

# Pembuatan Hidrogel Berbasis *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dan Pektin sebagai Adsorben Logam Cu dengan Metode *Freeze-Thaw*

## *Preparation of a Carboxymethyl Cellulose (CMC) and Pektin-Based Hydrogel As an Adsorbent of Cu (II) Using the Freeze-Thaw Method*

Nurazizah Melani Dewi<sup>1\*</sup>, Nabilla Maharani Maelan<sup>2</sup>, Sri Andini<sup>3</sup>, Meka Saima Perdani<sup>4</sup>, Aulia Wahyuningtyas<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Program Studi S1 Teknik Kimia, Universitas Singaperbangsa Karawang

Email: <sup>1</sup>nurazizahmeldew@gmail.com, <sup>2</sup>2010631230044@student.unsika.ac.id,

<sup>3</sup>2010631230054@student.unsika.ac.id, <sup>4</sup>meka.perdani@ft.unsika.ac.id, <sup>5</sup>aulia.wahyuningtyas@ft.unsika.ac.id

\*Penulis korespondensi: nurazizahmeldew@gmail.com

Direview: 15 Agustus 2024

Diterima: 21 Agustus 2024

### ABSTRAK

Pencemaran air merupakan salah satu masalah global yang serius disebabkan oleh meningkatnya industrialisasi dan urbanisasi. Logam berat Cu menjadi salah satu senyawa berbahaya penyebab pencemaran air karena memiliki efek racun bagi manusia sehingga dapat mengakibatkan keterbelakangan mental, anemia, hipertensi, dan lain-lain. Penyisihan logam Cu dalam air dapat dilakukan menggunakan adsorben hidrogel berbasis CMC dan Pektin. Hidrogel merupakan komposit polimer hidrofilik dengan jaringan tiga dimensi (3D) yang terdefinisi dengan baik secara fisik dan memiliki gugus fungsi yang responsif secara kimia, yang memungkinkan hidrogel dengan mudah menangkap ion logam tanpa larut. Hidrogel yang disintesis melalui metode Freeze-Thaw memiliki karakteristik elastis yang lebih besar. Sifat adsorpsi diselidiki oleh dua model isoterm dan lima model kinetik. Analisis FTIR membuktikan adanya gugus -OH terdeteksi bebas akibat dari interaksi antara CMC dan pektin, gugus COOH yang mempunyai kemampuan paling tinggi dalam mengikat logam, serta gugus lainnya yaitu C=O, C-O, dan C-O-C. Analisis BET menunjukkan bahwa hidrogel memiliki luas permukaan 1,685 m<sup>2</sup>/g dan tergolong pada grafik isoterm tipe 1 mengacu pada dominasi mikropori pada suatu bahan atau bahan dengan kandungan mesopori yang dekat dengan mikropori. Kondisi optimum dalam proses adsorpsi yaitu pada konsentrasi 223 ppm, menggunakan model isoterm Langmuir dengan efisiensi adsorpsi sebesar 20,84%. Kapasitas adsorpsi paling tinggi pada konsentrasi 74 ppm yang terjadi di menit 120, menggunakan model kinetika Pseudo Orde 2 dengan efisiensi penyerapan sebesar 85,07 %.

**Kata kunci:** Adsorpsi, CMC, Hidrogel, Logam Cu, Pektin

### ABSTRACT

Water pollution is a serious global problem caused by increasing industrialization and urbanization. The heavy metal Cu is one of the dangerous compounds that causes water pollution because it has a toxic effect on humans and can cause mental retardation, anemia, hypertension, etc. Removal of Cu metal in water can be done using CMC and Pectin-based hydrogel adsorbents. Hydrogels are hydrophilic polymer composites with a physically well-defined three-dimensional (3D) network and chemically responsive functional groups, which enable the hydrogel to easily capture metal ions without dissolving. The hydrogel synthesized via the Freeze-Thaw method has greater elastic characteristics. The adsorption properties were investigated by two isotherm models and five kinetic models. FTIR analysis proved that the -OH group was detected freely due to the interaction between CMC and pectin, the COOH group with the highest ability to bind metals, and other groups, namely C=O, C-O, and C-O-C. BET analysis shows that the hydrogel has a surface area of 1.685 m<sup>2</sup>/g and is classified as type 1 on the isotherm chart, referring to the dominance of micropores in a material or materials with mesopore content close to micropores. The optimum conditions in the adsorption process are at a concentration of 223 ppm, using the Langmuir isotherm model with an adsorption efficiency of 20,84%. The highest adsorption capacity was at a concentration of 74 ppm which occurred at 120 minutes, using a Pseudo 2nd Order kinetic model with an adsorption efficiency of 85,07%.

