

	JURNAL CHEMURGY E-ISSN 2620-7435 Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK	 SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023
---	---	--

SINTESIS HIDROGEL CMC PEKTIN (1:2) DENGAN METODE *FREEZE-THAW* DAN MANFAATNYA SEBAGAI ADSORBEN

SYNTHESIS OF CMC PECTIN HYDROGEL (1:2) USING THE FREEZE-THAW METHOD AND ITS BENEFITS AS AN ADSORBENT

Sri Andini

Program Study of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. H.S. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat, Indonesia

*email : srandini1506@gmail.com

(Received: 2024 05, 12; Reviewed: 2024 12, 01; Accepted: 2024 12, 01)

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan hidrogel dari CMC dan Pektin (1:2). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan hidrogel yang akan digunakan sebagai adsorben pada limbah sungai citarum. Sungai citarum termasuk kedalam kategori sungai paling tercemar di dunia. Bahan kimia yang masuk ke dalam sungai dapat menurunkan kualitas air. Salah satu pencemar berbahaya yaitu logam Cu^{2+} tepatnya di titik pintu masuk sungai citarum yang melebihi ambang batas. Logam Cu^{2+} tidak dapat terurai secara hayati dan sangat sulit dihidangkan secara alami dan dapat terakumulasi di dalam tubuh manusia yang akan menyebabkan masalah kesehatan parah seperti keterbelakangan mental, anemia, hipertensi dan sebagainya. Selain itu, logam Cu^{2+} dapat menyebabkan efek toksik pada jaringan tubuh ikan yang dapat menginduksi produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS). Sehingga perlu dilakukan pengurangan kandungan logam Cu^{2+} hingga mencapai ambang batas aman. Karboksimetil selulosa dan pektin merupakan bahan organik yang dimanfaatkan sebagai pembuatan hidrogel untuk mengadsorpsi ion logam Cu^{2+} . Karakteristik gugus fungsi kimia menggunakan FTIR (Spektroskopi fourier transform infrared) dan karakteristik pori dan surface area menggunakan BET (Brunauer Emmet Teller). Hasil FTIR dari sampel CMC, Pektin dan hidrogel terdapat gugus fungsi O-H, C=O, C-H, OH bending dan C-O-C. Sedangkan hasil dari BET bahwa hidrogel CMC/Pektin 1:2 memiliki surface area sebesar 3,706 m^2/g dan tergolong type 1 grafik isotherm yang artinya proses adsorpsi berikatan secara kimia dan memiliki pori kecil. Kondisi optimum proses adsorpsi terjadi pada konsentrasi 700 ppm dengan model isotherm Langmuir dengan R^2 0,9038 dan memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 19,76 mg/g dengan efisiensi penyerapan logam sebesar 68,60%.

Kata Kunci: Adsorpsi, CMC, Hidrogel, Logam Cu, Pektin

Abstract

Research has been carried out on making hydrogels from CMC and Pectin (1:2). This research aims to produce a hydrogel that will be used as an adsorbent in Citarum river waste. The Citarum River is included in the category of the most polluted rivers in the world. Chemicals entering rivers can reduce water quality. One of the dangerous pollutants is Cu^{2+} metal, precisely at the entrance point of the Citarum River, which exceeds the threshold. Cu^{2+} metal cannot be biodegraded and is very difficult to remove naturally and can accumulate in the human body which will cause severe health problems such as mental retardation, anemia, hypertension

	<h1>JURNAL CHEMURGY</h1> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</p>	 <p>SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023</p>
---	---	---

and so on. In addition, Cu^{2+} metal can cause toxic effects on fish body tissue which can induce the production of Reactive Oxygen Species (ROS). So it is necessary to reduce the Cu^{2+} metal content until it reaches a safe threshold. Carboxymethyl cellulose and pectin are organic materials that are used to make hydrogels to adsorb Cu^{2+} metal ions. Characteristics of chemical functional groups using FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) and characteristics of pores and surface area using BET (Brunauer Emmet Teller). FTIR results from CMC, Pectin and hydrogel samples contained the functional groups O-H, C=O, C-H, OH bending and C-O-C. Meanwhile, the results from BET show that the CMC/Pectin 1:2 hydrogel has a surface area of 3,706 m^2/g and is classified as type 1 on the isotherm graph, which means that the adsorption process is chemically bound and has small pores. The optimum conditions for the adsorption process occur at a concentration of 700 ppm with the Langmuir isotherm model with R^2 0.9038 and has an adsorption capacity of 19.76 mg/g with a metal absorption efficiency of 68.60%.

