



Adsorpsi Logam Cd Menggunakan α -Selulosa dari Kulit Buah Nanas

Weni Mandasari¹, Berlian Sitorus^{1*}, Rudiyanayah¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura Pontianak

*E-mail: berlian.sitorus@chemistry.untan.ac.id

Abstract

Pineapple fruit is widely consumed that impact on the waste produced. One of which is pineapple peel has a high cellulose content of around 69.5-71%. In this research, the synthesis of α -cellulose from pineapple peel was tings in order produce an adsorbent for Cd^{2+} metal ions. The prepared pineapple peel powder was delignified using 2% NaOH to remove lignin, were delignified again using 18% NaOH. The α -cellulose formed was bleached using 3.5% NaOCl. α -cellulose was hydrolyzed using H_2SO_4 with various concentrations of 2, 3 and 4%. The goal is to determine the optimum adsorption of the adsorbent. Based on this research, it was found that the maximum adsorption capacity was obtained at 4% H_2SO_4 variation which is 108 mg/g and an efficiency of 54%. The adsorption isotherm model on cellulose meets the assumptions of chemical, and physical adsorption as shown by the R^2 value of 0.999. Chemical adsorption (Langmuir isotherm) is indicated by the reaction of the OH group with the metal ion Cd^{2+} . Physical adsorption (Freundlich isotherm) that occurs at heterogeneous adsorption sites supported by changes in surface area (BET) values.

Keywords: α -cellulose; delignification; bleaching; adsorption; Cd^{2+} metal ions

Abstrak

Nanas adalah komoditi alam yang sangat berlimpah dan banyak dikonsumsi oleh masyarakat sehingga berdampak pada limbah yang dihasilkan salah satunya kulit nanas. Kulit nanas memiliki kandungan selulosa yang tinggi sekitar 69,5-71%. Pada penelitian ini dilakukan sintesis α -selulosa kulit nanas sebagai adsorben ion logam Cd^{2+} . Kulit nanas yang telah dipreparasi didelignifikasi menggunakan NaOH 2% untuk menghilangkan lignin. Sampel didelignifikasi kembali menggunakan NaOH 18%. α -selulosa yang terbentuk dilakukan pemutihan menggunakan NaOCl 3,5%. α -selulosa dihidrolisis menggunakan H_2SO_4 dengan variasi konsentrasi yaitu 2, 3 dan 4%. Tujuannya untuk mengetahui penyerapan optimum adsorben tersebut. Berdasarkan penelitian ini didapatkan nilai kapasitas maksimum adsorpsi pada variasi H_2SO_4 4% dengan nilai sebesar 108 mg/g dan nilai efisiensi 54%. Model isotherm adsorpsi pada selulosa memenuhi asumsi adsorpsi kimia dan fisika yang ditunjukkan nilai R^2 sebesar 0,999. Adsorpsi kimia (isotherm Langmuir) ditunjukkan dengan reaksi gugus OH dengan ion logam Cd^{2+} . Adsorpsi fisika (isotherm Freundlich) yang terjadi pada situs adsorpsi yang heterogen yang didukung dengan perubahan nilai luas permukaan (BET).

Kata Kunci: α -selulosa; delignifikasi; pemutihan; adsorpsi; ion logam Cd^{2+}

PENDAHULUAN

Kandungan logam berat seperti cadmium (Cd), di perairan dapat meningkat akibat pertambahan kegiatan industri di sekitar wilayah perairan tersebut, terutama industri yang berhubungan dengan bahan *coating*. Salah satu kajian yang dilakukan oleh Ikhsan *et al.* (2023) menyatakan bahwa kadar logam Cd di Kendari melebihi nilai baku mutu sebesar 0,0019 mg/L sedangkan menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 sebesar 0,002 mg/L. Tingginya kadar Cd tersebut dapat dikurangi melalui metode adsorpsi.

