dalam penulisan selanjutnya. Akhirnya, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan bidang ilmu kimia, Amin.

Makassar, 3 Februari 2021

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk sintesis dan karakterisasi aerogel selulosa dari serat batang jagung, kemudian diaplikasikan sebagai agen adsorben ion logam Cu(II). Penelitian ini diawali tiga proses. Pertama proses preparasi, kedua ekstraksi selulosa dari serat batang jagung, kemudian terakhir dilanjutkan dengan sintesis menggunakan metode *freeze drying*. Aerogel yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dengan instrumen FTIR, XRD, SEM, dan BET-BJH serta Spektrofotometer AAS untuk penentuan kapasitas logam yang teradsorpsi. Hasil penelitian diperoleh aerogel selulosa dengan karakteristik kristalinitas sebesar 72,08% dengan ukuran kristal 3,05 nm. Luas permukaan aerogel selulosa sebesar 163,769 m²/g dengan diameter pori 61,424 Å. Adsorpsi ion logam Cu(II) sesuai dengan model isoterm Langmuir dan Freundlich dengan kapasitas adsorpsi masing-masing sebesar 11,6279 mg/g dan 0,5966 mg/g serta nilai koefisien korelasi (R²) masing-masing sebesar 0,9848 dan 0,9762. Kajian pengaruh suhu, konsentrasi dan parameter termodinamika, dapat dinyatakan bahwa adsorpsi ion logam Cu(II) oleh aerogel selulosa adalah adsorpsi fisika. Parameter termodinamika untuk logam Cu(II), yaitu $\Delta G = -14,7159$ kJ/mol, $\Delta H = -26,2074$ kJ/mol, $\Delta S = -0,0214$ kJ/mol dan $E_a = 6,2659$ kJ/mol.

Kata Kunci: Adsorpsi, Aerogel Selulosa, Ion Logam Cu(II), Serat Batang Jagung, Termodinamika

ABSTRACT

The research aimed to synthesize and characterize of cellulose aerogels from corn stalk fiber, and their application as an adsorbent agent for Cu(II) metal ions. This research consists of three steps. The first preparation process, the second extracted cellulose from corn stalk fiber, and the last step is synthesis aerogel by using the freeze-drying method. The result of cellulose aerogels were characterized by FTIR, XRD, SEM, and BET-BJH, and AAS spectrophotometer to determine the adsorb capacity to metal ion of Cu(II). The results were obtained of cellulose aerogels with crystalline characteristics of 72,08% with an crystal size of 3,05 nm. The surface area of cellulose aerogels 163,769 m²/g with a pore diameter of 61,424 Å. Adsorption of Cu(II) metal ion according to the Langmuir and Freundlich isotherm models with adsorption capacity each of 11,6279 mg/g and 0,5966 mg/g with correlation coefficient (R²) each of 0,9848 and 0,9762. Study of the effects temperature, concentration, and thermodynamic parameters, showed that the adsorption of Cu(II) metal ion is a physical adsorption. While the thermodynamic parameters of Cu(II) metal ion adsorption are $\Delta G = -14,7159$ kJ/mol, $\Delta H = -26,2074$ kJ/mol, $\Delta S = -0,0214$ kJ/mol and $E_a = 6,2659$ kJ/mol, respectively.

Keywords: Adsorption, Cellulose Aerogels, Corn Stalk Fiber, Cu(II) metal ion, Thermodynamic

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR).....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	x
ASTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tanaman Jagung.....	6
2.2 Selulosa.....	8
2.3 Aerogel Selulosa.....	10
2.4 Adsorben Sebagai Proses Adsorpsi.....	14
2.4.1 Isoterm Adsorpsi.....	17
2.4.2 Kinetika Adsorpsi.....	20

2.4.3 Termodinamika Adsorpsi.....	22
2.5 Logam Tembaga.....	23
2.6 Instrumentasi.....	25
BAB III METODE PERCOBAAN.....	27
3.1 Bahan Penelitian.....	27
3.2 Alat Penelitian.....	27
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.4 Prosedur Penelitian.....	27
3.4.1 Pembuatan Reagen.....	28
3.4.1.1 Pembuatan Larutan Induk $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1000 ppm dalam 250 mL.....	28
3.4.1.2 Pembuatan Larutan Induk $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10 ppm dari 1000 ppm.....	28
3.4.1.3 Pembuatan Larutan Standar $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
3.4.2 Sintesis Aerogel Selulosa.....	28
3.4.2.1 Preparasi Sampel.....	28
3.4.2.2 Ekstraksi Selulosa.....	29
3.4.2.3 Pembuatan Aerogel Selulosa.....	29
3.5 Proses Adsorpsi Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi Logam Cu(II).....	30
3.5.1 Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	30
3.5.2 Penentuan pH Optimum.....	30
3.5.3 Penentuan Suhu Optimum.....	30
3.5.4 Penentuan Konsentrasi Optimum.....	31
3.6 Metode Analisis Data.....	31
3.6.1 Analisis dengan XRD.....	31

3.6.2 Analisis dengan SEM.....	31
3.6.3 Analisis dengan FTIR.....	31
3.6.4 Analisis dengan BET-BJH.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Sintesis dan Karakterisasi Aerogel Selulosa dari Serat Batang Jagung	32
4.1.1 Reaksi Sintesis Aerogel Selulosa	35
4.1.2 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) ...	37
4.1.3 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	39
4.1.4 Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	41
4.1.5 Karakterisasi <i>Brunauer-Emmet-Teller</i> (BET) dan <i>Braun-Joyner-Halenda</i> (BJH).....	42
4.2 Penentuan Kondisi Optimum Aerogel Selulosa dengan Adsorbat Logam Cu(II)	45
4.2.1 Pengaruh Waktu Kontak.....	45
4.2.2 Pengaruh pH	48
4.2.3 Pengaruh Suhu.....	50
4.2.4 Pengaruh Konsentrasi.....	51
4.2.5 Perhitungan Termodinamika	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia batang jagung	8
2. Perbandingan hasil serapan inframerah antara selulosa dan aerogel selulosa	38
3. Kristalinitas, ukuran kristal dan amorf hasil XRD	40
4. Luas permukaan, volume pori dan diameter pori aerogel selulosa	43
5. Konstanta model kinetika adsorpsi logam Cu(II).....	48
6. Konstanta model isoterm adsorpsi logam Cu(II)	52
7. Hasil Termodinamika adsorpsi logam Cu(II).....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tanaman Jagung	7
2. Struktur Selulosa.....	9
3. Aerogel Selulosa	11
4. Perbandingan sintesis aerogel dapat ditinjau dari metode Pengeringnya dapat melalui (a) metode pengering superkritis CO ₂ dan (b) metode pengering beku	13
5. Grafik tipe-tipe adsorpsi berdasarkan IUPAC	17
6. Proses ekstraksi selulosa meliputi: (a) proses delignifikasi; (b) <i>proses bleaching</i> (pemutihan)	33
7. Proses sintesis aerogel selulosa, meliputi: (a) penambahan prekursor SiO ₂ dan proses koagulasi sebelum <i>freeze dryer</i> ; (b) hasil produk aerogel selulosa setelah <i>freeze dryer</i>	35
8. Reaksi tahap I (reaksi antara selulosa serat batang jagung dan SiO ₂) .	36
9. Reaksi tahap II (reaksi antara NaOH dan Urea)	36
10. Reaksi tahap III (reaksi antara produk tahap I dan produk tahap II) ...	36
11. Spektrum FTIR selulosa dan aerogel selulosa	37
12. Difraktogram XRD (a) selulosa; dan (b) aerogel selulosa.....	40
13. Hasil SEM (a) Aerogel selulosa pada perbesaran 5.000x dan (b) perbesaran 10.000x; (c) Aerogel selulosa setelah adsorpsi ion logam Cu(II) pada perbesaran 1.000x dan (d) perbesaran 5.000x	41
14. Grafik hubungan tekanan relatif terhadap volume N ₂ yang terserap pada aerogel selulosa	44
15. Grafik hubungan radius pori terhadap volume N ₂ yang teradsorpsi pada aerogel selulosa	44
16. Grafik variasi waktu kontak dengan jumlah ion Cu(II) yang teradsorpsi oleh aerogel selulosa.....	45