Keywords: Adsorption, CMC, Cu metal, Hydrogel, Pectin

1. PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan salah satu masalah global yang serius yang disebabkan oleh meningkatnya industrialisasi dan urbanisasi (Darban et al., 2022). Menurut data pengolahan lingkungan dan sumber daya alam *World Bank* bahwa sungai Citarum berada pada peringkat pertama sebagai sungai paling tercemar di dunia (A. Prayoga et al., 2022). Logam berat jenis Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb dan Zn merupakan pencemar berbahaya yang terkandung di sungai citarum (Febrita & Roosmini, 2022). Diantara logam tersebut logam Cu mengandung logam yang melebihi batas minimum yang telah ditetapkan khususnya dipintu masuk sungai citarum yaitu 40,34 mg/kg (G. Prayoga et al., 2022). Logam berat tersebut berasal dari kegiatan penyulingan minyak bumi, pelapisan logam, penambangan, pembuatan baterai dan pembuatan cat (Ariffin et al., 2017; Darban et al., 2022).

Logam berat merupakan polutan yang tidak dapat terurai secara hayati dan sangat sulit dihilangkan secara alami dari lingkungan dan bersifat toksik jika konsentrasinya melebihi batas yang diperbolehkan dalam ekosistem (Darban et al., 2022). Beberapa masalah kesehatan yang disebabkan oleh logam berat Cu, yaitu keterbelakangan mental, anemia, arthritis, hipertensi, muntah-muntah, hiperaktif, skizofrenia, insomnia, autisme, radang liver, masalah jantung (Ariffin et al., 2017). Selain itu, logam Cu juga merugikan bagi makhluk hidup air seperti ikan karena pada konsentrasi yang rendah pun dapat menyebabkan efek toksik pada jaringan tubuh ikan, sehingga dapat menginduksi produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang menyebabkan *respons stres oksidatif* pada ikan (Garai et al., 2021). Beberapa metode yang dapat mengurangi logam berat dalam limbah air yaitu presipitasi kimia, pertukaran ion, adsorpsi, filtrasi membran, koagulasi-flokulasi, *electrochemical treatment technologies* dan sebagainya (Türkmen et al., 2022). Metode yang paling banyak digunakan untuk mengurangi logam berat yaitu adsorpsi.

Adsorpsi merupakan proses yang dianggap sebagai salah satu metode yang paling efisien, murah, ramah lingkungan dan mudah dioperasikan untuk mengurangi logam berat dari air yang terkontaminasi (Darban et al., 2022; Türkmen et al., 2022). Penggunaan biochar sekam padi, pulp gula bit, TiO_2 , karbon aktif, dan tanah liat, CMC dan pektin LMP (*Low Methoxyl Pectin*) sering digunakan dalam proses adsorpsi dalam bentuk serbuk (Darban et al., 2022) (Baiya et al., 2019; Putri Rahayu et al., 2021). Namun, bahan adsorben ini memiliki kelemahan tertentu seperti kesulitan memisahkan dari air setelah proses dekontaminasi, biaya produksi yang lebih tinggi, ketidakberlanjutan ekonomi untuk aplikasi skala besar, dan banyak alasan lainnya, alternatif lain yang dapat digunakan yaitu hidrogel (Weerasundara et al., 2021). Hidrogel merupakan bahan ekonomis yang dapat diaplikasikan sebagai adsorben yang berpotensi untuk menghilangkan

kontaminan dalam air karena afinitas airnya yang sangat baik dengan perilaku *swelling* yang dapat dikontrol, porositas tinggi, memiliki sifat mekanik yang lebih baik, dan penanganan yang mudah (Darban et al., 2022).

Hidrogel yang disintesis dengan menggunakan sumber alami mencakup polietilen glikol (PEG), polivinil alkohol (PVA), alginat, kitosan, gelatin, asam hialuronat (HA), karboksimetil selulosa (CMC), pektin dan banyak bahan lainnya (Darban et al., 2022; Seida & Tokuyama, 2022). Metode pembuatan hidrogel secara kimia menggunakan cross-lingking dan secara fisika yaitu *freeze-thaw*. Penelitian sebelumnya proses pembentukan hidrogel dari bahan baku PVA dan CMC menggunakan teknik *freeze-thaw* dapat meningkatkan sifat yang tidak mempengaruhi biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan nontoksitas gel polimer (Zainal et al., 2021). CMC dan pektin dapat bertindak sebagai adsorben untuk menyerap dan menstabilkan ion logam, oleh gugus hidroksil dan karboksil pada struktur dan *biodegradabilita* (Wang & Wang, 2016); (Zhao & Li, 2021); (Martínez-Sabando et al., 2023; Sayed et al., 2022). Kombinasi CMC dan pektin telah dilakukan sebagai lapisan membran (Elma et al., 2023). Penelitian ini berfokus pada pembuatan hidrogel dari bahan baku CMC dan pektin dengan perbandingan 1:2 yang menggunakan metode *freeze-thaw* dengan pH tetap yaitu 5.