Nanas adalah jenis tanaman berbuah yang sering dijumpai sebagai hidangan seperti sirup, selai, dan manisan. Nanas hidup subur di daerah tropis karena curah hujannya yang seimbang. Buah nanas dipanen tiga kali dalam setahun, sehingga prospek bisnis kedepannya bisa semakin meningkat. Buah nanas memiliki bagian penting yaitu seperti mahkota, daun, kulit, dan isi nanas. Konsumsi masyarakat akan buah nanas menyebabkan banyaknya limbah kulit buah yang dihasilkan. Pemanfaatan limbah dari buah nanas untuk lingkungan hingga kini masih terbatas seperti pengolahan daun nanas sebagai adsorben logam tembaga, Cu (Mayangsari *et al.*, 2019) dan besi, Fe (III) (Setiawan *et al.*, 2017). Kulit nanas juga digunakan sebagai pembuatan bioetanol dengan penambahan ragi (Syauqi and Inasari, 2020). Kulit nanas memiliki kandungan selulosa sebesar 23,4 % (Chaokaur, 2014), sehingga dapat dikatakan bahwa kulit nanas berpotensi untuk dijadikan adsorben termasuk untuk logam Cd.

Pada penelitian ini dikaji karakteristik α -selulosa kulit nanas dengan variasi konsentrasi asam (H_2SO_4) menggunakan metode hidrolisis dan kemampuan adsorben α -selulosa kulit nanas terhadap ion logam Cd^{2+} . Kulit nanas dipreparasi kemudian didelignifikasi dengan NaOH, lalu di-*bleaching* menggunakan NaOCl sehingga terbentuklah yang tersisa adalah α -selulosa. α -selulosa ini kemudian dihidrolisis menggunakan H_2SO_4 dengan tiga variasi konsentrasi untuk memperoleh mikrokristal α -selulosa. Selanjutnya dilakukan uji adsorpsi terhadap ion logam Cd^{2+} dan dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Dalam penelitian ini akan dipaparkan daya adsorpsi selulosa menggunakan persamaan Langmuir dan Freundlich.

METODE PENELITIAN

Preparasi sampel kulit buah nanas

Kulit buah nanas yang matang dipreparasi dengan cara dicuci bersih menggunakan air mengalir dan dipotong kecil-kecil. Selanjutnya dijemur di bawah sinar matahari, kemudian dikeringkan pada suhu $100^\circ C$. Setelah itu dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh.

Isolasi α -selulosa mikrokristal

Kulit nanas hasil preparasi sebanyak 100 g didelignifikasi menggunakan NaOH 2% Kemudian larutan disaring untuk dipisahkan residu dan filtratnya. Residu dicuci hingga filtrat berwarna bening. Sampel didelignifikasi kembali dengan NaOH 18%, disaring untuk memisahkan residu dan filtratnya. Residu dicuci hingga filtrat berwarna bening. Residu selulosa di-*bleaching* dengan NaOCl 3,5% kemudian disaring, dan residu dibilas kembali untuk menghilangkan sisa klor di dalamnya. Residu dikeringkan dengan suhu $50^\circ C$ sehingga terbentuklah α -selulosa. α -selulosa dari kulit nanas dilarutkan dalam H_2SO_4 dengan variasi konsentrasi yaitu 2, 3 dan 4% pada suhu $105^\circ C$. Selanjutnya dipisahkan residu dan filtrat. Residu yang terbentuk dicuci hingga netral dan dipanaskan

pada suhu 105°C (Agustin and Abdassah, 2021) dan kemudian dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Gas Sorption Analyzer* (GSA).