17. Proses adsorpsi antara logam Cu(II) dengan adsorben aerogel selulosa.....	46
18. Grafik kinetika orde satu semu adsorpsi ion logam Cu(II).....	47
19. Grafik kinetika orde dua semu adsorpsi ion logam Cu(II).....	48
20. Grafik variasi pH dengan jumlah ion Cu(II) yang teradsorpsi oleh aerogel selulosa.....	49
21. Grafik pengaruh variasi suhu terhadap adsorpsi logam Cu(II) aerogel selulosa.....	50
22. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi logam Cu(II) aerogel selulosa.....	51
23. Grafik isoterm Langmuir adsorpsi logam Cu(II)	52
24. Grafik isoterm Freundlich adsorpsi logam Cu(II).....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Bagan Kerja	65
2. Diagram Alir	70
3. Perhitungan Pembuatan Larutan Pereaksi Kurva Kalibrasi Standar $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	71
4. Kurva Kalibrasi Standar $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	73
5. Data Pengaruh Variasi Waktu Kontak Interaksi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa.....	74
6. Data Pengaruh Variasi pH Interaksi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa	75
7. Data Pengaruh Variasi Suhu Interaksi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa	76
8. Data Pengaruh Variasi Konsentrasi Interaksi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa	77
9. Data Kinetika Orde Satu Semu dan Orde Dua Semu Interaksi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa.....	78
10. Data Isoterm Langmuir Adsorpsi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa	80
11. Data Isoterm Freundlich Adsorpsi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa	81
12. Data dan Grafik Isotermal Langmuir-Heinshelwood dan Termodinamika Adsorpsi Logam Cu(II) dengan Aerogel Selulosa	82
13. Analisis Hasil FTIR	88
14. Analisis Hasil XRD.....	90
15. Analisis Hasil SEM.....	95
16. Analisis Hasil BET-BJH	97
17. Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....	101

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
BET	<i>Braun-Emmet-Teller</i>
BJH	<i>Braun-Joyner-Halenda</i>
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>
ppm	<i>part per millon</i>
Cu	<i>Cuprum</i> (tembaga)
α	<i>alpha</i> (alfa)
β	beta
K	Suhu (K)
ΔG	Perubahan Energi Gibbs
ΔH	Perubahan Entalpi
ΔS	Perubahan Entropi
Ea	Energi Aktivasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan manusia tidak lepas dari kehidupan sehari-hari, terutama kebutuhan primer sangat penting untuk tercapainya keberlangsungan hidup manusia, salah satunya sumber pangan. Sumber pangan merupakan sumber makanan memiliki potensi layak untuk dikonsumsi baik berasal nabati maupun hewani untuk keberlangsungan kehidupan. Dari beberapa sumber pangan yang dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan pokok sehari-hari tidak lepas pula pada sisa makanan yang dihasilkan dan dapat menimbulkan limbah makanan yang diperoleh, kebanyakan sumber makanan yang dihasilkan lebih banyak mengandung karbohidrat. Beberapa limbah dengan kandungan karbohidrat, yaitu limbah jagung.

Berdasarkan Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (2018), kementerian pertanian memproyeksikan produksi jagung dan mencatat surplus dapat mencapai 28,61 juta ton atau naik 2,35% dari tahun sebelumnya, maka dapat diperkirakan produksi tanaman jagung pada tahun 2020 mencapai 31,3 juta ton. Produksi jagung yang cukup besar ini menimbulkan dampak pada jumlah limbah pertanian, dalam hal ini limbah jagung yang dihasilkan setiap harinya (Rahmidar dkk., 2018). Menurut Umiyasih dan Wina (2008), pemanfaatan limbah tanaman jagung masih sangat terbatas, biasanya hanya digunakan sebagai bahan pakan ternak merupakan hasil samping industri jagung. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah tersebut harus memiliki sifat kreativitas tinggi dalam mengeksplorasi limbah tanaman jagung.

Limbah yang dihasilkan oleh tanaman jagung salah satunya bagian batang kini belum dimanfaatkan menjadi produk yang memiliki nilai tambah dan ekonomis. Limbah batang jagung memiliki komposisi kimia berupa selulosa dengan kadar yang tinggi, yaitu 30-50% (Muniroh dkk., 2011). Sebagaimana diketahui bahwa selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan. Selulosa merupakan molekul yang tersusun atas polimer dengan rantai lurus dari 1,4 β -D glukosa. Selulosa memiliki rantai panjang mempunyai sifat tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis (Asmoro dkk., 2018).

Selulosa merupakan senyawa polisakarida yang terdapat di alam, memiliki bobot molekul yang tinggi. Sifat selulosa sebagai sumber karbohidrat yang memiliki polimer tercermin dari bobot molekul rata-rata. Kemurnian selulosa sering dinyatakan melalui parameter selulosa α , dimana selulosa α digunakan sebagai penentuan tingkat kemurnian selulosa dan selulosa ini yang paling tinggi dengan kemurnian lebih dari 92% untuk digunakan bahan baku propelan atau bahan peledak. Biasanya semakin tinggi kadar selulosa α , maka semakin baik mutu bahannya. Selulosa dapat diesterkan (esterifikasi) dengan asam anorganik seperti asam sulfat dan asam fosfat. Hasilnya berturut-turut adalah selulosa nitrat, selulosa sulfat dan selulosa fosfat (Prakasa dan Matahari, 2015).

Berdasarkan tingkat kemurnian selulosa yang dimilikinya, batang jagung mempunyai potensi dalam pemanfaatan pembuatan aerogel selulosa, dimana aerogel ini bentuknya nanopori padatan yang dibentuk oleh penggantian cairan dengan gas dalam gel. Aerogel merupakan bahan ringan yang memiliki sifat densitas rendah hingga $0,004 \text{ g/cm}^3$ dan volume fasa padat harus lebih sedikit dari beberapa persen volume total, yaitu 0,2 - 20%. Karena bentuk yang dihasilkan sangat ringan, aerogel juga memiliki karakteristik, yaitu elastisitas tinggi,

konduktivitas rendah, tahan terhadap panas, juga berfungsi sebagai tempat pengendapan nanopartikel (Gustinenda dan Margo, 2017).

