



## Adsorpsi Logam Cu(II) dengan Hidrogel CMC/Pektin Komposisi 2:1 Menggunakan Metode *Freeze-Thaw*

### [Adsorption of Cu(II) Metal by Hydrogel CMC/Pectin Composition of 2:1 Using The Freeze-Thaw Method ]

Nabilla Maharani Maelan✉, Nurazizah Melani Dewi, Sri Andini, Meka Saima Perdani, Aulia Wahyuningtyas

*Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang*

**Abstract.** The Citarum River is included in the category of the most polluted river in the world because it contains chemicals that can reduce air quality. This pollution not only affects air quality but also threatens public health and the surrounding ecosystem. Heavy metals, especially Cu(II), are one of the contaminants that have exceeded the threshold and can cause serious health impacts, including organ damage and nervous system disorders. Hydrogel is an alternative adsorbent that is widely used in various fields, especially in the field of air purification. Hydrogel has the ability to absorb and adsorb contaminants. In particular, Carboxymethyl Cellulose (CMC) hydrogel and pectin hydrogel have attracted much attention for safe water purification because they are non-toxic and have good biodegradability and biocompatibility. The researchers conducted a study on the adsorption of Cu(II) metal using a Carboxymethyl Cellulose (CMC) hydrogel adsorbent and pectin in a 2:1 composition through the Freeze-thaw method. FTIR analysis of the CMC/pectin hydrogel confirmed the presence of C-O-, O-H, C=O, C-H, OH bending, and COOH stretching vibrations. Based on BET analysis, the hydrogel has micropores, a type 1 isotherm, and a surface area of 1,889 m<sup>2</sup>/g. The Langmuir isotherm model was used to determine the ideal adsorption conditions to be a concentration of 298 ppm, an adsorption capacity of 1,0918 mg/g, and an adsorption efficiency of 13,485%.

**Keywords:** *Hydrogel, CMC, pectin, adsorption, Cu(II)*

**Abstrak.** Sungai Citarum termasuk dalam kategori sungai paling tercemar di Dunia, karena mengandung zat-zat kimia yang dapat menurunkan kualitas air. Pencemaran ini tidak hanya berdampak pada kualitas air, tetapi juga mengancam kesehatan masyarakat dan ekosistem di sekitarnya. Logam berat khususnya Cu(II) merupakan salah satu kontaminan yang telah melebihi ambang batas dan dapat menimbulkan dampak kesehatan yang serius, termasuk kerusakan organ dan gangguan sistem saraf. Hidrogel sebagai salah satu alternatif adsorben yang banyak digunakan dalam berbagai bidang khususnya bidang penjernihan air. Hidrogel memiliki kemampuan untuk menyerap dan mengadsorpsi kontaminan. Secara khusus, hidrogel Carboxymethyl Cellulose (CMC) dan hidrogel pektin telah menarik banyak perhatian untuk pemurnian air yang aman karena tidak beracun, dan memiliki kemampuan biodegradasi dan biokompatibilitas yang baik. Peneliti melakukan penelitian adsorpsi logam Cu(II) menggunakan adsorben hidrogel CMC dan pektin dengan komposisi 2:1 melalui metode Freeze-thaw. Analisis FTIR pada hidrogel CMC/pektin mengkonfirmasi adanya vibrasi pembengkokan CO-, OH, C=O, CH, OH, dan ulur COOH. Berdasarkan analisis BET, hidrogel memiliki mikropori, isotherm tipe 1, dan luas permukaan 1,889 m<sup>2</sup>/g. Model isotherm Langmuir digunakan untuk menentukan kondisi adsorpsi ideal yaitu konsentrasi 298 ppm, kapasitas adsorpsi 1,0918 mg/g, dan efisiensi adsorpsi 13,485%.

**Kata kunci:** *Hidrogel, CMC, pektin, adsorpsi, Cu(II)*

Diterima: 17 Juli 2024, Disetujui: 6 Agustus 2024

Sitasi: Maelan, N. M., Dewi, N. M., Andini, S., Perdani, M. S., dan Wahyuningtyas, A. (2024). Adsorpsi Logam Cu(II) dengan Hidrogel CMC/Pektin Komposisi 2:1 Menggunakan Metode Freeze-Thaw. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 126-134.