Analisis Penyerapan Ion Cd²⁺

Larutan standar Cd²⁺ 1000 ppm dipipet sebanyak 1 mL kemudian ditambahkan HNO₃ sebanyak 15 mL dan ditepatkan hingga tanda batas (Larutan uji). Dipipet 50 mL larutan uji kemudian ditambahkan adsorben sebanyak 0,5 gram (1 buah sebagai kontrol) lalu dikocok. Sampel didiamkan selama 60 menit agar mengendap sempurna. Setelah itu sampel dipisahkan antara filtrat dan residunya (Tasanif *et al*, 2020). Residu dipanaskan pada suhu 100°C untuk dianalisis menggunakan GSA. Filtrat dianalisis menggunakan AAS berdasarkan SNI 6989.84.2019. Penentuan kapasitas adsorpsi ion logam Cd²⁺ pada α -selulosa kulit nanas dilakukan melalui pembuktian untuk tiga model isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi dilakukan melalui tahap pencucian, pemotongan dan penghalusan. Kulit nanas yang matang dicuci untuk menghilangkan kotoran dan hama. Kemudian dipotong-potong kecil dan dijemur untuk mengurangi kandungan air sehingga tidak dapat ditumbuhi jamur dan menghentikan proses enzimatik sehingga dapat mengurangi degradasi zat aktif. Kulit nanas dipanaskan dengan suhu 105°C kemudian dihaluskan untuk meningkatkan luas permukaan sehingga memudahkan kontak dengan pelarut. Sampel kemudian diayak menggunakan ayakan 80 mesh, untuk memperoleh ukuran partikel serbuk yang seragam.

Pembuatan α -selulosa melalui metode delignifikasi menggunakan NaOH 2% karena mampu melarutkan lignin dan sebagian hemiselulosa. Ion OH⁻ dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin sehingga lignin akan mudah larut. Proses delignifikasi menggunakan NaOH dimana terjadi reaksi saponifikasi ikatan ester yang menghubungkan hemiselulosa dan lignin secara bertautan. Tahapan selanjutnya adalah delignifikasi menggunakan NaOH 18%, α -selulosa tidak dapat larut dalam NaOH 18%, sedangkan lignin, hemiselulosa dan komponen lainnya bersifat larut. Indikasi terlarutnya lignin dalam sampel ditandai dengan berkurangnya masa (Purwiandono and Haidar, 2022). Masa awal sampel 100 g setelah proses delignifikasi susut menjadi 15-30% dari berat awal. Selain itu pada proses delignifikasi juga terjadi perubahan warna sampel kulit nanas yang semula berwarna coklat gelap menjadi lebih cerah. *Bleaching* (pemutihan) dilakukan untuk meningkatkan kemurnian selulosa menggunakan NaOCl. Pemutusan lignoselulosa dan reaksi oksidasi lignin menunjukkan bahwa lignin telah dapat dipisahkan dari sampel kulit nanas yang ditandai dengan terbentuknya material seperti bubur putih keabuan.

Proses selanjutnya adalah hidrolisis menggunakan H₂SO₄ dengan tiga variasi konsentrasi yaitu 2, 3 dan 4%. Hidrolisis merupakan proses dekomposisi bahan kimia yang bereaksi dengan air. Berdasarkan penelitian ini selulosa mikrokristal hasil isolasi berbentuk serbuk halus berwarna putih kekuningan, tidak berasa dan tidak berbau. Warna yang muncul pada selulosa mikrokristal hasil isolasi disebabkan oleh lignin yang belum sempurna terhidrolisis. α -selulosa juga mengalami penyusutan masa ketika *bleaching*. Masa awal sampel sebelum *dibleaching* sekitar 85 g menyusut menjadi 35 g. Hal ini dikarenakan terputusnya ikatan lignoselulosa, sehingga memudahkan lignin dan hemiselulosa terdegradasi saat proses isolasi yang pada akhirnya akan berpisah dengan selulosa (Pratama *et al.*, 2019).