Aerogel selulosa memiliki volume pori sangat besar dan struktur massa yang sangat ringan. Hal ini, memberikan keuntungan bagi peneliti untuk mengaplikasikan aerogel selulosa pada proses pengemasan, isolasi panas dan sebagai superadsorben (Nguyen, 2014). Aerogel merupakan gel yang memiliki bahan berpori baik memiliki sifat fisik dan kimia, yaitu kepadatan ($0,003 - 0,500 \text{ g/cm}^3$), porositas ($80 - 99,8 \%$), luas permukaan spesifik ($100 - 1600 \text{ m}^2/\text{g}$) dan memiliki kemampuan aktivitas dalam adsorpsi kimia yang baik. Aerogel ini berpotensi ditingkatkan dalam bidang elektronika, katalis adsorpsi, bahan media dan lain-lain (Long *et al*, 2018).

Aerogel selulosa dapat diaplikasikan sebagai material pengadsorpsi logam tembaga. Berdasarkan sifat yang diketahui, maka diperlukan untuk memanfaatkan selulosa yang disintesis menjadi aerogel yang dapat digunakan untuk adsorpsi ion logam Cu^{2+} , sebagaimana diketahui bahwa umumnya logam tembaga merupakan logam berat yang lebih sering ditemukan pada limbah-limbah perairan industri juga membahayakan lingkungan sekitar dan organisme perairan dapat mengakibatkan peningkatan kontaminan air pada habitatnya hingga kematian organismenya (Li dan Liu, 2017).

Kelebihan aerogel selulosa dalam mengadsorpsi ion logam berat salah satunya logam tembaga (Cu) yang bersifat toksik dan karsiogenik bagi kesehatan dan lingkungan jika dibiarkan masuk dalam tubuh dan di luar lingkungan dengan konsentrasi yang tinggi, apabila melebihi ambang batas logam yang sesuai kebutuhan tubuh dan konsentrasi logam yang tercemar dalam perairan limbah pabrik industri dapat menyebabkan penyakit dan gangguan kesehatan yang serius

terutama masuk pada jaringan tubuh (Li dan Liu, 2017). Oleh karena itu, untuk menghilangkan ion logam tersebut dilakukan metode adsorpsi yang mudah didapatkan dan lebih efektif untuk menghindari pencemaran ion logam tembaga melalui aerogel selulosa.

Kelebihan aerogel selulosa dalam mengadsorpsi ion logam juga dapat digunakan material bahan isolasi termal, prekursor aerogel karbon, bahan biomedis, pengangkut logam nanopartikel dan logam oksida (Long *et al*, 2018). Berdasarkan uraian di atas, maka penulis melakukan penelitian tentang sintesis aerogel berbasis batang jagung dan aplikasinya dalam adsorben ion logam Cu(II).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik aerogel selulosa yang disintesis dari serat batang jagung?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu kontak, pH, suhu dan konsentrasi terhadap adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan aerogel selulosa yang disintesis dari serat batang jagung?
3. Berapa kapasitas adsorpsi ion logam Cu(II) oleh aerogel selulosa yang disintesis dari serat batang jagung?
4. Bagaimana kajian kinetika dan termodinamika adsorpsi ion logam Cu(II) terhadap aerogel selulosa disintesis dari serat batang jagung?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah mengetahui dan mempelajari cara mensintesis aerogel selulosa dari serat batang jagung dan aplikasinya dalam adsorben logam Cu(II).

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan karakteristik aerogel selulosa yang disintesis dari serat batang jagung.
2. Menentukan pengaruh variasi waktu kontak, pH, suhu dan konsentrasi terhadap adsorpsi ion Cu(II) menggunakan aerogel selulosa yang disintesis dari serat batang jagung.
3. Menentukan kapasitas adsorpsi ion Cu(II) oleh aerogel selulosa yang disintesis dari serat batang jagung.
4. Menentukan parameter kinetika dan termodinamika adsorpsi ion logam Cu(II) terhadap aerogel selulosa yang disintesis dari serat batang jagung.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai pemanfaatan selulosa dari batang jagung menjadi aerogel selulosa dalam adsorben yang murah dan mudah didapatkan untuk menyerap ion logam pada limbah cair dan juga diharapkan dapat menjadi bahan rujukan atau bahan referensi untuk peneliti selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Jagung

Limbah pertanian yang dihasilkan dapat berbentuk buangan yang tidak terpakai dan bahan sisa makanan. Penghancuran limbah secara alami berlangsung lambat sehingga tumpukan limbah dapat mengakibatkan terganggunya lingkungan sekitarnya hingga berdampak pada kesehatan manusia. Limbah tersebut dapat diolah lebih lanjut untuk mendapatkan hasil produk yang diutamakan. Salah satu limbah pertanian adalah tanaman jagung. Limbah ini berasal dari sisa makanan yang masih dapat dimanfaatkan kembali sebagai potensi yang melimpah seperti pakan ternak, bahan bakar, kompos, adsorben dan lain sebagainya.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2016), produksi jagung di Indonesia dalam bentuk pipilan kering mencapai 19.612.435 ton dengan luas lahan 3.787.367 ha. Produksi jagung yang cukup besar ini menimbulkan dampak pada jumlah limbah pertanian, dalam hal ini limbah jagung yang dihasilkan (Rahmidar dkk., 2018). Menurut Umiyasih dan Wina (2008), pemanfaatan limbah tanaman jagung masih sangat terbatas, biasanya hanya digunakan sebagai bahan pakan ternak merupakan hasil samping industri jagung. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah tersebut harus memiliki sifat kreativitas tinggi dalam mengeksplorasi limbah dalam tanaman jagung.

Tanaman jagung merupakan jenis tanaman biji-bijian dari keluarga rumput-rumputan yang sudah terkenal di seluruh dunia, salah satunya negara Indonesia. Jagung juga termasuk makanan pokok banyak diproduksi bagi

kalangan nusantara sehingga sering dibudidayakan tanaman ini cukup intensif karena selain kondisi tanah dan iklimnya sangat mendukung untuk memproses pertumbuhan jagung (Warisno, 1998).

Menurut Warisno (1998), tanaman jagung (*Zea mays L.*) dalam tata nama atau sistematika (taksonomi). Secara umum tanaman jagung dimasukkan dalam klasifikasi sebagai berikut.