**Keywords:** Adsorption, CMC, Hydrogel, Metal Cu, Pectin

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan salah satu masalah global yang serius yang disebabkan oleh meningkatnya industrialisasi dan urbanisasi (Darban *et al.*, 2022). Dari 98 sungai di Indonesia terdapat 37% sungai mengalami pencemaran berat termasuk sungai Citarum (Firmansyah *et al.*, 2021). Sungai Citarum mendapatkan gelar sebagai sungai paling tercemar di dunia pada tahun 2018, menurut data pengolahan lingkungan dan sumber daya alam *World Bank* (A. Prayoga *et al.*, 2022). Aliran Sungai Citarum mengalir disepanjang daerah Jawa Barat, yakni melewati Kabupaten Bandung Barat hingga Karawang (Chazanah, 2018). Tingginya kadar bahan kimia yang masuk ke Sungai Citarum dapat mempengaruhi kualitas air sungai yang ditandai dengan perubahan fisik, kimia dan biologis. Logam berat Cd, Cu, Zn, Hg, Ni, Pb dan Cr yang terdapat di Sungai Citarum merupakan bahan pencemar yang berbahaya (Febrita & Roosmini, 2022). Khususnya pada logam Cu di titik pintu masuk sungai Citarum mengandung logam yang paling melebihi batas minimum yang telah ditetapkan yaitu 40.34 mg/kg (G. Prayoga *et al.*, 2022). Logam berat tersebut berasal dari kegiatan penyulingan minyak bumi, pelapisan logam, limbah alat rumah tangga yang terbuat dari tembaga hingga limbah kaleng minuman dan makanan siap saji (Ariffin *et al.*, 2017); (Darban *et al.*, 2022).

Logam berat merupakan polutan yang tidak dapat terbiodegradasi dan sangat sulit dihilangkan secara alami dari lingkungan. Limbah logam berat dapat membuat pencemaran lingkungan dan berdampak buruk bagi kesehatan (Darban *et al.*, 2022). Logam Cu memiliki efek racun bagi manusia sehingga dapat mengakibatkan keterbelakangan mental, anemia, arthritis, hipertensi, muntah - muntah, hiperaktif, skizofrenia, insomnia, autisme, radang liver, dan masalah jantung (Ariffin *et al.*, 2017). Selain itu, logam Cu pada konsentrasi yang rendahpun dapat menyebabkan efek toksik pada jaringan tubuh ikan. Ion logam dapat menginduksi produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan menyebabkan respons stres oksidatif pada ikan (Garai *et al.*, 2021). Beberapa metode yang dapat mengurangi logam berat dalam limbah air yaitu adsorpsi, presipitasi kimia, pertukaran ion, filtrasi membran, *electrochemical treatment technologies*, dan sebagainya (Türkmen *et al.*, 2022).

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). Pemilihan adsorben merupakan hal yang penting, adsorben harus memiliki kemampuan yang baik untuk menghilangkan polutan dan bersifat ekonomis (Hussain *et al.*, 2021). Penggunaan biochar sekam padi, pulp gula bit, TiO<sub>2</sub>, karbon aktif, dan tanah liat sering digunakan dalam proses adsorpsi. Namun, bahan adsorben ini memiliki kelemahan seperti kesulitan memisahkan dari air setelah proses dekontaminasi, biaya produksi yang lebih tinggi, dan ketidakberlanjutan ekonomi untuk aplikasi skala besar. Alternatif lain yang dapat digunakan yaitu biopolimer seperti selulosa, kitosan, alginat dan pektin karena kapasitas adsorpsinya yang tinggi, biokompatibilitas serta kemampuan *readsorbability* tinggi sehingga dimungkinkan digunakan sebagai adsorben logam berat tetapi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dengan *di-treatment* menjadi hidrogel (Darban *et al.*, 2022); (Wang *et al.*, 2019). Berdasarkan penelitian Pavandi *et al.* (2021), hidrogel gabungan karboksimetil selulosa (CMC) dan polivinil alkohol (PVA) menggunakan metode *freeze-thaw* dapat mengadsorpsi logam Cu.