2. Metodologi

2.1 Persiapan Adsorben dan Adsorbat

CMC dan Pektin yang dijadikan adsorben diperoleh dari sebuah Toko Bahan Kimia dan Farmasi di Yogyakarta. Masing-masing bahan selanjutnya dilarutkan dengan 10 w/v% lalu dicampurkan dengan perbandingan 1:2. Selanjutnya larutan dimasukkan kedalam sebuah cetakan es batu dengan ukuran kubus 1,5 cm x 1,5 cm dan dimasukkan ke dalam *freezer box* dengan suhu -20°C selama 6 jam. Setelah itu sampel dikeluarkan dari *freezer box* untuk mengalami proses *thawing* selama 1 jam dengan suhu 30°C . Proses *Freeze-Thaw* tersebut berlangsung sebanyak 5 siklus. Sampel yang sudah mengalami proses *freeze-thaw* selanjutnya di oven selama 40 menit dengan suhu 100°C yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang berlebih pada hidrogel CMC/Pektin. Terhadap CMC, Pektin dan adsorben hidrogel CMC/Pektin dilakukan analisis *Spektroskopi fourier transform infrared* (FTIR) untuk mengamati gugus fungsi kimia dan *Brunauer Emmet Teller* (BET) untuk mengamati *surface area* pada hidrogel CMC/Pektin. Larutan logam Cu dilarutkan dari larutan CuCl_2 yang kemudian divariasikan konsentrasinya.

2.2 Percobaan Adsorpsi

Untuk menentukan kondisi optimum proses adsorpsi ion logam Cu oleh hidrogel CMC/Pektin, dilakukan percobaan optimasi secara batch. Kondisi optimum yang ditentukan berupa waktu kontak dan konsentrasi adsorbat. Proses adsorpsi secara batch dilakukan dalam kotak sampel. Hidrogel dan larutan logam Cu dimasukkan ke dalam kotak sampel selama waktu yang ditetapkan. Pengambilan hidrogel menggunakan pinset mini untuk memisahkan hidrogel CMC/Pektin dari larutan logam Cu. Konsentrasi larutan logam Cu setelah mengalami proses adsorpsi selanjutnya dilakukan (*analisis Atomic Absorption Spectrophotometer*) AAS untuk mengamati sisa kadar logam Cu yang terdapat pada larutan.

Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi detergen dihitung dengan rumus berikut:

$$\%E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{w} \times V \quad (2)$$

Dimana E adalah efisiensi penyisihan; C_0 merupakan konsentrasi awal larutan (mg/L); C_e menunjukkan konsentrasi akhir larutan (mg/L); q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g); V adalah volume larutan (L) dan w adalah berat adsorben (g) yang digunakan.

2.3 Penentuan Persamaan Isoterm Adsorpsi

Pada penelitian ini, model isoterm adsorpsi ion logam Cu pada hidrogel CMC/Pektin dipelajari dengan menguji dua persamaan isoterm yaitu persamaan isoterm Freundlich dan

Langmuir. Data percobaan yang digunakan adalah data variasi konsentrasi adsorbat. isoterm Langmuir menggunakan asumsi bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat permukaan adsorben. Hal ini mengindikasikan bahwa molekul teradsorpsi rata pada permukaan atau menyeluruh, Energi adsorpsi adalah konstan dan tidak tergantung pada sifat permukaan dan terjadi tanpa disertai interaksi antar molekul-molekul adsorbat serta bersifat irreversibel. Ikatan yang terbentuk biasanya merupakan ikatan kimia yang dapat berupa ikatan kovalen atau ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Persamaan isoterm Langmuir yaitu:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{ab} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{b} \quad (3)$$

Dimana: q_e merupakan jumlah adsorbat terserap tiap massa adsorben pada kesetimbangan (mg/g); a merupakan Konstanta kesetimbangan Langmuir, (L/mg), KL; b merupakan Kapasitas penyerapan maksimum pada permukaan padatan (mg/g), q_m C_e = Konsentrasi pada kesetimbangan (mg/L).