Kingdom : Plantae (tumbuh-tumbuhan)
Divisio : Spermatophyta (tumbuhan berbiji)
Sub Divisio : Angiospermae (berbiji tertutup)
Classis : Monocotyledone (berkeping satu)
Ordo : Graminae (rumput-rumputan)
Familia : Graminaceae
Genus : *Zea*
Spesies : *Zea mays L.*



Gambar 1. Tanaman Jagung (Warisno, 1998)

Bagian tanaman jagung yang memiliki banyak manfaat bagi para petani yang membudidayakan limbahnya, yaitu batang jagung. Bagian ini memiliki beberapa pemanfaatan sebagai pakan ternak, *pulp* atau bubur kertas, pembuatan kertas berasal selulosa batang jagung dan bahan bakar (Rochani, 2007). Selain hal

tersebut, limbah hasil pertanian lain yang kaya akan selulosa antara lain limbah jerami padi, jerami padi, tongkol jagung dan bagas. Adapula bahan yang mengandung selulosa dengan menggunakan bantuan jasa mikroorganisme untuk menjadikan sebuah produk, yakni protein pakan, bioetanol dan produk-produk lain (Bachruddin, 2014).

Pemanfaatan tanaman jagung dapat dilihat dari penyusun utamanya, yaitu lignoselulosa terdiri atas selulosa, hemiselulosa dan lignin. Beberapa komposisi kimia batang jagung dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Komposisi kimia batang jagung (Ana dkk., 2016)

Senyawa	Persentase Komposisi (%)
Selulosa	30-50
Hemiselulosa	15-35
Lignin	13-30
Air	9-11
Abu	6

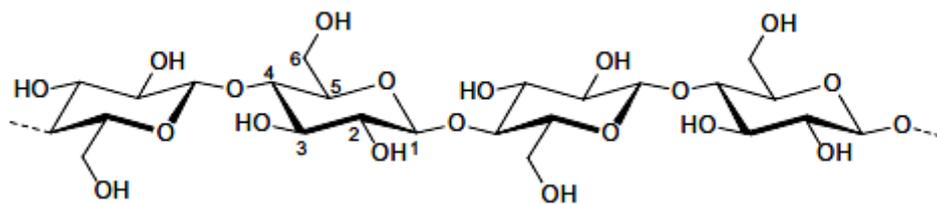
Kandungan Selulosa pada jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk berbagai produk olahan seperti asam karboksilat, sorbitol, xilitol, asam amino, bioetanol atau produk-produk lain yang lebih kompleks seperti protein sel tunggal dengan hidrolisis terlebih dahulu untuk menjadi sebuah produk perlu mengkonversi selulosa menjadi glukosa (Sari dkk., 2019).

2.2 Selulosa

Senyawa selulosa dapat dijumpai di alam dalam bentuk senyawa kristal yang terdapat dalam sel tanaman. Selulosa yang terdapat pada sel-sel tanaman yang terikat dengan hemiselulosa dan lignin dengan perbandingan 4:3:3. Sumber yang kaya akan selulosa adalah bahan limbah pertanian, misalnya limbah jerami

padi, jerami jagung, batang jagung dan bagas. semua bahan tersebut sering dikenal sebagai bahan berserat. Selain itu, telah banyak dilakukan suatu upaya pemanfaatan bahan berserat dengan menggunakan jasa mikroorganisme untuk diproduksi menjadi protein pakan, etanol dan lain-lain (Pearce, 2009).

Selulosa merupakan komponen utama kayu dan serat tumbuhan, sedangkan katun yang berasal dari kapas merupakan selulosa murni. Selulosa tidak larut dalam air dan bukan termasuk karbohidrat pereduksi. Selulosa jika dihidrolisis dalam suasana asam akan menghasilkan banyak molekul D-glukosa. Selulosa merupakan komponen utama serat tanaman yang mempunyai ikatan β pada unit-unit monosakaridanya juga poli- β -D-glukopiranosida yang di antara monomer-monomernya berikatan 1- β dengan 4- β -glikosida membentuk senyawa β -1,4-glikosida (Riswiyanto, 2015).



Gambar 2. Struktur Selulosa (Heinze, 2015)

Selulosa umumnya terdiri dari sekitar 300.000 satuan monomer dan mempunyai rumus molekul $(C_5H_{10}O_5)_n$. Molekul selulosa tersusun monomer-monomernya secara linear, sedangkan pita-pita polimer tersebut terdapat banyak jembatan hidrogen intermolekuler dan intramolekuler yang menyebabkan selulosa mempunyai struktur yang masif atau kompak juga terdapat sel tumbuhan terutama dinding sel (Riswiyanto, 2015).

Selulosa adalah senyawa organik penyusun utama dinding sel tumbuhan yang terlihat keras, tidak larut dalam air, berserat dan ditemukan tanaman

mengandung banyak lignin dan holoselulosa. Untaian holoselulosa yang terdiri dari selulosa dan hemiselulosa direkatkan dengan lignin. Sehingga perekatan ini pada sel pelindung tanaman berkayu ini menjadi jauh lebih kuat dan kaku (Bahtiar dkk., 2016). Sifat Karakteristik komponen kimia yang dimiliki tanaman tingkat tinggi yang berkayu adalah kandungan selulosa tinggi, hemiselulosa rendah dan lignin rendah (Karlinasari, dkk., 2010).

Selulosa mempunyai senyawa turunan yang dapat dibuat atau disintesis melalui pereaksi organik sehingga produk yang dihasilkan mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Misalnya nitroselulosa yang dapat disintesis dari selulosa dengan asam nitrat pekat, juga sebagai senyawa organik dapat dijadikan sebagai bahan peledak. Contoh lain senyawa turunan selulosa, yaitu selulosa dengan karbon disulfida dalam suasana basa, sifatnya mudah larut dalam pelarut organik, juga sebagai pembuatan benang atau lembaran foil (Riswiyanto, 2015).

2.3 Aerogel Selulosa

Aerogel dapat didefinisikan sebagai padatan nanopori yang dibentuk oleh penggantian cairan dengan gas dalam gel. Aerogel umumnya dapat disintesis dari material berbahan silika yang memiliki sifat fisika dan kimia, yaitu kepadatan ($0,003 - 0,500 \text{ g/cm}^3$), porositas (80 - 99,8 %), luas permukaan spesifik ($100 - 1600 \text{ m}^2/\text{g}$) dan juga memiliki sifat kemampuan aktivitas dalam adsorpsi kimia yang baik (Long *et al*, 2018).

Secara khusus, aerogel selulosa memiliki daya terbarukan, biokompatibilitas dan biodegradabilitas selulosa juga memiliki keunggulan kepadatan rendah, porositas tinggi dan luas permukaan spesifik lebih besar sehingga material ini paling baik dikembangkan pertama kali dengan larutan

dalam gel melalui metode pengeringan superkritis. Tetapi dalam beberapa tahun terakhir pengembangan aerogel dapat dibuat secara sintesis dari berbagai jenisnya, yaitu aerogel senyawa anorganik (SiO_2 , TiO_2 , SnO_2 , V_2O_5 dan Al_2O_3), aerogel berbasis polimer sintesis (polipropilena dan poliamida), aerogel makromolekul (protein, kitosan dan hemiselulosa), aerogel karbon (*graphene*) telah dikembangkan untuk kemajuan sains dan teknologi untuk mensintesis atau pembuatan dan pengeringan aerogel (Long *et al.*, 2018).