✉ Corresponding author

E-mail: [2010631230044@student.unsika.ac.id](mailto:2010631230044@student.unsika.ac.id)

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i2.17273>



## LATAR BELAKANG

Meningkatnya industrialisasi dan urbanisasi telah menyebabkan masalah polusi air global yang serius (Darban *et al.*, 2022). Menurut data Bank Dunia tentang lingkungan dan sumber daya alam tahun 2018, Sungai Citarum diidentifikasi sebagai sungai paling tercemar secara global (Prayoga *et al.*, 2022). Tingginya kadar bahan kimia yang masuk ke Sungai Citarum menyebabkan penurunan kualitas air sungai, sehingga terjadi perubahan biologis, fisik, dan kimia. Salah satu bahan pencemar berbahaya yang terdapat di Sungai Citarum adalah logam berat. Logam berat merupakan bahan pencemar berbahaya yang terkandung di dalam Sungai Citarum (Febrita & Roosmini, 2022). Secara spesifik logam Cu di lokasi pintu masuk Sungai Citarum mempunyai logam melebihi batas minimal yang ditetapkan yaitu 40,34 mg/kg (Prayoga *et al.*, 2022).

Logam berat tidak dapat dihilangkan secara alami dari lingkungan karena sifatnya yang tidak dapat terbiodegradasi. Melebihi batas konsentrasi logam berat yang diperbolehkan dapat menyebabkan toksisitas yang parah, karena hampir semua logam berat sangat beracun bagi ekosistem (Darban *et al.*, 2022). Akumulasi konsentrasi logam berat dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan masalah kesehatan yang serius. Misalnya saja, dosis logam berat Cu (II) yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan SSP, gagal ginjal, syok, koma, anemia, bahkan kematian (Ariffin *et al.*, 2017). Logam berat Cu(II) dengan konsentrasi rendah sekalipun dapat menimbulkan efek toksik pada jaringan tubuh biota akuatik, khususnya ikan (Garai *et al.*, 2021). Logam berat dalam air limbah dapat dihilangkan melalui berbagai teknologi seperti filtrasi membran, pertukaran ion, adsorpsi,

pengolahan elektrokimia dan teknologi pengendapan kimia (Türkmen *et al.*, 2022).

Adsorpsi, yang merupakan metode yang efisien, hemat biaya, ramah lingkungan, dan mudah dioperasikan untuk menghilangkan logam berat dari air yang tercemar, dianggap sebagai salah satu proses yang paling efektif (Darban *et al.*, 2022; Türkmen *et al.*, 2022). Adsorben harus memiliki kemampuan menghilangkan polutan yang baik sekaligus hemat biaya (Hussain *et al.*, 2021). Namun, bahan penyerap ini mempunyai kelemahan termasuk tantangan dalam pemisahan air dari bahan yang didekontaminasi sehingga mengakibatkan peningkatan biaya produksi, sehingga proses tersebut tidak berkelanjutan secara ekonomi untuk aplikasi skala besar. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain perlunya langkah pemurnian tambahan dan potensi kontaminasi selama proses pemisahan. Kemungkinan lain yang bisa dimanfaatkan adalah hidrogel (Weerasundara *et al.*, 2021).

Ada tiga klasifikasi utama hidrogel: alami, sintesis, dan gabungan (Bashir *et al.*, 2020). Hidrogel yang terbuat dari sumber alami mencakup berbagai bahan seperti alginat, kitosan, gelatin, asam humat (HA), polivinil alkohol (PVA), polietilen glikol (PEG), karboksi metil selulosa (CMC), pektin, dan banyak lagi (Seida & Tokuyama, 2022). Struktur CMC mengandung gugus hidroksil dan karboksil yang memungkinkannya secara efektif menyerap dan menstabilkan ion logam (Wang & Wang, 2016). CMC memiliki beberapa sifat unggul termasuk efektivitas biaya, biokompatibilitas yang baik, dan biodegradabilitas (Zhao & Li, 2021). Pektin, yang dikenal karena sifatnya yang tidak beracun dan hemat biaya, dianggap sebagai biopolimer yang menarik untuk menyerap

logam berat dalam air (Kurniasar et al., 2012). Hal ini disebabkan kemampuannya dalam membentuk gel yang beragam, sehingga memungkinkan pembuatan bahan berbasis pektin dalam berbagai bentuk (film, hidrogel, atau manik-manik) yang dapat diikat silang dengan agen yang berbeda untuk mengubah struktur molekulnya (Sayed et al., 2022).