Proses adsorpsi ion logam Cd^{2+} dilakukan dengan penambahan HNO_3 pekat untuk mencegah oksidasi reduksi pada sampel ion logam Cd^{2+} . Larutan standar Cd^{2+} ditambahkan adsorben 0,5 g (1 buah erlenmeyer sebagai kontrol) kemudian dikocok agar kontak sempurna antara adsorben dengan larutan penjerapnya. Setelah dikocok sampel didiamkan selama 60 menit lalu disaring untuk dipisahkan filtrat dan residu. Residu dioven dengan suhu $100^{\circ}C$ untuk menghilangkan kandungan air yang terjerap kemudian dikarakterisasi menggunakan GSA. Sedangkan filtratnya diukur untuk mengetahui kadar ion logam Cd^{2+} yang masih tersisa menggunakan AAS.

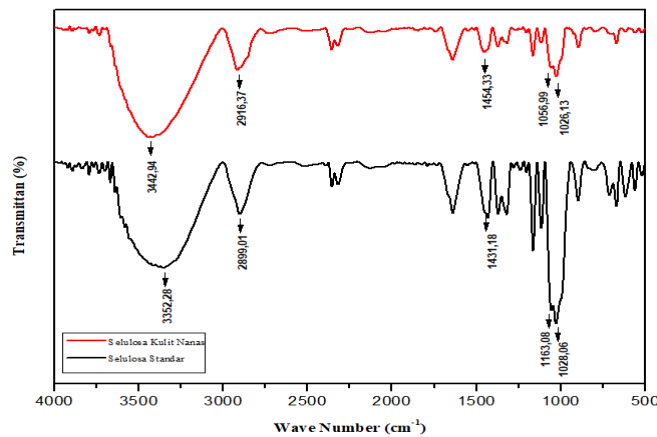
Hasil analisis gugus FTIR

Karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada selulosa kulit nanas. Spektrum hasil karakterisasi FTIR dapat dilihat pada Gambar 1 dan data analisis gugus fungsi selulosa dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 sampel yang dihasilkan dari proses penelitian adalah selulosa. Pada spektrum IR kulit nanas gugus hidroksil (O-H) muncul di daerah serapan 3443 cm^{-1} sedangkan pada mikroselulosa muncul di daerah serapan 3352 cm^{-1} . Vibrasi ulur C-H alifatik kulit nanas muncul di daerah serapan 2916 cm^{-1} sedangkan vibrasi ulur C-H alifatik mikroselulosa muncul di daerah serapan 2899 cm^{-1} . Vibrasi tekuk CH_2 selulosa kulit nanas muncul di daerah serapan 1454 cm^{-1} sedangkan vibrasi tekuk CH_2 mikroselulosa muncul di daerah serapan 1431 cm^{-1} . Vibrasi ulur C-O selulosa kulit nanas muncul di daerah serapan 1057 cm^{-1} sedangkan vibrasi ulur C-O mikroselulosa muncul di daerah serapan 1163 cm^{-1} . Vibrasi ulur C-O-C selulosa kulit nanas muncul di daerah serapan 1026 cm^{-1} sedangkan vibrasi ulur C-O-C mikroselulosa muncul di daerah serapan 1028 cm^{-1} .

Tabel 1. Analisis gugus fungsi selulosa sampel kulit nanas dan mikroselulosa

Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
No	Gugus Fungsi	Selulosa Kulit Nanas	Mikroselulosa
1	O-H	3443	3352
2	C-H	2916	2899
3	CH_2	1454	1431
4	C-O	1057	1163
5	C-O-C	1026	1028



Gambar 1. Data spektrum FTIR selulosa kulit nanas dan mikroselulosa

Hasil analisa adsorpsi ion logam Cd²⁺ pada α-selulosa

Berdasarkan data AAS diperoleh hasil analisis α-selulosa terhadap ion logam Cd²⁺ seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran adsorpsi ion logam Cd²⁺

Variasi (%)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	% Efisiensi	Kapasitas Penyerapan (mg/g)
2	2	0,970	51,500	103
3	2	0,940	53,000	106
4	2	0,920	54,000	108