Sementara Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben yang heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi adsorpsi yang berbeda-beda. Ikatan yang terjadi hanya berlangsung secara fisik yang disebabkan karena terdapatnya gaya Van Der Waals atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

Dimana: q_e merupakan jumlah adsorbat terserap tiap massa adsorben pada kesetimbangan (mg/g); K_f merupakan konstanta kesetimbangan Freundlich(mg/L); $1/n$ merupakan intensitas adsorpsi; C_e merupakan konsentrasi pada kesetimbangan (mg/L).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hidrogel

Hidrogel yang telah dibuat dari bahan CMC dan pektin (1:2) bertekstur seperti permen yupi yang dapat dilihat pada gambar 3.1. Setelah dilakukan percobaan bahwa hidrogel yang diaplikasikan ke dalam larutan CuCl_2 harus dalam keadaan fresh, karena jika hidrogel yang diaplikasikan tidak fresh maka cara kerja adsorben sebagai pengikat ion logam Cu melemah. Sehingga persentase penyerapan ion logam Cu sangat sedikit. Selain itu hidrogel yang telah di buat tidak bertahan lama, hanya bertahan sampai 3 jam.



Gambar 1. Fresh Hydrogel

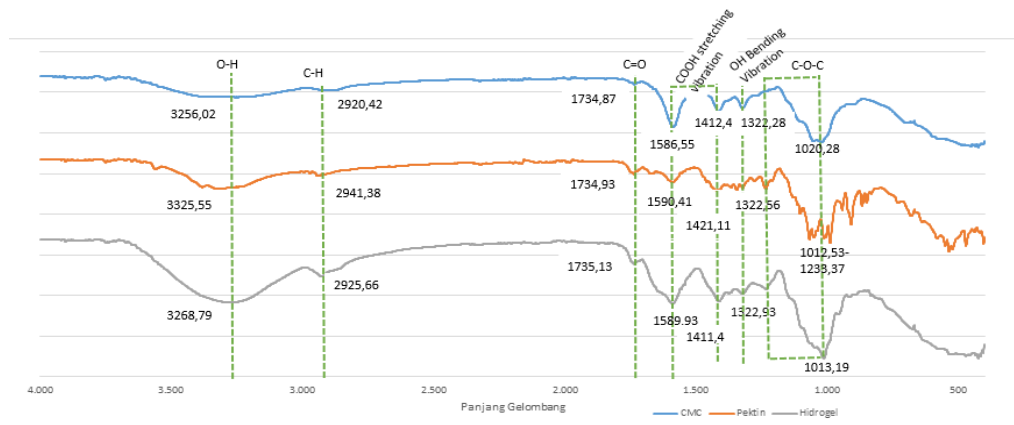
3.2 Hasil Analisis Gugus Fungsi

(Mishra et al., 2008) menyatakan spektrum spektrum FTIR OH stretching vibration sebesar 3366 cm^{-1} sampai dengan 3402 cm^{-1} dan 2931 cm^{-1} merupakan $-\text{CH}$ stretching vibration. 1734 cm^{-1} merupakan gugus $\text{C}=\text{O}$ yang merupakan gugus karboksil teresterifikasi. 1220 cm^{-1} melambangkan eter ($\text{R}-\text{O}-\text{R}$). $800 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ merupakan karbonil simetris lemah stretching vibration. Menurut (Ninan et al., 2013), FTIR spektrum CMC mewakili $-\text{OH}$ pada 3367 cm^{-1} . 1587 cm^{-1} dan 1416 cm^{-1} melambangkan simetris dan asimetris mode stretching vibration gugus karboksilat. $1020 - 1080 \text{ cm}^{-1}$ berhubungan dengan stretching vibration asimetris. Sedangkan menurut (Saputra et al., 2014), panjang gelombang $3700-3100 \text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus $-\text{OH}$ yang menunjukkan ikatan hidrogen

antara atom hidrogen dalam satu kelompok gugus hidroksil lain monomer glukosa pada rantai polimer selulosa.