Penerapan pektin dan turunannya sebagai hidrogel untuk adsorben logam berat belum dikembangkan. Padahal pektin bisa digunakan sebagai bahan utama adsorpsi logam berat karena tersusun oleh gugus aktif seperti gugus karboksil yang mempunyai kemampuan paling tinggi dalam mengikat logam. Golongan ini mampu bereaksi dengan ion logam berat dengan menghasilkan senyawa kompleks yang tidak larut dalam air. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa pektin dapat mengadsorpsi logam Cu dengan efisiensi 82,80% (Khotima & Santoso, 2020).

Hidrogel merupakan komposit polimer hidrofilik dengan jaringan tiga dimensi (3D) yang terdefinisi dengan baik secara fisik dan memiliki gugus fungsi yang responsif secara kimia, yang memungkinkan hidrogel dengan mudah menangkap ion logam tanpa larut (Shalla *et al.*, 2019). Hidrogel yang disintesis melalui metode *Freeze-Thaw* memiliki karakteristik elastis yang lebih besar dibandingkan dengan yang disintesis melalui metode kimia, sehingga menarik minat luas di seluruh dunia. Sehingga dalam penelitian ini akan melakukan percobaan untuk membuat hidrogel dari bahan baku CMC dan pektin dengan perbandingan 1:1 menggunakan metode *freeze-thaw*, selanjutnya di karakterisasi kemampuannya.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan bahan berikut : logam CuCl<sub>2</sub>, aquades, CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*), dan pektin. Dan menggunakan alat berikut : FTIR, BET, AAS, *freezer box* dengan spesifikasi suhu -25°C, oven, pH meter, timbangan analitik, gelas ukur, pipet ukur, labu ukur, cetakan es batu, dan spatula stainless.

## 2.2 Prosedur

Langkah pertama yaitu proses sintesis hidrogel CMC-pektin yang diawali proses pembuatan hidrogel CMC – Pektin dengan menggunakan metode *freeze-thaw*. Siapkan CMC sebanyak 10w/v % dan pektin sebanyak 10w/v % yang dilarutkan pada suhu ruang 30°C, kemudian masukan larutan hidrogel tersebut kedalam cetakan es batu dengan ukuran 1,5 cm. Selanjutnya Bekukan campuran CMC dan Pektin yang telah dimasukan kedalam wadah selama 6 Jam pada temperatur -20 °C (Wang *et al.*, 2019). Setelah itu, cairkan selama 1 jam pada suhu ruang. Ulangi proses pembekuan dan pencairan sebanyak 5 siklus. Setelah itu, oven hidrogel yang sudah dilakukan proses *freeze-thaw* dengan suhu 100°C selama 40 menit untuk menguapkan kandungan air yang berlebih pada hidrogel CMC/Pektin. Selanjutnya, sampel dikarakterisasi dengan *Spektroskopi Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengukur serapan radiasi infra merah yang ditunjukkan dalam bentuk bilangan gelombang dan untuk mengetahui volume pori dan luas permukaan spesifik sampel hidrogel akan menggunakan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET).

Langkah selanjutnya menganalisa pengaruh konsentrasi awal dan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi hidrogel terhadap logam berat Cu. Hidrogel CMC - Pektin direndam pada larutan logam Cu dengan pH larutan 5. Proses adsorpsi dilakukan dengan konsentrasi 73 ppm, 186 ppm, 223 ppm, dan 335 ppm serta waktu yang bervariasi juga yaitu 30 menit, 60 menit, dan 120 menit.. Tujuannya untuk mengetahui kondisi optimal hidrogel sebagai adsorben logam. Setelah mendapatkan perlakuan, hidrogel dipisahkan dari larutan, lalu larutan dianalisis menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengetahui jumlah sisa logam Cu yang tidak teradsorpsi.

Hasil dari analisa *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) kemudian digunakan untuk penentuan mekanisme adsorpsi. Formula (Ariffin *et al.*, 2017) menunjukkan persamaan mekanisme adsorpsi yang lebih tepat yang dibuktikan dengan membandingkan persamaan Langmuir Isotermal dan Freundlich Isotermal yang dapat dihitung dengan rumus :

- Langmuir Isotermal

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

Di mana,  $q_{max}$  adalah konstanta langmuir yang berhubungan dengan kapasitas penyerapan maksimum (kapasitas monomer;  $q_e$  adalah kapasitas penyerapan logam dan  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan zat terlarut dalam larutan. Dengan memplot data  $C_e/q_e$  vs  $C_e$ , nilai regresi, intersep dan *slope* akan diperoleh untuk data Isotermal Langmuir, di mana nilai *slope* dan intersep digunakan dalam perhitungan  $q_{max}$  dan nilai  $K_L$ .