Nilai % efisiensi dengan kapasitas penyerapan berbanding lurus, dimana semakin besar nilai kapasitas adsorpsi maka semakin besar pula nilai % efisiensi. Begitu sebaliknya, semakin kecil nilai kapasitas adsorpsi maka semakin kecil pula nilai % efisiensi. Berdasarkan Tabel 2 % efisiensi dan kapasitas selulosa kulit buah nanas pada variasi H₂SO₄ 4% memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan variasi pada variasi 2 dan 3%. Dengan nilai efisiensi 54% pada variasi konsentrasi 4% sedangkan untuk konsentrasi 2% dan 3% sebesar 51,5% dan 53%. Adapun nilai kapasitas penyerapan Cd²⁺ pada selulosa yang terhidrolisis H₂SO₄ untuk konsentrasi 2, 3 dan 4% masing-masing sebesar 103 mg/g, 106 mg/g dan 108 mg/g.

Penentuan isoterm adsorpsi

Penentuan model isoterm adsorpsi ion Cd²⁺ pada adsorben selulosa kulit nanas ditentukan dengan metode regresi linier dan dari persamaan regresi diperoleh nilai R². Penentuan model isoterm adsorpsi kesetimbangan dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh menurut ketentuan isoterm adsorpsi Freundlich, Langmuir dan BET. Model isoterm Freundlich digunakan untuk menjelaskan adsorpsi ion logam Cd²⁺ pada permukaan heterogen dan pada adsorpsi multilayer. Isoterm Freundlich menggambarkan proses yang terjadi secara fisika (Amran and Kartika, 2021). Isoterm adsorpsi Freundlich dinyatakan dengan Persamaan 1.

$$q_e = K \cdot C_e^{1/n} \tag{1}$$

Parameter adsorpsi Freundlich dapat ditentukan dengan mengubah persamaan isoterm Freundlich ke dalam bentuk linear. Bentuk linear dari isoterm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \tag{2}$$

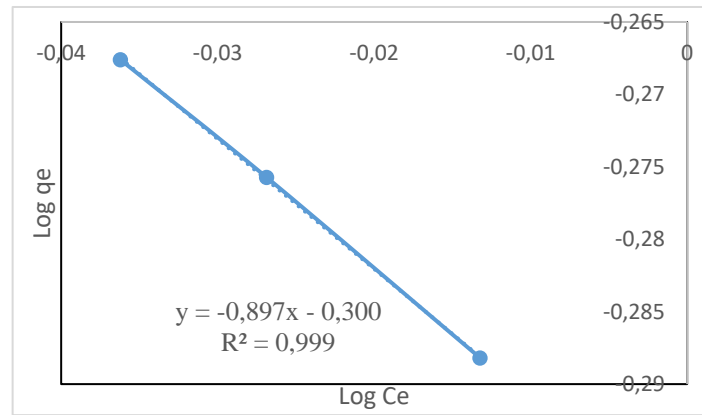
Tabel 3 merupakan hasil pengolahan data menurut model isoterm Langmuir dan Freundlich.

Tabel 3. Data hasil pengolahan model isoterm Langmuir dan Freundlich

Variasi (%)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Ce/qe	qe (mg/g)	Log qe	Log Ce
2	2	0,970	1,883	0,510	-0,013	-0,288
3	2	0,940	1,773	0,525	-0,026	-0,275
4	2	0,920	1,703	0,535	-0,036	-0,267

Co adalah konsentrasi Cd awal (mg/L), Ce adalah konsentrasi Cd saat kesetimbangan (mg/L), qe adalah kapasitas adsorpsi yaitu massa adsorben selulosa dalam kadmium (mg/g), Ce adalah konsentrasi Cd saat kesetimbangan (mg/L), K adalah tetapan Freundlich yang menggambarkan kapasitas adsorpsi dan n adalah intensitas adsorpsi.