Tabel 1. Gugus Fungsi peneliti sebelumnya

Gugus Fungsi	Panjang Gelombang		
	CMC	Pektin	Hidrogel
O-H Strectching	3448	3402	3713-2987
C-H	2944	2932	2922
C=O	1604	1745	1705-1798
O-H Bending Vibration	1327	1377	1339-1396
COOH	1589	1591.34	1626-1693
CH ₂ -O-CH ₂	1056	1058	1008



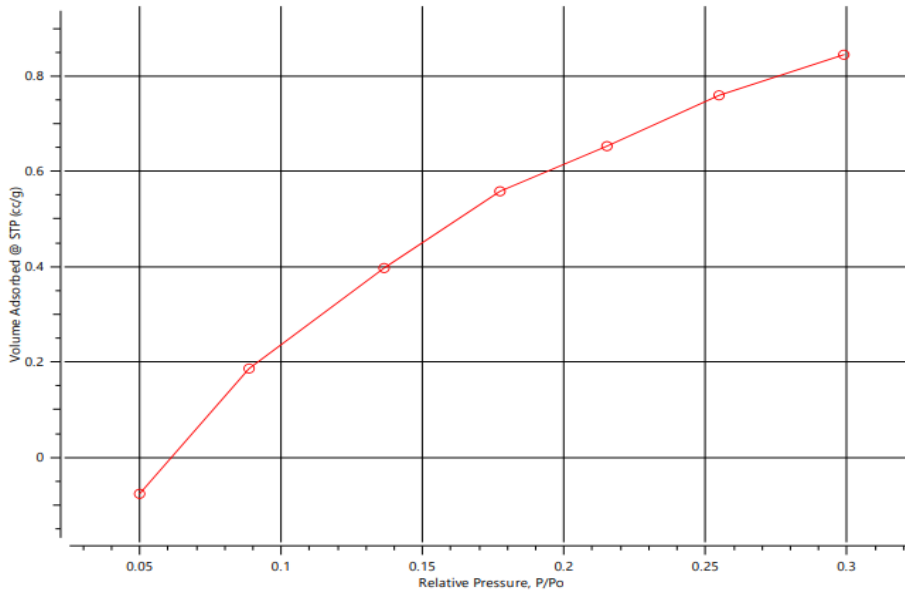
Gambar 2. Hasil Uji Gugus Fungsi Kimia

Gambar 2 menunjukkan hasil spektrum FTIR bahwa CMC dan pektin tergolong karbohidrat kompleks yang ditandai dengan adanya gugus Hidroksil yang terlihat pada 3256,02 dan 3325,55 cm⁻¹, sedangkan gugus hidroksil pada hidrogel (1:2) berada pada peak 3268,79. Daerah serapan yang menunjukkan ciri khas dari CMC yaitu terdapat pada daerah serapan 1734,87cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus karbonil C=O. selain itu Gugus karbonil C=O yang berada pada pektin dan hidrogel yaitu 1734,93 dan 1735,13 cm⁻¹. Dengan ciri khas di bawah gugus C=O karbonil yaitu 1586, 1590 dan 1589 cm⁻¹ terdapat adanya C=O Stretch vibration gugus karboksilat (COOH). 1014,40 – 1246,44 cm⁻¹ merupakan gugus C-O-C (eter) (Elma et al., 2023).

Pada gambar 2 dalam garis CMC dan hidrogel ditemukan gugus C-O-C dengan peak 1020,28 cm⁻¹ dan 1013,19 cm⁻¹, sedangkan pada pektin gugus eter berada pada panjang gelombang 1012,53-1233,37 cm⁻¹. Panjang gelombang 1322,28, 1322,56, 1322,93 cm⁻¹ merupakan puncak ikatan gugus -OH bending Vibration. Dapat disimpulkan bahwa hidrogel CMC/Pektin memiliki gugus hidroksil O-H dan karboksil COOH sebagai pengikat logam Cu²⁺ sehingga dapat diaplikasikan sebagai adsorben. Ikatan yang terjadi antara CMC/pektin yaitu berikatan secara fisika karena tidak ada gugus baru hidrogel CMC/Pektin yang disebabkan interaksinya dua komponen tersebut.

3.3 Karakterisasi Luas Permukaan

Hasil dari pengujian tersebut bahwa luas permukaan hidrogel sebesar 3,706 m²/g. Selain itu dari hasil BET dapat mengetahui tipe grafik isotermnya dan kelas pori dengan menganalisa gambar 3.