Gambar 3. Aerogel Selulosa (Budtova *et al.*, 2019)

Metode pengeringan merupakan metode yang dilakukan atau langkah paling penting dalam pembuatan atau sintesis aerogel, penentuan morfologi aerogel selulosa juga tergantung pada cara pengeringannya. Umumnya metode pengeringan secara konvensional dengan menggunakan adanya tekanan kapiler yang melibatkan zat cair dan gas sehingga struktur gel pada pori-porinya mudah rusak. Oleh karena itu, metode pengeringan yang dilakukan era modern ini, yaitu metode pengeringan superkritis (misalnya alkohol, aseton atau CO_2) dan metode pemakuman beku atau *freeze dry* (Long *et al.*, 2018).

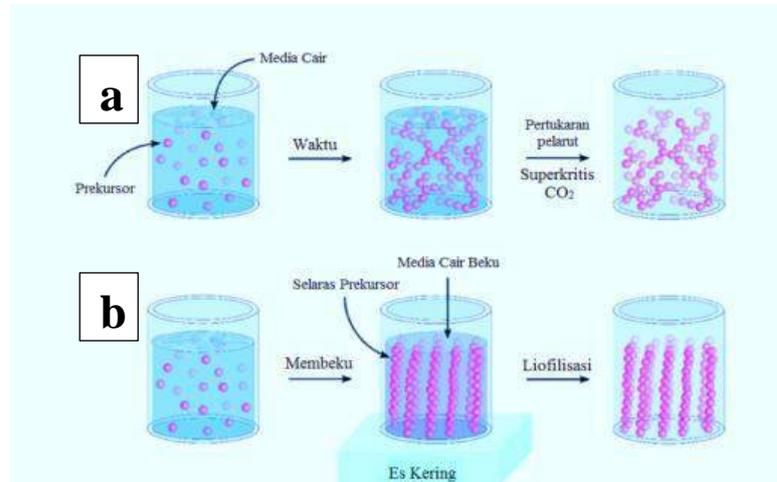
Metode yang digunakan dalam pembuatan aerogel dibagi menjadi dua, yaitu metode superkritis CO_2 dan metode *freeze dry*. Metode pengering superkritis

CO₂ harus memiliki titik kritis yang sesuai pada suhu dan tekanan, yaitu 304 K dan 7,4 MPa. Penggunaan CO₂ dari metode ini lebih aman dan sering digunakan dibandingkan penggunaan senyawa metode superkritis ini. Pengerinan ini melibatkan transfer massa dua arah, yaitu pelarut gel dan pori-pori gel masih basah. Pertama, metode superkritis sebagian dipengaruhi oleh disolusi CO₂ dalam pelarut gel yang mengarah pada perluasan volume gel sehingga kelebihan pelarutnya akan mengurangi jumlah gel didalamnya. Kedua, metode superkritis CO₂ dipengaruhi oleh pori-pori gel basah akan meningkat sesuai waktunya sampai kondisi kritisnya tercapai hingga campuran cairan yang masih basah tidak terjadi adanya tegangan permukaan, jika kelebihan air di dalamnya pada tegangan tersebut kurang terbentuknya suatu gel. Hal ini dilakukan untuk menghindari kerusakan pori-pori gelnya (Long *et al.*, 2018).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam optimasi proses pengerinan superkritis CO₂ adalah suhu, tekanan, ukuran partikel, kecepatan alir pelarut CO₂ dan waktu ekstraksi pengerinannya. Kondisi kerja pada optimasi yang digunakan seiring waktunya menyebabkan cairan mengalami peningkatan suhu dan tekanan, keadaan yang sama ukuran partikelnya dipengaruhi kecepatan pengerinan dimana semakin besar ukuran partikelnya maka akan menghambat proses pemisahan atau pengerinan. Selanjutnya, pengaturan suplai CO₂ yang akan dilakukan pengerinannya dan waktu pengering perlu diperhatikan agar dapat dilakukan secara tepat sehingga kemurnian hasil yang didapatkan dari cairannya lebih tinggi (Rohmah dan Rahmadi, 2017).

Pengerinan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengerinan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengerinan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Dari semua metode

tersebut, salah satu metode pengeringan yang dianggap paling baik saat ini adalah metode *freeze drying* atau yang lebih dikenal dengan nama metode pengeringan beku. Metode ini juga dikenal dengan berbagai nama seperti metode *lyophilization* dan *cryodesiccation* (Long *et al.*, 2018).



Gambar 4. Perbandingan sintesis aerogel dapat ditinjau dari metode Pengeringnya dapat melalui (a) metode pengering superkritis CO₂ dan (b) metode pengering beku (Barrios *et al.*, 2019)

Prinsip dasar pengeringan beku (*freeze drying*) adalah proses menghilangkan kandungan air dalam suatu bahan atau produk yang telah beku (es) tanpa melalui fase cair terlebih dahulu. Liofilisasi adalah solusi farmasi untuk menghasilkan sebuah produk bubuk yang stabil. Metode ini telah menjadi standar praktek dalam memproduksi produk sediaan suntik di pasaran (Long *et al.*, 2018).

Aerogel selulosa merupakan jenis aerogel yang ramah lingkungan dan material multifungsi yang memiliki potensi besar dalam penerapan adsorpsi minyak dan air melalui pemisahan, insulasi panas, bahan biomedis, logam nanopartikel atau logam oksida dan lain sebagainya (Long *et al.*, 2018).

Aerogel juga sebagai bahan material yang banyak dimanfaatkan berbagai bidang, adapun beberapa pengaplikasian penggunaan material dalam hal sebagai katalis, proses pemisahan kimia, analisis kimia, agen penyerap, teknologi energi

dan penyerapan energi. Material aerogel banyak dikembangkan baik berasal dari anorganik, anorganik-organik dan organik, karena memiliki sifat kepadatan rendah, porositas volume tinggi dan luas permukaan besar sehingga proses penyerapan dan pengeringan dapat menampung dengan baik (Chen *et al*, 2016).

Aerogel selulosa dapat disintesis dari prekursor aerogel senyawa anorganik, yaitu silika (SiO_2) dan sumber selulosa didapatkan dari komposisi kimia batang jagung. Memiliki sifat khusus aerogel sendiri, yaitu dapat menyerap ion-ion logam berat salah satunya logam tembaga (Cu), sehingga aerogel memiliki daya biodegradasi dapat terurai secara hayati. Oleh karena itu, aerogel selulosa telah menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir (Pan *et al.*, 2018).

2.4 Adsorben

Adsorben adalah bahan padat dengan luas permukaan dalam besar pada media penyerap. Permukaan yang luas ini terbentuk karena banyaknya pori-pori halus pada padatan tersebut. Disamping luas spesifik dan diameter pori, maka kerapatan unggun, distribusi ukuran partikel maupun kekerasannya merupakan data karakteristik penting dari adsorben (Asip dkk., 2008). Luas spesifik suatu adsorben biasanya berkisar antara 200-1000 m^2/g adsorben dengan diameter pori sebesar 0,0003-0,02 μm (Muchlisyyah dkk., 2017). Sedangkan diameter pori dapat ditinjau ukuran pori dari klasifikasi IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) menjadi mikropori ($d < 20 \text{ \AA}$), mesopori ($20 < d < 500 \text{ \AA}$) dan makropori ($d > 500 \text{ \AA}$) (Silviana, dkk., 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Zubair dkk. (2019), bahwa proses adsorpsi terjadi pada pori-pori dalam adsorben, dimana adsorben dari suatu logam mempunyai kemampuan menyerap terhadap material aerogel karena jumlah

aplikasiannya meningkat secara menyeluruh pada logam berat seperti kromium (Cr), tembaga (Cu), timah (Pb), merkuri (Hg), mangan (Mn), kadmium (Cd), nikel (Ni), seng (Zn) dan besi (Fe).