Berdasarkan Tabel 3 konsentrasi awal larutan standar Cd^{2+} sama yaitu 2 (mg/L). Pada adsorben dengan variasi konsentrasi 2% nilai q_e sebesar 0,510 mg/g, 3% sebesar 0,525 mg/g dan 4% sebesar 0,535 mg/g. Kemampuan penyerapan terhadap logam berbanding lurus dengan konsentrasi adsorben selulosa dimana semakin tinggi variasi konsentrasi adsorben maka semakin besar pula kemampuan penyerapan terhadap ion logam Cd^{2+} . Berdasarkan kurva Freundlich hubungan log Q_e terhadap log C_e didapatkan persamaan garis $y = -0,897x - 0,300$ dengan nilai $R^2 = 0,999$. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Freundlich hubungan log q_e terhadap log C_e

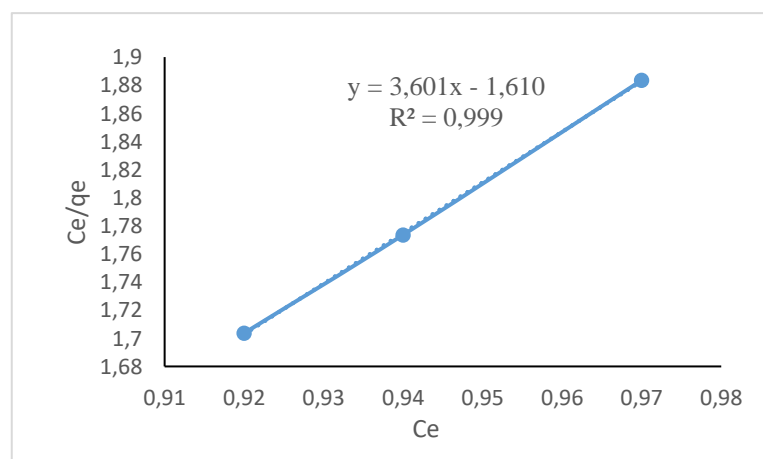
Isoterm Langmuir menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara kimia. Berdasarkan asumsi Langmuir setiap gugus aktif adsorben hanya mengadsorpsi satu molekul adsorbat saja sehingga adsorpsi hanya terjadi sebatas pada pembentukan lapisan tunggal (monolayer) (Amran and Kartika, 2021). Isoterm adsorpsi Langmuir dinyatakan dengan Persamaan 4.3.

$$q_e = \frac{Q_m \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \quad (3)$$

Parameter adsorpsi Langmuir dapat ditentukan dengan mengubah persamaan isoterm Langmuir ke dalam bentuk linear. Bentuk linear dari isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$C_e/q_e = \frac{1}{Q_m} C_e + \frac{1}{Q_m \cdot K} \quad (4)$$

q_e adalah kapasitas adsorpsi yaitu massa adsorben selulosa dalam kadmium (mg/g), C_e adalah konsentrasi Cd saat kesetimbangan (mg/L), Q_m adalah kapasitas maksimum monolayer (mg/g), dan K adalah tetapan isoterm adsorpsi Langmuir (L/mg). Pada Gambar 3 kurva hubungan Langmuir antara C_e terhadap C_e/Q_e didapatkan nilai persamaan garisnya $y = 3,601x - 1,610$ dengan nilai $R^2 = 0,999$.