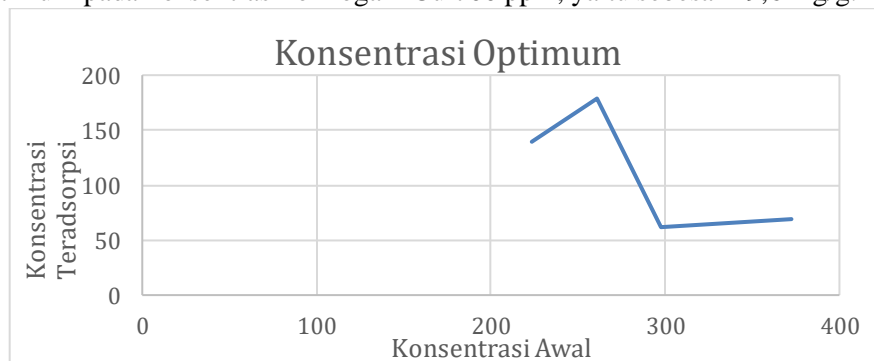


Gambar 3. Grafik Isoterm BET

Brunauer mengklasifikasikan pada buku IUPAC adsorpsi isotermis kedalam lima jenis kurva dan pada gambar 3 menunjukkan bahwa kurva tersebut termasuk ke dalam tipe 1 grafik isoterm. Jenis ini disebut Langmuir Isoterm yang menggambarkan adsorpsi satu lapis (monolayer). Jumlah molekul adsorbat mendekati harga pembatas saat P/P_0 mendekati satu. Jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil.

3.4 Penentuan Konsentrasi Optimum

Percobaan optimasi untuk menentukan konsentrasi optimum menggunakan variasi konsentrasi adsorbat yaitu 223 ppm, 261, 298 ppm dan 372 ppm dengan menggunakan kondisi dari parameter lain yaitu waktu kontak 60 menit, pH adsorbat 5. Sementara kondisi parameter lain diatur tetap yaitu berat adsorben 0,0905 dan dosis adsorbat 10 mL. Gambar 4 memperlihatkan hasil percobaan, dimana dari variasi konsentrasi yang dilakukan, diperoleh efisiensi penyisihan tertinggi pada variasi konsentrasi 700 ppm yaitu sebesar 68,60% yang menjadi konsentrasi optimum. kapasitas adsorpsi optimum pada konsentrasi ion logam Cu 700 ppm, yaitu sebesar 19,6 mg/g.



Gambar 4. Grafik optimasi pengaruh konsentrasi pada proses adsorpsi

3.5 Penentuan Persamaan Isoterm Adsorosi

Tabel 2 memperlihatkan hasil isoterm Langmuir dan Freundlich untuk adsorpsi logam Cu pada hidrogel yang diambil dari data variasi konsentrasi pada percobaan optimasi. Terlihat bahwa nilai R^2 untuk isoterm Langmuir adalah 0,9459 dan untuk isoterm Freundlich adalah 0,9134. Nilai R^2 yang semakin mendekati 1 dapat diartikan bahwa terdapat pengaruh yang semakin besar dan keterkaitan antar variabel semakin kuat. Berdasarkan perbandingan tersebut didapatkan bahwa data percobaan lebih sesuai dengan persamaan isoterm Langmuir.

Model adsorpsi isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa seluruh sisi aktif adsorpsi memiliki afinitas yang sama, selain itu proses adsorpsi pada satu sisi aktif tidak tergantung pada sisi aktif lainnya. Isoterm Langmuir dapat diinterpretasi untuk menentukan kondisi adsorpsi menggunakan parameter-parameter. Nilai dari parameter KL menjadi penanda tipe isotermal, jika nilai $KL=0$ menunjukkan proses adsorpsi yang ireversibel, proses adsorpsi yang disukai (favorabel) ditunjukkan dengan nilai $0 < KL < 1$, proses adsorpsi isotermal linier ditunjukkan dengan nilai $KL=1$, sedangkan jika nilai $KL > 1$ proses adsorpsi yang terjadi merupakan fenomena yang tidak disukai (unfavorabel). Jika proses adsorpsi yang terjadi menunjukkan proses adsorpsi isotermal yang lebih disukai, maka adsorben yang digunakan merupakan adsorben yang sesuai untuk jenis adsorbat tersebut (N. . and jha B. Singh, 2016). Nilai KL pada penelitian ini dari persamaan langmuir sebesar 0,018 yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi tersebut disukai, sehingga adsorben yang digunakan yaitu hidrogel CMC/Pektin sesuai untuk digunakan dalam penyerapan logam Cu.

Jika tipe isoterm yang dianut adalah isoterm langmuir, maka adsorpsi berlangsung secara kemisorpsi monolayer. Adsorpsi monolayer terjadi karena ikatan kimia yang biasanya spesifik, sehingga adsorben mampu mengikat adsorbat dengan ikatan kimia antara logam Cu dengan permukaan hidrogelnya. Tipe tersebut sesuai dengan yang di analisa pada BET yaitu grafik isoterm tipe satu (Langmuir).