Gaya tarik-menarik suatu padatan atau material dibedakan menjadi dua jenis gaya, yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Oscik, 1982). Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben (padatan) dengan adsorbat (zat terlarut) yang melibatkan gaya intermolekul seperti gaya Van der Waals. Dalam adsorpsi fisika, molekul-molekul teradsorpsi tidak ditempelkan ke tempat tertentu pada permukaan padat, namun bebas bergerak di atas permukaan sehingga adsorpsi fisika relatif tidak bekerja secara spesifik karena kekuatan tarik antarmolekul lemah. Adsorpsi fisika mempunyai entalpi reaksi 4 sampai 40 kJ/mol. Molekul yang teradsorpsi secara fisika terjadi kesetimbangan antara adsorbat dan fasa cair yang menghasilkan adsorpsi multilayer, sehingga adsorpsi ini relatif tidak spesifik karena daya tarik teradsorpsi antarmolekulnya lemah. Adsorpsi fisika umumnya bersifat *reversible*, yaitu menurunnya konsentrasi suatu material akan kembali keadaan semula saat teradsorpsi (Botahala, 2019).

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang terjadi interaksi antara adsorben dengan adsorbat melibatkan ikatan kimia. Proses adsorpsi ini bergantung pada luas permukaan. Meningkatnya luas permukaan maka molekul-molekul yang teradsorpsi dihubungkan ke permukaan adanya ikatan valensi (Botahala, 2019). Pada keadaan yang sama, waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses adsorpsi fisika lebih cepat dibandingkan adsorpsi kimia, hal ini dapat dipengaruhi oleh jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat dan laju adsorpsi

disertai terjadinya proses pelepasan jumlah zat yang akan teradsorpsi disebut desorpsi (Muclisyiyah dkk., 2017).

Bilal (2001) dan Dewi (2012) dalam Siagian dkk. (2019), kemampuan suatu biomaterial untuk dapat mengadsorpsi logam berat dengan daya serap lebih besar dapat bertindak sebagai material penyerap, yaitu selulosa. Kemampuan mengadsorpsi suatu logam berat seperti Cu(II), Pb(II), Cd(II), Cr(III) dan sebagainya. Proses penyerapan logam oleh biomaterial melibatkan gugus fungsional yang terikat pada makromolekul permukaan sel, seperti protein, lignin, kitin dan kitosan.

Menurut Asip dkk. (2008) dan Muchlisyyah dkk. (2017), beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses penyerapan atau adsorpsi, yaitu:

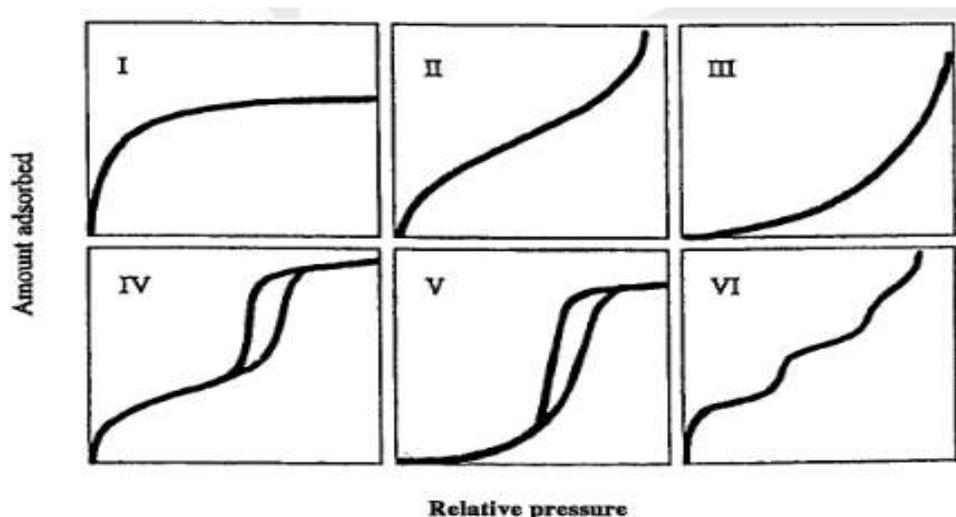
- a. Karakteristik adsorbat. Adsorpsi dipengaruhi oleh dua sifat permukaan, yaitu energi permukaan dan gaya tarik permukaan. Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan sifat fisik yang terpenting dari bahan yang akan digunakan sebagai adsorben.
- b. Kelarutan adsorbat. Proses ini terjadi molekul-molekul yang ada dalam larutan harus dapat terpisah dari cairannya dan dapat berikatan dengan permukaan adsorben. Sifat unsur yang terlarut mempunyai gaya tarik-menarik terhadap cairannya yang lebih kuat bila dibandingkan dengan unsur yang sukar larut. Dengan demikian unsur yang terlarut akan lebih sulit terserap pada adsorben bila dibandingkan dengan unsur yang tidak larut.
- c. Waktu kontak. Semakin lama waktu kontak antara partikel yang diadsorpsi dengan partikel pengadsorpsi, maka kemungkinan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat juga berlangsung lebih baik.

- d. Luas permukaan. Semakin kecil ukuran adsorben maka luas permukaan akan semakin besar. Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak partikel adsorbat yang diserap, sehingga proses adsorpsi juga semakin efektif. Kapasitas adsorpsi total dari suatu adsorbat tergantung pada luas permukaan total adsorbennya.

2.4.1 Isoterm Adsorpsi

Isotermal adsorpsi adalah hubungan yang menunjukkan distribusi adsorbat antara fasa yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan fasa padat pada saat kesetimbangan pada suhu tertentu (Atkins, 1997). Kualitas suatu adsorben yang dapat menyerap juga dilihat sesuai jumlah atau berapa banyak adsorbat (logam tembaga) yang dapat ditarik dan tersisa. Untuk menentukan kualitasnya dapat dilihat dari kapasitas adsorbennya.