- freundlich Isotermal

$$\log q_e = \log k_f + n \log C_e \quad (2)$$

Di mana  $q_e$  adalah kapasitas penyerapan logam;  $K_f$  adalah dasar keseimbangan bioadsorpsi;  $n$  adalah konstanta indikatif dari intensitas bioadsorpsi dan  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan zat terlarut dalam larutan. Dengan memplot data  $\log q_e$  vs  $C_e$ , nilai regresi, intersepsi, dan *slope* akan diperoleh untuk data Isotermal Freundlich, di mana nilai kemiringan dan intersep digunakan dalam perhitungan  $n$  dan nilai  $K_f$ .

Formula (Anisa & Euis, 2022) menjelaskan penentuan persamaan kinetika adsorpsi yang lebih tepat yang dibuktikan dengan cara membandingkan persamaan kinetika orde 0, kinetika orde 1, kinetika orde 2, kinetika pseudo orde 1 dan kinetika pseudo orde 2 yang dapat dihitung dengan rumus :

- Kinetika Orde 0

$$C_e = -k_0 t + C_0 \quad (3)$$

Dimana  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan zat terlarut dalam larutan;  $k_0$  adalah konstanta kecepatan reaksi orde 0 dan  $C_0$  adalah konsentrasi awal larutan.

- Kinetika Orde 1

$$\ln C_e = -k_1 t + \ln C_0 \quad (4)$$

Dimana  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan zat terlarut dalam larutan;  $k_1 t$  adalah konstanta kecepatan reaksi orde 1 pada waktu  $t$  dan  $C_0$  adalah konsentrasi awal larutan.

- Kinetika Orde 2

$$\frac{1}{C_e} = k_2 t + \frac{1}{C_0} \quad (5)$$

Dimana  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan zat terlarut dalam larutan; ;  $k_1 t$  adalah konstanta kecepatan reaksi orde 2 pada waktu  $t$  dan  $C_0$  adalah konsentrasi awal larutan.

- Kinetika Pseudo Orde 1

$$\ln(q_e - q_t) = k_1 t \quad (6)$$

Di mana  $q_t$  adalah konsentrasi kesetimbangan pada  $t$  waktu;  $k_1$  adalah konstanta kecepatan reaksi orde 1, dan  $q_e$  adalah kapasitas penyerapan logam. Dengan memplot data  $\ln(q_e - q_t)$  vs  $t$ , nilai regresi, intersep, dan

*slope* akan diperoleh untuk data pseudo-orde pertama, di mana nilai *slope* dan intersep digunakan dalam perhitungan  $q_e$  dan nilai  $k_1$ .

- Kinetika Pseudo Orde 2

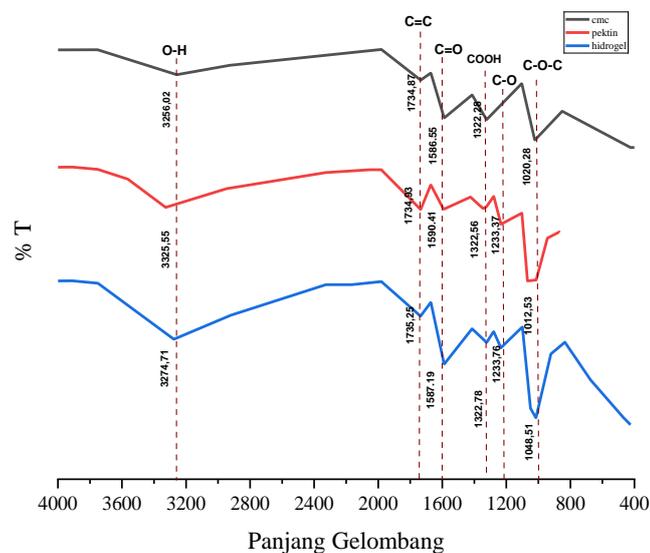
$$\frac{t}{q_e} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (7)$$

Di mana  $q_e$  adalah kapasitas penyerapan logam;  $qt$  adalah konsentrasi kesetimbangan pada  $t$  sebagai waktu dan  $k_2$  adalah konstanta kecepatan reaksi pseudo orde 2. Dengan memplot data  $t$  vs  $t/qt$ , nilai regresi, *slope*, dan intersep akan diperoleh untuk data pseudo orde 2, digunakan untuk nilai komputasi dan  $k_2$ .