Tabel 2. Perbandingan hasil grafik isoterm

Model	Persamaan	R ²	Kf	Kl
Langmuir	$y = -9.6322x + 0.1744$	0.9459	-	0,018
Freundlich	$y = -0.7288x + 2.6339$	0.9134	36,32	-

3.6 Interaksi Antara Adsorben dan Adsorbat

Interaksi yang terjadi antara adsorben dan larutan Cu merupakan interaksi koordinasi yang dikenal sebagai interaksi khelasi mengacu pada pembentukan ikatan kovalen di mana atom tunggal berbagi kedua elektron. Dalam interaksi ini, kation (logam berat) berikatan dengan gugus yang mengandung pasangan elektron bebas, sehingga terjadi adsorpsi kation pada permukaan adsorbat (Danikas et al., 2021). Analisis FTIR mengungkapkan bahwa gugus fungsional yaitu gugus hidroksil dan gugus karboksil bertindak sebagai tempat koordinasi untuk adsorpsi logam berat (Rodrigues et al., 2019).

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa hidrogel CMC/Pektin (1:2) berpotensi menjadi adsorben untuk mengurangi kandungan logam Cu karena memiliki gugus karboksil dan hidroksil sebagai pengikat ion logam Cu dengan memiliki surface area sebesar 3,706 m²/g. Kondisi optimum proses adsorpsi secara batch diperoleh pada konsentrasi adsorbat 700 ppm. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi pada kondisi optimum adalah 68,60% dan 19,76 mg/g. Persamaan isoterm adsorpsi yang sesuai dengan data percobaan adalah isoterm Langmuir dengan nilai KL 0,018 L/g. Isoterm Langmuir menunjukkan adsorpsi ion logam Cu terjadi pada satu lapisan (monolayer) permukaan hidrogel CMC/Pektin dan adsorpsi terjadi secara kimia.

Daftar Pustaka

Ariffin, N., Mustafa, M., Abdullah, A. B., Remy, M., Mohd, R., Zainol, A., Murshed, M. F., Zain, H., Faris, M. A., & Bayuaji, R. (2017). *Review on Adsorption of Heavy Metal in Wastewater by Using Geopolymer*.

Baiya, C., Nannuan, L., Tassanapukdee, Y., Chailapakul, O., & Songsrirote, K. (2019). The Synthesis of Carboxymethyl Cellulose-Based Hydrogel from Sugarcane Bagasse Using Microwave-Assisted Irradiation for Selective Adsorption of Copper(II) Ions. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 38(s1), S157–S165. <https://doi.org/10.1002/ep.12950>

Bashir, S., Hina, M., Iqbal, J., Rajpar, A. H., Mujtaba, M. A., Alghamdi, N. A., Wageh, S., Ramesh,

K., & Ramesh, S. (2020). Fundamental concepts of hydrogels: Synthesis, properties, and their applications. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 11, pp. 1–60). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym12112702>

Chazanah, N., Muntalif, B. S., Sudjono, P., Rahmayunita, I., & Suantika, G. (2018). Determinant parameters for upstream ecological status assessment of Citarum River, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 15(50), 205–216. <https://doi.org/10.21660/2018.50.13321>

Danikas, M. G., Vardakis, G. E., Sarathi, R., & Morsalin, S. (2021). A Concise Review. *J Clin Psychiatry*, 81(2), 1–5. www.etasr.com

Darban, Z., Shahabuddin, S., Gaur, R., Ahmad, I., & Sridewi, N. (2022). Hydrogel-Based Adsorbent Material for the Effective Removal of Heavy Metals from Wastewater: A Comprehensive Review. In *Gels* (Vol. 8, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/gels8050263>

Elma, M., Kadek Devi Ananda Saraswati, N., Fransiska Afrida Simatupang, P., Febriyanti, R., Rahma, A., & Ria Mustalifah, F. (2023). Hydrogel derived from water hyacinth and pectin from banana peel as a membrane layer. *Materials Today: Proceedings*, 87, 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.368>

Febrita, J., & Roosmini, D. (2022). Analisis Beban Pencemar Logam Berat Industri terhadap Kualitas Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(1), 77–88. <https://doi.org/10.29244/jsil.7.1.77-88>

Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., Mahavidyalaya, N., & Arambagh, H. (2021). Effect of Heavy Metals on Fishes: Toxicity and Bioaccumulation. In *Article in Journal of Clinical Toxicology* (Vol. 70). <https://www.researchgate.net/publication/353848075>

Hussain, S., Abid, M. A., Munawar, K. S., Saddiqa, A., Iqbal, M., Suleman, M., Hussain, M., Riaz, M., Ahmad, T., Abbas, A., Rehman, M., & Amjad, M. (2021). Choice of suitable economic adsorbents for the reduction of heavy metal pollution load. In *Polish Journal of Environmental Studies* (Vol. 30, Issue 3, pp. 1969–1979). HARD Publishing Company. <https://doi.org/10.15244/pjoes/125016>

Martínez-Sabando, J., Coin, F., Melillo, J. H., Goyanes, S., & Cervený, S. (2023). A Review of Pectin-Based Material for Applications in Water Treatment. In *Materials* (Vol. 16, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma16062207>

Mishra, R. K., Datt, M., & Banthia, A. K. (2008). Synthesis and characterization of pectin/pvp hydrogel membranes for drug delivery system. *AAPS PharmSciTech*, 9(2), 395–403. <https://doi.org/10.1208/s12249-008-9048-6>

Prayoga, A., Umam, K., & Miharja, S. (2022). Studi Collaborative Governance Program Citarum Harum dalam Perbaikan Kualitas Air Sungai Citarum. *Jurnal MODERAT*, 8(3).

Prayoga, G., Utomo, B. A., & Effendi, H. (2022). Heavy Metals Contamination Level and Water Quality Parameter Conditions in Jatiluhur Reservoir, West Java, Indonesia. *Biotropia*, 29(1), 12–22. <https://doi.org/10.11598/btb.2022.29.1.1443>

Putri Rahayu, W., Wulan Harisma, I., Syamsuddin, Y., & Mulyati, S. (2021). Ekstraksi Pektin dari Kulit Jeruk dan Kulit Pisang sebagai Biosorben pada Proses Adsorpsi Logam Berat Fe. *Serambi Engineering*, VI(2).

Rodrigues, F. H. A., Carlos, C. E., Medina, A. L., & Fajardo, A. R. (2019). Hydrogel composites containing nanocellulose as adsorbents for aqueous removal of heavy metals: design, optimization, and application. *Cellulose*, 26(17), 9119–9133. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02736-y>

Sayed, A., Hany, F., Abdel-Raouf, M. E. S., & Mahmoud, G. A. (2022). Gamma irradiation synthesis of pectin- based biohydrogels for removal of lead cations from simulated solutions. *Journal of Polymer Research*, 29(9). <https://doi.org/10.1007/s10965-022-03219-8>

Seida, Y., & Tokuyama, H. (2022). Hydrogel Adsorbents for the Removal of Hazardous Pollutants—Requirements and Available Functions as Adsorbent. In *Gels* (Vol. 8, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/gels8040220>

Türkmen, D., Bakhshpour, M., Akgönüllü, S., Aşır, S., & Denizli, A. (2022). Heavy Metal Ions Removal From Wastewater Using Cryogels: A Review. In *Frontiers in Sustainability* (Vol. 3). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.765592>

Wang, L. Y., & Wang, M. J. (2016). Removal of Heavy Metal Ions by Poly(vinyl alcohol) and Carboxymethyl Cellulose Composite Hydrogels Prepared by a Freeze-Thaw Method. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(5), 2830–2837. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00336>

Weerasundara, L., Gabriele, B., Figoli, A., Ok, Y. S., & Bundschuh, J. (2021). Hydrogels: Novel materials for contaminant removal in water—A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(17), 1970–2014. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1776055>

Witsqa Firmansyah, Y., Setiani, O., Hanani Darundiati, Y., Kesehatan Lingkungan, M., Kesehatan Masyarakat, F., Diponegoro, U., & Kesehatan Lingkungan, D. (2021). Kondisi Sungai di Indonesia Ditinjau dari Daya Tampung Beban Pencemaran: Studi Literatur. *Serambi Engineering*, VI(2).

Zainal, S. H., Mohd, N. H., Suhaili, N., Anuar, F. H., Lazim, A. M., & Othaman, R. (2021). Preparation of cellulose-based hydrogel: A review. In *Journal of Materials Research and Technology* (Vol. 10, pp. 935–952). Elsevier Editora Ltda. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.012>

Zhao, H., & Li, Y. (2021). Removal of heavy metal ion by floatable hydrogel and reusability of its waste material in photocatalytic degradation of organic dyes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105316>