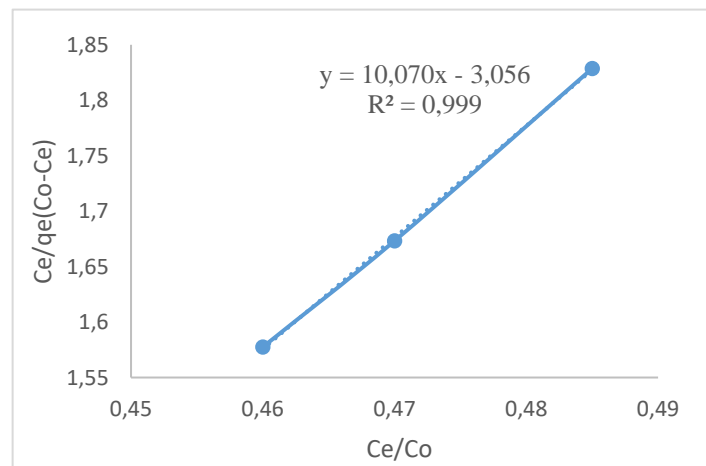


Gambar 3. Kurva Langmuir hubungan Ce terhadap Ce/qe

Model isoterm yang ketiga adalah BET. Data model isoterm BET dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4 kurva hubungan Ce/Co Terhadap Ce/qe (Ce-Co) didapatkan persamaan garis $y = 10,070x - 3,056$ dengan nilai $R^2 = 0,999$.

Tabel 4. Data hasil pengolahan model isoterm BET

Variasi (%)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	Ce/qe(Ce-Co)	Ce/Co
2	2	0,970	0,510	1,828	0,485
3	2	0,940	0,525	1,673	0,470
4	2	0,920	0,535	1,577	0,460



Gambar 4. Kurva BET hubungan Ce/Co terhadap Ce/qe (Co-Ce)

Tabel 5. Nilai mekanisme adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich

Langmuir					Freundlich		
Qm (mg/g)	K (L/mol)	E	R ²	RL	Kf (mg/g)	n	R ²
3,601	172	12,974	0,999	0,121	1,997	1,114	0,999

Berdasarkan Tabel 5 linearitas kurva isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich menunjukkan nilai R^2 sama yaitu 0,999. Model adsorpsi pada adsorben selulosa terhadap ion logam Cd^{2+} cenderung mengikuti kedua jenis isoterm tersebut. Hal ini juga diikuti dengan isoterm BET dimana nilai R^2 sebesar 0,999. Maka dari pada itu diprediksi bahwa adsorben α -selulosa pada penelitian ini mengalami adsorpsi secara kimia dan fisika. Ditinjau dari isoterm Langmuir nilai Q_m yaitu 3,601 mg/g dan nilai tetapan Langmuir sebesar 172 L/mol. Isoterm Freundlich didapatkan nilai K_f sebesar 1,997 mg/g dan nilai intensitas (n) 1,114.

Hasil analisa gas sorption analyzer (GSA)

Analisis dengan menggunakan Brunauer, Emmett dan Teller (BET) bertujuan untuk mengetahui luas permukaan adsorben sebelum dan setelah diadsorpsi. Hasil analisis dengan menggunakan BET dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil analisa GSA

Variasi	LP Sebelum Adsorpsi (m ² /g)	LP Setelah Adsorpsi (m ² /g)	VTP Sebelum Adsorpsi (cm ³)	VTP Setelah Adsorpsi (cm ³)
2%	90,386	12,878	0,094	0,013
3%	30,350	8,849	0,023	0,007
4%	58,345	8,805	0,075	0,007

LP adalah luas permukaan (m²/g) dan VTP adalah volume total pori (cm³).

Berdasarkan data Tabel 6 nilai luas permukaan adsorben sebelum dan setelah adsorpsi pada variasi konsentrasi 2%, nilai luas permukaan sebelum diadsorpsi sebesar 90,386 m²/g kemudian setelah adsorpsi berkurang menjadi 12,878 m²/g. Hal ini dikarenakan terjadinya penyerapan ion logam Cd²⁺ oleh pori adsorben. Begitu juga pada variasi konsentrasi 3 dan 4. Pada variasi 2 dan 3% luas permukaan pori sebelum diadsorpsi mengalami penurunan, tetapi terjadi peningkatan pada variasi konsentrasi 4%. Hal ini diprediksi pada variasi 4% kurang maksimalnya proses hidrolisis asam (H₂SO₄) dengan selulosa. Pada variasi 4% nilai kapasitas penyerapan dan efisiensi terhadap penyerapan ion logam Cd²⁺ memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan pada variasi 2 dan 3%. Hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi yang digunakan saat hidrolisis, semakin besar konsentrasi yang digunakan maka besar pula kemampuan penyerapan dan efisiensi terhadap ion logam Cd²⁺.