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakterisasi Gugus Fungsi

Analisis karakteristik gugus fungsional adsorben dilakukan melalui uji *Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Analisa ini digunakan untuk mengetahui karakterisasi gugus fungsi yang terdapat dalam CMC, Pektin dan ikatan adsorben yaitu Hidrogel CMC/Pektin. Hasil spektrum FTIR ditunjukkan pada gambar 1.



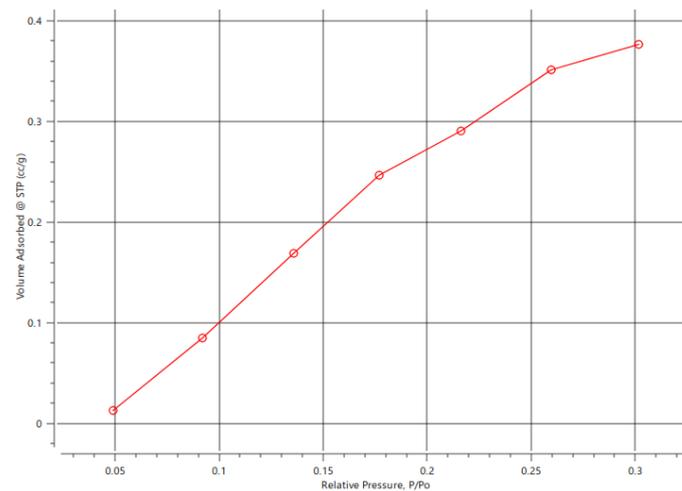
**Gambar- 1.** Spektra FTIR CMC, Pektin, dan Hidrogel CMC/Pektin

Hasil analisis spektra FTIR memiliki pola yang hampir sama untuk ketiga jenis sampel tersebut. Puncak di bilangan gelombang pada CMC, pektin, dan hidrogel secara berurutan ialah 3256, 3274, dan 3325  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan –OH, menunjukkan bahwa tergolong karbohidrat kompleks yang ditandai dengan adanya gugus tersebut. gugus –OH pada hidrogel lebih tinggi karena –OH terdeteksi bebas akibat dari interaksi antara cmc dan pektin. Pada panjang gelombang 3700-3100  $\text{cm}^{-1}$  adanya gugus OH yang menunjukkan terbentuknya gugus ikatan hidrogen antar atom hidrogen pada satu gugus-gugus hidroksil lain pada rantai polimer selulosa terhadap monomer glukosa (Safitri *et al.*, 2017).

Puncak bilangan gelombang pada CMC, pektin, dan hidrogel secara berturut-turut adalah 1734,87, 1734,93 dan 1735,25 $\text{cm}^{-1}$  yang menggambarkan adanya gugus hidrofobik (ikatan C=C pada ester, eter, fenol dan cincin benzena). Selanjutnya pada puncak bilangan gelombang CMC, pektin, dan hidrogel secara berturut-turut adalah 1586,55, 1590,41 dan 1587,19  $\text{cm}^{-1}$  yang menggambarkan gugus karbonil (-C=O). Puncak bilangan gelombang 1322,28  $\text{cm}^{-1}$  pada cmc, 1322,56  $\text{cm}^{-1}$  pada pektin, dan 1322,78  $\text{cm}^{-1}$  pada hidrogel merupakan gugus (COOH) berupa garam karboksilat. Selanjutnya bilangan gelombang 1233,37  $\text{cm}^{-1}$  pada pektin dan 1233,76  $\text{cm}^{-1}$  pada hidrogel menunjukkan adanya (C-O). Bilangan gelombang 1012, 1013, dan 1020  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan (C-O-C).

#### 3.2 Karakterisasi Permukaan

Analisis permukaan adsorben dilakukan dengan menggunakan uji *Brunauer-Emmett-Teller (BET)*. Analisis ini digunakan untuk menentukan volume pori dan luas permukaan spesifik pada sampel hidrogel CMC/Pektin (Bahrin *et al.*, 2023). Hasil pengujian BET memiliki diameter pori sebesar 16,2 Å dan luas permukaan sampel sebesar 1,685  $\text{m}^2/\text{g}$ . Gambar 2 menunjukkan hasil analisis BET berupa kurva Isoterm BET.