Hidrogel dapat disintesis melalui ikatan silang fisik dan ikatan silang kimia. Namun ikatan silang kimia dapat menyebabkan produksi residu berbahaya (Zainal et al., 2021). Menurut penelitian Wang, LY Wang MJ (2016), kombinasi PVA dan CMC dengan metode freeze-thaw untuk sintesis hidrogel terbukti memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi ion logam berat. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sintesis hidrogel pektin efektif dalam menyerap logam berat (Sayed et al., 2022). Penelitian ini berfokus pada sintesis hidrogel menggunakan CMC dan pektin dengan komposisi 2:1, yang menunjukkan kemampuan biodegradasi yang unggul, efektivitas biaya, dan sifat tidak beracun. Sintesis hidrogel dilakukan dengan metode freeze-thaw yang kemudian digunakan sebagai adsorben logam berat Cu(II).

Dalam penelitian ini, rumusan masalah yang diajukan meliputi berbagai aspek penting terkait penggunaan hidrogel CMC/pektin sebagai adsorben logam Cu(II). Penelitian ini mengeksplorasi karakterisasi gugus fungsi dan permukaan hidrogel CMC/pektin, serta menentukan konsentrasi optimum pada proses adsorpsi logam Cu(II). Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengukur kapasitas adsorpsi hidrogel CMC/pektin terhadap logam Cu(II) dan menganalisis model isoterm adsorpsi yang berlaku. Dengan tujuan tersebut, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman

yang lebih baik tentang potensi hidrogel CMC/pektin dalam pemurnian air. Manfaat dari penelitian ini sangat signifikan, yaitu mampu mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam Cu(II), sehingga berkontribusi pada upaya menjaga kualitas air dan kesehatan ekosistem, khususnya di daerah yang terdampak pencemaran, seperti Sungai Citarum.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

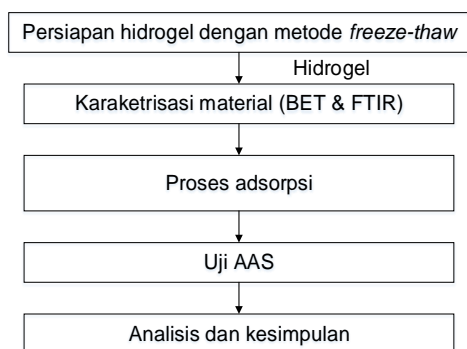
Bahan yang digunakan dalam penelitian berikut : logam CuCl<sub>2</sub> (Merck), aquades (Merck), CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*), dan pektin. Peralatan penelitian yang digunakan sebagai berikut: Spektrofotometer FTIR merk Perkin Elmer Spectrum Two System L160000A), BET merk merek Quantachrome Novatouch Lx4, AAS merk Perkin Elmer PinAAcle 900T, freezer box dengan spesifikasi suhu - 25°C merk GEA, oven, gelas ukur, pipet ukur, labu ukur, cetakan 1,5 x 1,5 cm, dan spatula stainless.

### Prosedur

#### *Persiapan hidrogel*

Pembuatan hidrogel CMC Pektin dilakukan dengan menggunakan metode freeze-thaw. Campuran 10w/v% CMC dan 20w/v% pektin dilarutkan pada suhu ruang, kemudian diaduk hingga homogen. Larutan CMC Pektin kemudian dicetak di dalam cetakan dengan ukuran 1,5 cm, kemudian dibekukan pada temperatur -20 °C selama 6 jam. Hidrogel beku didiamkan selama 1 jam pada suhu ruang hingga ada bagian yang mencair. Proses *Freeze-Thaw* dilakukan berulang sebanyak 5 siklus hingga terbentuk hidrogel (Ou et al., 2017). Siklus 4 dan 5 hidrogel memperbaiki struktur kristal dan meningkatkan tingkat kristalinitas (Jing &

Zhang, 2022). Hidrogel yang terbentuk dioven dengan suhu 100°C selama 40 menit untuk menguapkan kandungan air yang berlebih pada hidrogel. Hidrogel dikarakterisasi dengan menggunakan Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi kimia yang terdapat pada hidrogel CMC/Pektin dan Brunauer-Emmett-Teller (BET). Untuk mengetahui volume pori dan luas permukaan hidrogel.