Berdasarkan grafik hubungan antara jumlah adsorbat dalam fasa gas yang teradsorpsi pada tekanan tertentu harus sesuai dengan klasifikasi isotermal adsorpsi menurut IUPAC (*International Union Of Pure and Applied Chemistry*) dapat dilihat pada Gambar 5 (Marsh dan Reinoso, 2006):



Gambar 5. Grafik tipe-tipe adsorpsi berdasarkan IUPAC

- a. Tipe I, disebut tipe isothermal langmuir yang menggambarkan adsorpsi monolayer. Isothermal ini sesuai adsorpsi fisik biasanya diperoleh dari adsorben yang memiliki ukuran pori < 2 nm (mikropori) dan luas permukaan area eksternalnya sangat sedikit.
- b. Tipe II, diperoleh dari percobaan Brauner, Emmet dan Teller (1938), kurva jenis ini ditemukan pada adsorben yang berpori besar (makropori).
- c. Tipe III, menunjukkan semakin tinggi kuantitas adsorben saat tekanannya bertambah. Tipe ini jarang terlihat dalam eksperimen adsorpsi, dimana gaya tarik molekul gas lebih besar dibandingkan gaya ikat serapan.
- d. Tipe IV, sering terlihat padatan berpori, seperti pada katalis industri. Relatif tekanan rendah sampai menengah, dimana volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan padatan adsorben yang berukuran 2 – 50 nm (mesopori).
- e. Tipe V, jenis ini hampir sama dengan tipe III, dihasilkan dari interaksi rendah antara adsorben dengan adsorbat.
- f. Tipe VI, menunjukkan interaksi adsorbat dengan permukaannya yang terlalu homogen (*pyrolytic graphite*) yang berinteraksi dengan adsorben seperti argon dan metan.

Kapasitas penyerapan dan persentase penyerapan sangat menentukan sifat dari adsorben. Kapasitas penyerapan dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$Q = \frac{C_0 - C_{\text{sisia}}}{m} \times V \quad (1)$$

Keterangan:

Q = Kapasitas Adsorpsi (mg/g)

C₀ = Konsentrasi Awal (mg/L)

C_{sisa} = Konsentrasi Sisa (mg/L)
 V = Volume larutan logam (L)
 m = massa adsorben (g)

Isoterm Langmuir memperkirakan kapasitas adsorpsi maksimum pada seluruh permukaan satu lapisan (*monolayer*) molekul pada permukaan adsorben. Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Pada setiap situs aktif hanya ada satu molekul yang dapat diadsorpsi (Atkins, 1997).

Jumlah zat yang terserap oleh logam Cu dalam larutan yang teradsorpsi sebagai fungsi konsentrasi ditentukan untuk menghitung kapasitas adsorpsi. Menurut teori adsorpsi

$$Q = \frac{b \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \quad (2)$$

Persamaan 2 dapat diturunkan secara linier menjadi:

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{Q_0 \cdot b} + \frac{1}{Q_0} \quad (3)$$

Keterangan:

C_e = konsentrasi sisa (mg/L)

Q = jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

Q_0 = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

b = konstanta Langmuir (L.mg)

Sedangkan teori isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan sisi bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap sisi dimana proses adsorpsi pada tiap-tiap sisi mengikuti isoterm Langmuir (Minceva dkk., 2007). Persamaan isoterm Freundlich yaitu:

$$\frac{X_m}{m} = k \cdot C^{1/n} \quad (4)$$

$$\log \frac{X_m}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (5)$$

Keterangan:

X_m = berat zat yang teradsorpsi (mg/g)

m = berat adsorben (g)

C = konsentrasi (mg/L)

dimana k dan n adalah konstanta adsorpsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Bila dibuat kurva $\log (X_m/m)$ terhadap $\log C$ akan diperoleh persamaan linear dengan *intercept* $\log k$ dan kemiringan $1/n$ sehingga nilai k dan n dapat dihitung.

2.4.2 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan bagian dari adsorpsi yang membahas tentang laju adsorpsi dari suatu adsorben terhadap adsorbat (Yahaya dkk., 2011). Analisis kinetika adsorpsi dapat ditentukan dengan beberapa model untuk sistem liquid-solid, beberapa diantaranya adalah model kinetika orde 1, orde 2, pseudo-orde 1 (model Lagergren) dan model kinetika pseudo-orde 2 (model Ho dan McKay). Model kinetika orde 1 menunjukkan bahwa reaksi hanya bergantung pada konsentrasi salah satu reaktan, sedangkan model kinetika orde 2 menunjukkan reaksi bergantung pada kuadrat konsentrasi salah satu reaktan atau konsentrasi dua reaktan yang terlibat. Model *pseudo-orde 1* (model Lagergren) adalah model kinetika mekanistik pertama untuk sistem *liquid-solid* yang berbasis pada kapasitas padatan (*solid*). Model kinetika tersebut merupakan salah satu persamaan kinetika yang telah diaplikasikan secara luas untuk mendeskripsikan

adsorpsi zat terlarut dari larutan. Bentuk umum persamaan kinetika *pseudo*-orde 1 yaitu:

$$\frac{dq_t}{dt} = k (q_e - q_t) \quad (6)$$

dengan q_e adalah kapasitas adsorpsi pada titik kesetimbangan (mg/g), q_t adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g), k adalah konstanta kinetika. Integrasi persamaan untuk kondisi batas $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q_t = 0$ hingga $q_t = q_t$ memberikan hasil:

$$\ln \frac{q_e}{q_e - q_t} = k t \quad (7)$$

dalam bentuk linie

$$\ln (q_e - q_t) = -k_1 t + \ln q_e \quad (8)$$

plot $\log (q_e - q_t)$ terhadap t atau plot $\ln (q_e - q_t)$ terhadap t merupakan kurva linier dengan slope = k dan intercept = $\ln q_e$ (Munawar, 2012).

Model *pseudo*-orde 2 (model Ho dan McKay) adalah model kinetika yang dikembangkan berdasarkan reaksi kompleksasi antara adsorben dengan adsorbat.

Persamaan laju reaksi *pseudo*-orde 2 yaitu:

$$\frac{dq_t}{dt} = k (q_e - q_t)^2 \quad (9)$$

dengan k adalah konstanta kinetika adsorpsi ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Integrasi persamaan tersebut untuk kondisi batas $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q_t = q_t$ memberikan hasil:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{k q_e^2} + k t \quad (10)$$

Bentuk lain dari persamaan 10, yaitu:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (11)$$

Plot t/qt terhadap t , merupakan kurva linier dengan slope = $1/q_e$ dan intercept = $1/kq_e^2$ (Munawar, 2012).

2.4.3 Termodinamika Adsorpsi

Terjadinya proses adsorpsi melibatkan gaya-gaya intermolekul seperti gaya elektrostatik, gaya london serta interaksi ion-ion yang terdapat pada adsorben maupun adsorbat, sehingga proses adsorpsi akan melibatkan perubahan energi. Jika adsorpsi diasumsikan sebagai suatu reaksi kesetimbangan, maka pada keadaan setimbang ($\Delta G = 0$) sehingga energi adsorpsinya dapat dirumuskan pada persamaan 12.

$$\Delta G = - R T \ln K \quad (12)$$

Untuk melihat keberadaan proses adsorpsi terhadap suhu, dapat ditinjau dari energi aktivasinya, yaitu energi minimal yang dibutuhkan untuk terjadinya adsorpsi. Energi aktivasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Arrhenius melalui persamaan 13.