**Gambar- 2.** Kurva Isoterm BET Hidrogel

Hasil menunjukkan bahwa Kurva Isoterm BET hidrogel adalah hubungan antara tekanan relatif dan volume adsorpsi. Hasilnya karakteristik kurva Isoterm BET Hidrogel mendekati Tipe I berdasarkan klasifikasi IUPAC yaitu karakteristik dari material mikropori dan memiliki diameter pori kurang dari 20 Å (2 nm). Isoterm tipe I mengacu pada dominasi mikropori pada suatu bahan atau bahan dengan kandungan mesopori yang dekat dengan mikropori. Jenis ini disebut isoterm Langmuir yang menggambarkan adsorpsi hanya pada satu lapisan (monolayer) dengan struktur permukaan homogen (Halah *et al.*, 2018).

### 3.3 Penentuan Model Isotermal Adsorpsi

Pada analisa ini model adsorpsi yang akan dibandingkan untuk adsorpsi logam Cu adalah model adsorpsi Langmuir dan Freundlich isotermal. Model adsorpsi isotermal adalah penjelasan bagaimana interaksi antara ion logam dengan adsorben. Model isotermal adsorpsi ditentukan dengan menggunakan variasi konsentrasi 75; 186 ; 224 ; 335 ppm menggunakan waktu kontak 60 menit. Kondisi parameter lainnya adalah tetap yaitu larutan Cu dengan pH 5 yang masing-masing jumlahnya 10 ml dan berat adsorben 0,0907 gram. Tabel 1 menunjukkan hasil analisa.

**Tabel- 1.** Model Isotermal Adsorpsi Logam Cu

Parameter	Model Adsorpsi	
	Langmuir	Freundlich
R2	0,9692	0,9577
Konstanta	q <sub>max</sub> = 20,62 K <sub>L</sub> = 0,00542	n = 0,752 K <sub>F</sub> = 21,6571

Model adsorpsi Langmuir adalah model yang cukup sering digunakan untuk menjelaskan mekanisme adsorpsi, dimana model ini mengasumsi permukaan adsorben kontak langsung dengan adsorbat dan adsorbat menempel pada sisi aktif adsorben hanya satu lapisan saja (Anggriani *et al.*, 2021).

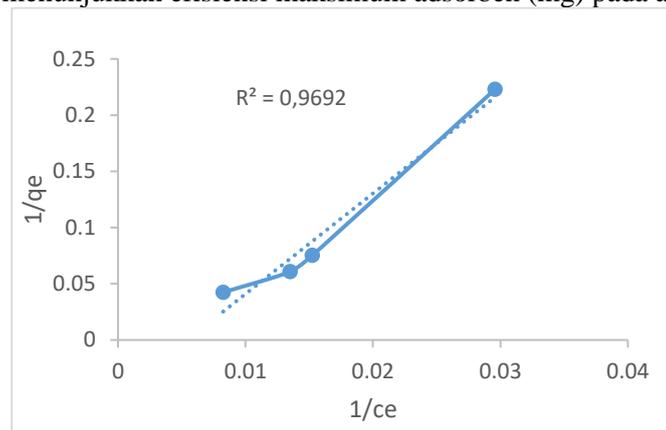
Nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,9692 yang disajikan pada Tabel 1. Selain itu, didapatkan nilai *intercept* dan *slope* sehingga didapatkan nilai q<sub>max</sub> dan K<sub>L</sub> pada model Langmuir secara berurutan 20,6186 dan 0,00542 dimana q<sub>max</sub> adalah kapasitas maksimum adsorpsi monolayer dan K<sub>L</sub> adalah konstanta energi adsorpsi.

Model yang kedua adalah model adsorpsi Freundlich isotermal, model empiris yang menjelaskan mekanisme adsorpsi pada sistem larutan. Mekanisme adsorpsi Freundlich adalah permukaan adsorben sebagai heterogenitas permukaan dan distribusi situs aktif serta energinya secara eksponensial (Ayawei *et al.*, 2017).