**Gambar 1.** Alur Proses Penelitian

### Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi awal logam  $\text{CuCl}_2$  untuk mengetahui pengaruh awal terhadap adsorpsi logam Cu oleh hidrogel. Hidrogel direndam pada larutan  $\text{CuCl}_2$  dengan pH 5 dan variasi konsentrasi 100 hingga 1000 ppm. Proses adsorpsi dilakukan selama 60 menit. Setelah proses adsorpsi dilakukan pemisahan antara hidrogel dan larutan Cu dengan menggunakan pinset. Larutan kemudian dianalisis sisa logam Cu menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Persentase efisiensi penyisihan ditentukan dengan menggunakan persamaan (1)

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana  $C_e$  adalah konsentrasi  $\text{CuCl}_2$  pada saat setimbang (mg/L),  $C_o$  adalah konsentrasi awal larutan  $\text{CuCl}_2$ .

Kapasitas penyerapan ditentukan berdasarkan persamaan (2).

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{W} \quad (2)$$

Dimana  $C_e$  adalah konsentrasi  $\text{CuCl}_2$  pada saat setimbang dalam larutan (mg/L),  $C_o$  adalah konsentrasi awal  $\text{CuCl}_2$ ,  $V$  adalah volume larutan  $\text{CuCl}_2$  (mL), dan  $W$  adalah berat adsorben (g).

### Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm berdasarkan persamaan Langmuir dan Freundlich. Model isoterm untuk gas yang teradsorpsi ke dalam padatan dinyatakan oleh Irving Langmuir (1918). Adsorbat terbatas pada satu lapisan molekul sebelum tekanan tercapai. Proses kemisorpsi menggambarkan isotherm langmuir, ini terjadi dikarenakan adsorben dan adsorbat terikat secara kimiawi. Isoterm ini menunjukkan proses ini. Persamaan isotherm Langmuir dirumuskan pada persamaan (3)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{K_L q_{max}} \quad (3)$$

Dimana  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan solute dalam larutan (mg/L),  $q_e$  adalah kapasitas penyerapan logam (mg/g),  $q_{maks}$  adalah kapasitas adsorpsi monolayer maksimum hidrogel (mg/g),  $K_L$  adalah konstanta Langmuir yang berhubungan dengan kapasitas penyerapan maksimum (kapasitas monomer) (mg/g). Dengan memplot data  $C_e/q_e$  vs  $C_e$  maka akan diperoleh nilai regresi, kemiringan, dan intersep untuk data isothermal Langmuir, dimana nilai kemiringan dan intersep digunakan untuk menghitung  $q_{maks}$  dan  $K_L$ .

Isoterm Freundlich mendefinisikan terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan heterogen, yaitu ada perbedaan energi ikat di setiap situs.

Persamaan model isoterm Freundlich ditulis sebagai persamaan (4).

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

Dimana  $C_e$  adalah konsentrasi larutan adsorbat pada saat setimbang (mg/L) dan jumlah adsorbat pada adsorben pada kesetimbangan dinyatakan dengan  $q_e$  (mg/g). Konstanta freundlich dinyatakan dengan  $n$  dan  $K_f$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hidrogel