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad (13)$$

Jika persamaan 13 diubah dalam bentuk logaritma, maka akan diperoleh

$$\log k = \frac{-E_a}{2,303 \cdot R} \times \frac{1}{T} + \log A \quad (14)$$

atau,

$$\ln k = \frac{-E_a}{R} \times \frac{1}{T} + \log A \quad (15)$$

Berdasarkan persamaan 15 dengan membuat grafik $\ln k$ terhadap $1/T$ akan diperoleh energi aktivasi observasi (E_a) tersebut (Raya, 1998).

Pada kajian adsorpsi yang melibatkan perubahan suhu, maka ukuran energi adsorpsi dapat pula ditentukan dari besarnya ΔH (perubahan entalpi)

adsorpsi yang diperoleh, besaran entalpi ini dapat digunakan untuk menentukan jenis adsorpsi yang terjadi. Berdasarkan persamaan Gibbs dan Hemholtz perubahan entalpi dapat dirumuskan pada persamaan (16).

$$\left[\frac{\delta \frac{G}{T}}{\delta \frac{1}{T}} \right] = \Delta H \quad (16)$$

Bila persamaan (12) disubstitusikan ke dalam persamaan (16), akan didapatkan:

$$\frac{\delta \ln k}{\delta \frac{1}{T}} = - \frac{\Delta H}{R} \quad (17)$$

Integral tak tentu pada persamaan (17) akan menghasilkan:

$$\ln K = - \frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + C \quad (18)$$

Jika $1/T$ terhadap $\ln K$ (konstanta kesetimbangan Langmuir) dibuat grafik, maka akan diperoleh nilai ΔH tersebut.

Hubungan antara energi bebas Gibbs dan perubahan entalpi dirumuskan pada persamaan (19):

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (19)$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan 19, perubahan entropi dapat pula ditentukan. Entropi adalah besaran termodinamika yang menunjukkan ketidakteraturan suatu sistem (Raya, 1998).

2.5 Logam Tembaga

Logam tembaga adalah logam transisi termasuk periode empat, golongan IB pada tabel periodik unsur memiliki konfigurasi elektron $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ dengan nomor atom 29, massa atom 63,5 g/mol, massa jenis 8,96 g/cm³, titik leleh 1083 °C dan titik didih 2595 °C. Logam tembaga merupakan logam yang banyak

digunakan pada makhluk hidup walaupun jumlah yang sangat sedikit, misalnya produksi hemoglobin darah pada manusia, juga produksi benih pada tumbuhan, ketahanan penyakit, dan pengaturan air (Handayanto dkk., 2017).

Umumnya logam tembaga berperan dalam produksi hemoglobin darah pada manusia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar logam tembaga (Cu) yang masuk ke lingkungan akan cepat menjadi stabil dan menghasilkan bentuk yang tidak menimbulkan resiko serius terhadap lingkungan (Handayanto dkk., 2017). Apabila penggunaan logam tembaga yang biasa dipergunakan kehidupan sehari-hari dalam jangka panjang, maka logam akan teroksidasi di lingkungan maupun udara bebas sehingga alat-alat digunakan makan dan minum, seperti sendok, garpu dan gelas berasal dari logam tersebut kurang bersih dan higienis sehingga masuk ke dalam tubuh melalui makan dan minuman dapat menimbulkan penyakit walaupun kebutuhan diperlukan jumlah sedikit (Sukandarrumidi, 2018).

Logam tembaga merupakan elemen mikro yang sangat sedikit dibutuhkan oleh organisme baik darat maupun perairan. Keberadaan logam tersebut di suatu perairan skala industri akan terserap oleh biota perairan secara berkelanjutan apabila keberadaannya dalam perairan selalu tersedia. Hal ini menjadi potensi kontaminan logam berat menjadi racun jika konsentrasi yang terakumulasi dalam tubuh melebihi ambang batas (Cahyani dkk., 2012). Menurut keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2019 tentang baku mutu air untuk organisme laut bahwa nilai ambang batas untuk logam Cu adalah 0,05 mg/l.

Kemampuan ion logam dapat berinteraksi dengan gugus-gugus aktif seperti gugus $-NH_2$ dan gugus $-OH$ yang dapat mengikat ion logam tembaga. Adapun interaksi yang terjadi antara ion logam Cu(II) dengan selulosa adalah

pembentukan senyawa kompleks, dimana selulosa berperan sebagai ligan dan ion logam sebagai ion pusat. Hal ini terjadi karena melimpahnya pasangan elektron pada struktur molekul selulosa sehingga dapat berperan sebagai donor pasangan elektron bebas (basa lewis) dan ion logam sebagai reseptor pasangan elektron bebas (asam lewis). Dengan demikian selulosa lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar dari zat yang kurang polar (Siagian dkk., 2019).

Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus $-OH$ yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif merupakan mekanisme pertukaran ion. Interaksi antara gugus $-OH$ dengan ion logam memungkinkan melalui mekanisme pembentukan kompleks koordinasi karena atom oksigen pada gugus $-OH$ mempunyai pasangan elektron bebas. Ion $Cu(II)$ akan berinteraksi kuat dengan anion yang bersifat basa kuat seperti $-OH$. Pembentukan ikatan antara ion $Cu(II)$ dengan $-OH$ pada selulosa melalui ikatan kovalen koordinasi, dimana pasangan elektron bebas dari atom O pada $-OH$ akan berikatan dengan ion $Cu(II)$ membentuk senyawa kompleks (Siagian dkk., 2019).

2.6 Instrumentasi

Karakterisasi material aerogel selulosa dapat dilakukan dengan menggunakan instrumentasi yang umum digunakan, yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Braun-Emmet-Teller* (BET) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) sebagai berikut:

a. *X-Ray Diffraction* (XRD)

XRD merupakan instrumen digunakan dalam karakterisasi suatu material bentuk kristalnya. Informasi yang diperoleh dari XRD ini, yaitu struktur kristal, ukuran kristalit, orientasi dari sel satuan dan ketidaksempurnaan kisi. Analisis

XRD dicetak pada kertas dengan sumber pancaran radiasi tembaga dengan filter nikel. Nilai difraksi sinar-X yang menghasilkan intensitas dan sudut difraksi, dianalisis untuk menentukan jenis struktur kristalnya dengan mencocokkan pada ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) (Munasir dkk., 2012).

b. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

FTIR merupakan instrumen yang digunakan untuk menganalisis gugus fungsi molekul ataupun senyawa suatu material. Aerogel selulosa terukur instrumen ini pada panjang gelombang 4000-400 cm^{-1} pada resolusi 4 cm^{-1} dalam mode transmittan (Chen dkk., 2016).

c. *Braun-Emmet-Teller* (BET)

BET merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui luas area permukaan spesifik suatu material yang berukuran lapisan utama ukuran sangat kecil menggambarkan karakteristik permukaan material yang bersesuaian dengan kapasitas adsorbennya (Tremaine dan Gray, 1976).

d. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

SEM merupakan metode yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dalam skala mikro dan nano. Alat instrumen ini dilengkapi dengan menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik, dimana memberikan informasi tentang komposisi material (Rianita dkk., 2014).