Pada Tabel 1 juga dapat dilihat nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,955. Selain itu, didapatkan nilai *intercept* dan *slope* sehingga didapatkan nilai K<sub>F</sub> dan n pada model Freundlich secara berurutan 21,6571 dan 0,75188 dimana K<sub>F</sub> adalah konstanta kesetimbangan biosorpsi dan n adalah konstanta indikasi dari intensitas biosorpsi.

Dapat dikatakan bahwa model adsorpsi isotermal logam Cu lebih cocok dengan menggunakan model isoterma Langmuir dengan nilai q<sub>max</sub> 20,62 mg/g yang menunjukkan efisiensi maksimum adsorben (mg) dalam adsorpsi (g). Dalam model isoterma Langmuir, adsorbat menempel pada sisi aktif adsorben dalam satu lapisan (monolayer), dengan struktur permukaan homogen dan lokasi adsorpsinya identik, pada permukaan adsorben yang bersentuhan langsung dengan adsorbat. Dengan demikian, hasilnya adalah hasil karakteristik permukaan menggunakan analisis BET. CMC/Pektin Hidrogel itu mendekati tipe I berdasarkan klasifikasi IUPAC yang merupakan karakteristik bahan mikropori (Halah *et al.*, 2018). Berdasarkan penelitian

Nadir & Sahraeni, (2022), menjelaskan bahwa model isoterm adsorpsi menggunakan biosorben pada adsorpsi logam Cu, lebih cocok menggunakan model persamaan isoterm jenis Langmuir yang menghasilkan nilai  $q_{max}$  sebesar 21,3675 mg/g yang menunjukkan efisiensi maksimum adsorben (mg) pada adsorpsi adsorbat (g).



Gambar- 3. Grafik Langmuir Isotermal

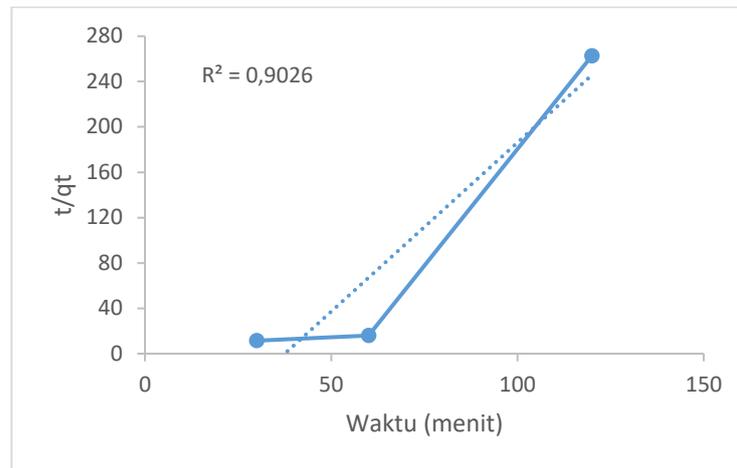
### 3.4 Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

Analisa kinetika adsorpsi yang akan dibandingkan untuk adsorpsi logam Cu adalah kinetika orde 0, kinetika orde 1, kinetika orde 2, kinetika pseudo orde 1 dan kinetika pseudo orde 2. Model kinetika adsorpsi ditentukan dengan menggunakan variasi waktu 30; 60; 120 menit menggunakan konsentrasi 75 ppm. Kondisi parameter lainnya adalah tetap yaitu larutan Cu dengan pH 5 yang masing-masing jumlahnya 10 ml dan berat adsorben 0,0907 gram. Tabel 1 menunjukkan hasil analisa. Tabel 2 menunjukkan hasil analisa kinetika adsorpsi logam Cu.

Tabel- 2. Hasil Kinetika Adsorpsi Logam Cu

Kinetika	R <sup>2</sup>	K	q <sub>e</sub>
Orde 0	0.6093	-0.2569	-
Orde 1	0.7767	-0.0216	-
Orde 2	0.8579	0.0024	-
Pseudo Orde 1	0.3818	0.0000942	1.2311
Pseudo Orde 2	0.9026	0.001006	0.336