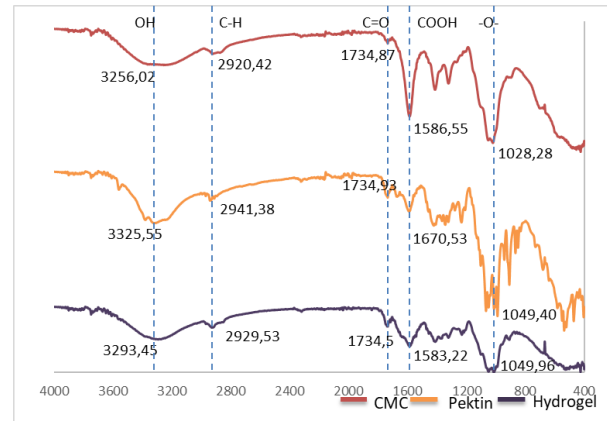
Hidrogel CMC/pektin dibuat melalui proses pembekuan dan pencairan yang diulang sebanyak 5 kali. Pada awalnya, hidrogel memiliki tekstur seperti gummy bear, namun mulai menunjukkan karakteristik seperti gel setelah siklus awal. Kekuatan mekanik hidrogel pada siklus satu masih kurang memadai dan mudah larut dengan air. Pada siklus ketiga, hidrogel menunjukkan peningkatan sifat mekanik. Peningkatan ini berlanjut pada siklus keempat dan kelima. Peningkatan sifat mekanik hidrogel dengan menghilangkan kandungan air berlebih dilakukan hingga didapat bentuk akhir seperti pada Gambar 2. Karakterisasi gugus fungsi dilakukan pada adsorben hidrogel CMC/pektin dengan FTIR. Selain itu, permukaan hidrogel CMC/pektin diamati menggunakan metode Brunauer-Emmet-Teller (BET).



Gambar 2. Hidrogel

### Karakteristik Gugus Fungsi

Karakterisasi gugus fungsi hidrogel dilakukan dengan uji Fourier Transform Infrared (FT-IR). Analisa dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi pada CMC, Pektin dan Hidrogel CMC/Pektin. Hasil Spektrum FTIR ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Peak graf hasil uji FTIR CMC, pektin dan hidrogel CMC/Pektin.

Dari gambar 3 memperlihatkan adanya pita-pita yang muncul di beberapa daerah yang dilihat dari titik puncak pada daerah gelombang. Titik puncak tersebut menandakan suatu ikatan dan senyawa. Dilihat dari gambar 3 bahwa pada CMC lebar pita serapan pada  $3256,02 \text{ cm}^{-1}$  disebabkan oleh frekuensi regangan gugus OH dan pita pada  $2920,42 \text{ cm}^{-1}$  disebabkan oleh terhadap getaran ulur C-H dan  $1586,55 \text{ cm}^{-1}$  ditetapkan untuk gugus karboksil. Pita sekitar  $1322,28 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1412,42 \text{ cm}^{-1}$  ditetapkan untuk getaran lentur -OH dan Peregangan C-O-C, masing-masing.

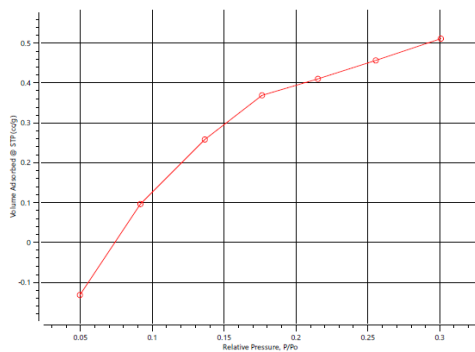
Spektrum FTIR pektin pada Gambar 3 menunjukkan pita serapan luas pada  $3325,55 \text{ cm}^{-1}$ , menunjukkan kisaran getaran gugus OH. Puncak pada  $1049,40 \text{ cm}^{-1}$  merupakan regangan getaran -O-. Serapan pada  $1670,53 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan spesifik untuk gugus -COOH.

Karakterisasi Hidrogel CMC/Pektin dengan menggunakan FTIR menunjukkan

bahwa bahan ini mempunyai gaya aktif hidroksida ( $-OH$ ) yang ditunjukkan dengan spektrum dengan bilangan gelombang  $3293,43\text{ cm}^{-1}$  dan gugus karboksilat aktif ( $-COOH$ ) pada bilangan gelombang  $1583,22\text{ cm}^{-1}$ .

### Karakteristik Permukaan

Analisis permukaan menggunakan BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) menunjukkan hasil luas permukaan dari hidrogel sebesar  $1.889\text{ m}^2/\text{g}$  dan diameter pori sebesar  $16.2\text{ \AA}$  ( $0,162\text{ nm}$ ), IUPAC (1985) mengklasifikasikan material berdiameter  $<2\text{ nm}$  sebagai mikropori. Berdasarkan analisis BET didapatkan pula kurva Isoterm BET yang terdapat pada gambar 4. Klasifikasinya menurut Brunair Deming-Deming-Teller (1940) pola tersebut merupakan pola isoterm tipe I, dimana tipe I (juga dikenal sebagai isoterm Langmuir) dikaitkan dengan dominannya mikropori dalam material atau material dengan kandungan mesopori yang ukurannya mendekati mikropori (Donohue & Aranovich, 1998).