Selain itu berdasarkan tabel 6 volume total pori setelah adsorpsi mengalami penurunan, hal ini dilihat dari variasi konsentrasi 2, 3, dan 4%. Pada variasi 4% nilai volume total pori sebelum adsorpsi sebesar 0,075 cm³, setelah adsorpsi menjadi 0,007 cm³. Hal ini dikarenakan adanya molekul yang terserap, volume total pori yang awalnya besar menjadi kecil atau tertutup. Hal ini sebanding dengan luas permukaan pori adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi yang juga mengalami penurunan.

PENUTUP

α -selulosa pada variasi H₂SO₄ 4% memiliki nilai kapasitas penyerapan dan efisiensi tertinggi sebesar 108 mg/g dan 54%. Hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi asam yang digunakan, dimana konsentrasi berbanding lurus terhadap penyerapan ion logam Cd²⁺. Sehingga adsorben ini cocok untuk diaplikasikan pada lingkungan perairan yang tercemar limbah logam Cd.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N. dan Abdassah, M. (2021). Isolasi Karakterisasi Selulosa Mikrokrystal dari Nanas (*Ananas comosus (L.) Merr.*). *Pharmacy: Jurnal Farmasi Indonesia*, 18 (1): 111-121.
- Amran, M. B., dan Kartika, S. E. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde) untuk Adsorpsi Ion Pb (II). *Alchemy: Journal of Chemistry*, 9(1): 15–25.
- Chaokaur, A., Laikhonburi, Y., Kunmee, C., Santhong, C., Chimthong, S. 2014. Evaluation of nutritive value and sugar carbohydrate of pineapple residue. *Jurnal Khon Kaen Agr.* 42: 301.

- Huda, T. dan Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian Adsorpsi Methylene Blue menggunakan selulosa dari Alang – Alang. *Jurnal of Chemical Analysis*, 1(1):9-19.
- Ikhsan, M.N., Suama, I.W dan Harimu, L. 2023. Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di Pantai Nambo Kota Kendari, *Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer*, 3(1):78-83.
- Mayangsari, N.E., Apriani, M. dan Veptyan, E.D. (2019). Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas Cosmosus*) sebagai Adsorben Logam Berat Cu. *Journal of Research and Technology*, 5(2): 129-138.
- Pangau, R.J. (2017). Karakteriasi Bahan Selulosa dengan Iradasi Pretreatment Gelombang Mikro terhadap Serbuk Kayu Cempaka Wasian (*Elmerillia Ovalis*) di Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA UNSTRAT*, 6(1): 53-58.
- Pratama, J.H., Rohmah, R.L., Amalia, A., Teguh dan Saraswati, E. (2019). Isolasi Mikroselulosa dari Limbah Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) dengan Metode Bleaching-Alkalinasi. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 15(2):239-250.
- Purwiandono, G dan Haidar, A.S. (2022). Studi Adsorpsi Logam Pb (II) menggunakan Adsorben Kulit Rambut Teraktivasi HNO₃ dan NaOH. *IJCR (Indonesian Journal of Chemical Research)*, 7(1): 8-16.
- Setiawan, A.A., Shofiyani, A. dan Syahbanu, I. (2017). Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas Comosus*) Sebagai Bahan Dasar Arang Aktif untuk Adsorpsi Fe (II). *JKK*, 6(3): 66 - 74.
- Syauqi, A dan Inasari, S.S. (2020) Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas (*Ananas Comosus L.*) menjadi Bioetanol Dengan Penambahan Ragi (*Saccharomyces Cerevisiae*) yang Berbeda. *Buletin LOUPE*, 16(2).
- Tasanif, R., Isa, I. dan Kunusa, W.R. (2020). Potensi Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Cd, Co dan Cr. *Jamb. J. Chem*, 2(1): 33-43.