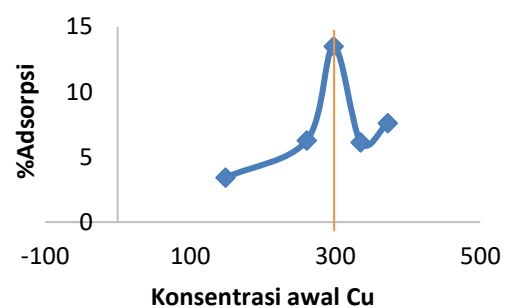


**Gambar 4.** Kurva isoterm BET

### Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan $\text{CuCl}_2$ terhadap Efisiensi Adsorpsi

Hasil analisa menunjukkan bahwa konsentrasi awal mempengaruhi efisiensi adsorpsi logam Cu. Dapat dilihat pada gambar 4 bahwa semakin tinggi konsentrasi Cu maka cenderung semakin tinggi pula adsorpsi logam Cu yang didapatkan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan Sylvia *et al.*,

(2021) yang menyatakan semakin besar konsentrasi logam dalam suatu larutan, maka semakin besar pula adsorpsi yang dihasilkan. Pada konsentrasi Cu 298 ppm mengalami penurunan adsorpsi ini dapat disebabkan oleh sisi aktif dari hidrogel telah mencapai kejenuhan sehingga adsorpsi mengalami penurunan setelah mencapai kondisi optimal dan pada konsentrasi yang lebih tinggi molekul bersaing untuk berikatan dengan permukaan adsorben (Ismadi *et al.*, 2021).



**Gambar 4.** Pengaruh konsentrasi awal terhadap adsorpsi logam Cu

Dilihat dari persen adsorpsi konsentrasi optimum dalam proses adsorpsi Logam Cu oleh hidrogel CMC/pektin yaitu pada konsentrasi 298 ppm dengan efisiensi adsorpsi sebesar 13,485%.

### Model Isoterm Adsorpsi

Analisis adsorpsi logam Cu melibatkan pemodelan isoterm dengan menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Uji persamaan Langmuir dilakukan dengan menggunakan persamaan 3. Sedangkan untuk uji persamaan Freundlich dilakukan pengujian menggunakan persamaan 4. Penentuan persamaan isoterm Langmuir dan Fruendlich dilakukan dengan pemetaan grafik menggunakan Excel, memplotkan harga  $C_e/q_e$  vs  $C_e$  untuk mendapatkan persamaan Langmuir dan memplotkan  $\log q_e$  vs  $\log C_e$  untuk

mendapatkan persamaan Freundlich. Tabel 1 menyajikan persamaan Langmuir dan Freundlich yang diperoleh dari pemetaan grafik.

Hasil analisis yang menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  untuk isoterm Langmuir mendekati 1, sehingga persamaan Langmuir merupakan model yang tepat untuk menggambarkan proses adsorpsi logam Cu oleh hidrogel CMC/Pektin. Hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi luas permukaan BET yang mengklasifikasikan isoterm sebagai tipe 1. Isoterm tipe 1 mendefinisikan model isotherm Langmuir. Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi logam Cu(II) terjadi pada permukaan homogen adsorben hidrogel CMC/pektin, dan adsorbat diserap secara seragam, membentuk satu lapisan (Sarjana Miri & Narimo, 2022). Hal serupa

didapat dari penelitian oleh Dai et al (2017) pada hidrogel manik-manik yang mengikuti model isoterm Langmuir. Demikian pula Maslukah dkk. (2017) menemukan bahwa adsorpsi logam berat Cu mengikuti model isoterm Langmuir. Model persamaan Langmuir, yang diusulkan oleh Irving Langmuir pada tahun 1918, mengasumsikan bahwa adsorbat bersentuhan langsung dengan permukaan adsorben dan membentuk lapisan tunggal pada situs aktif adsorben. Isoterm Langmuir menjelaskan proses kemisorpsi, dimana ikatan kimia terbentuk antara adsorben dan adsorbat (Sulastri et al., 2014). Semua situs adsorpsi identik dan beroperasi melalui mekanisme yang sama. Selain itu, molekul yang teradsorpsi tidak berinteraksi satu sama lain (Miri & Narimo, 2022).

**Table 1.** Konstanta Langmuir dan Freundlich

Model	Persamaan	$R^2$	$K_L$	$K_F$
Langmuir	$y=1,0918x + 0,122$	0,9049	8,9492	-
Freundlich	$y = 0,3768x + 0,562$	0,7109	-	3,64754

## KESIMPULAN

Proses adsorpsi logam Cu dapat menggunakan hidrogel CMC/Pektin komposisi 2:1 dapat dilakukan karena memiliki gugus karboksil dan hidroksil yang berfungsi sebagai pengikat ion logam Cu. Hidrogel memiliki mikropori dengan diameter pori sebesar 16.2 Å (0,162 nm) dan luas permukaan sebesar 1.889 m<sup>2</sup>/g. Kondisi optimal proses adsorpsi dicapai pada konsentrasi adsorbat 298 ppm sehingga menghasilkan efisiensi sebesar 13,485% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,0918 mg/g. Proses adsorpsi mengikuti pemodelan isoterm Langmuir, adsorpsi ion logam Cu terjadi pada satu lapisan dan melibatkan ikatan kimia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariffin, N., Abdullah, M. M. A. B., Zainol, M. R. M. A., Murshed, M. F., Hariz-Zain, Faris, M. A., & Bayuaji, R. (2017). Review on Adsorption of Heavy Metal in Wastewater by Using Geopolymer. *MATEC Web of Conferences*, 97. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20179701023>
- 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>
- 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>
- Donohue, M. D., & Aranovich, G. L. (1998). *Classification of Gibbs adsorption isotherms*.
- 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., & Saha, N. C. (2021). Effect of Heavy Metals on Fishes: Toxicity and Bioaccumulation. In *Journal of Clinical Toxicology* (Vol. 11).
- 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>
- Ismadi, S., Soetaredjo, F. E., Santoso, S. P., Putro, J. N., Yuliana, M., Irawaty, W., Hartono, S. B., & Lunardi, V. B. (2021). *Adsorpsi pada Fase Cair*. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. <http://www.ukwms.ac.id/>
- Jing, F. Y., & Zhang, Y. Q. (2022). Unidirectional Nanopore Dehydration Induces an Anisotropic Polyvinyl Alcohol Hydrogel Membrane with Enhanced Mechanical Properties. *Gels*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/gels8120803>
- Kurniasar, L., Riwayati, I., & Suwardiyono. (2012). Pektin sebagai Alternatif Bahan Baku Biosorben Logam Berat. *Momentum*, 8.
- Miri, N. S. S., & Narimo. (2022). Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 2. <http://kireka.setiabudi.ac.id>
- Ou, K., Dong, X., Qin, C., Ji, X., & He, J. (2017). Properties and toughening mechanisms of PVA/PAM double-network hydrogels prepared by freeze-thawing and anneal-swelling. *Materials Science and Engineering C*, 77, 1017–1026. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.287>
- Prayoga, A., Umam, K., & Miharja, S. (2022). Studi Collaborative Governance Program Citarum Harum Dalam Perbaikan Kualitas Air Sungai Citarum. *Jurnal Moderat*, 8(3).
- Sariana Sarana Miri, N., & Narimo. (2022). Review: Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa Review: Equation Study of Langmuir and Freundlich Isotherms on Adsorption of Heavy Metal Fe (II) with Zeolite and Activated Carbon from Biomass. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 2. <http://kireka.setiabudi.ac.id>
- 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>
- Sulastri, S., Nuryono, I., Kartini, E., & Sri, K. (2014). *Kinetika dan Keseimbangan Adsorpsi Ion Kromium (III) dalam Larutan pada Senyawa Silika dan Modifikasi Silika Hasil Sintesis dari Abu Sekam Padi*.
- Sylvia, N., Wijaya, Y. A., Masrullita, & Safrwardy, F. (2021). Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (manihot Esculenta Crantz) terhadap Adsorpsi Ion Logam Fe(II) dengan Aktivator NaOH. *Teknologi Kimia Unimal*, 83–91.



- 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>
- 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>