Berdasarkan Tabel 2. dapat dilihat bahwa kinetika adsorpsi logam Cu, didapat nilai R<sup>2</sup> yang didapatkan untuk Orde 0, Orde 1, Orde 2, Pseudo orde 1 dan Pseudo orde 2 secara berurutan adalah 0.6093, 0.7767, 0.8579, 0.3818, dan 0.9026. Nilai kinetika adsorpsi yang didapatkan dari analisa didapatkan untuk kinetika orde 0, kinetika orde 1, kinetika orde 2, kinetika pseudo orde 1 dan kinetika pseudo orde 2 secara berurutan adalah -0,2569; -0,0216; 0,0024; 0,0000942 dan 0,001006. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kinetika reaksi adsorpsi logam Cu menggunakan hidrogel CMC/Pektin lebih cocok dengan menggunakan persamaan model kinetik adsorpsi pseudo orde 2 dengan nilai q<sub>e</sub> adalah 0,336 mg/g. Dalam kinetika pseudo orde 2. Dalam penelitian Purnawan *et al.*, (2020), bahwa pada adsorpsi logam Cu, kinetika reaksi adsorpsi lebih cocok menggunakan persamaan kinetika Pseudo orde 2, dijelaskan bahwa reduksi ion Cu berada pada kapasitas adsorpsi yang proporsional terhadap jumlah site aktif pada adsorben. Menghasilkan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,0013 g/mg.menit dan kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 10,18 mg/g. Adsorpsi logam Cu menggunakan Hidrogel CMC/Pektin memiliki kapasitas adsorpsi yang tidak jauh berbeda dengan hidrogel CMC/PVA, namun lebih kecil dari *biochar* yang memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 10,18 mg/g. Adsorben hidrogel CMC/Pektin memiliki kelemahan dimana hidrogel yang diaplikasikan harus segar untuk dijadikan *adsorbent* logam Cu dan memiliki ketahanan yang relatif sebentar yaitu hingga 3 jam. Jika diaplikasikan pada larutan Cu selama lebih dari 3 jam, hidrogel akan mengalami kerusakan mekanis seperti mudah larut saat diangkat sehingga proses pemisahan perlu menggunakan kertas saring.



**Gambar- 4.** Grafik kinetika reaksi pseudo orde 2

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapat menyimpulkan bahwa adsorben hidrogel CMC/pektin dengan perbandingan 1:1 menggunakan metode *freeze-thaw* dapat diaplikasikan pada proses adsorpsi logam Cu karena memiliki gugus fungsi hidroksil dan karboksil yang berfungsi sebagai pengikat logam Cu dengan memiliki luas permukaan sebesar 1,685 m<sup>2</sup>/g. Kondisi optimal proses adsorpsi diperoleh pada konsentrasi adsorbat 233 ppm dengan efisiensi penyerapan 20,84% dan pada waktu menit ke 120 dengan efisiensi penyerapan 85,07%. Persamaan isotermik adsorpsi yang sesuai dengan data eksperimen adalah isoterma Langmuir dengan nilai  $K_L$  0,00542 L/g. untuk persamaan model kinetika yang sesuai dengan data eksperimen adalah model kinetik adsorpsi pseudo orde 2 dengan nilai  $q_e$  sebesar 0,336 mg/g. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dari dengan hidrogel CMC/PVA, namun lebih kecil dari *biochar* yang memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 10,18 mg/g.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Anisa Amelia Atmadani, & Euis Nurul Hidayah. (2022). Kinetika Reaksi Resin Immobilized Photocatalyst Technology (RIPT) TiO<sub>2</sub> Sebagai Bahan Alternatif Pengolahan Limbah Cair Tahu. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 584–594. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i5.999>
- Ariffin, N., Abdullah, M. M. A. B., Zainol, M. R. 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/mateconf/20179701023>
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., & Wankasi, D. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3039817>
- Bahrin, D., Despa, D., Septiana, T., Selpiana, S., Rizwan, M., Fauzan, F., Agustina, A., & Conniwanti. (2023). Pembuatan dan Karakterisasi  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> sebagai Penyangga Adsorben untuk Penyisihan SO<sub>2</sub> dari Gas Cerobong PLTU-Batubara. *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, 3(1). <https://doi.org/10.23960/snip.v3i1.371>
- Chazanah, N. (2018). Determinant Parameters For Upstream Ecological Status Assessment Of Citarum River, Indonesia. *International Journal Of Geomate*, 15(50). <https://doi.org/10.21660/2018.50.13321>
- 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). <https://doi.org/10.3390/gels8050263>
- 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>
- Firmansyah, Y. W., Setiani, O., & Darundiati, Y. H. (2021). Kondisi Sungai di Indonesia Ditinjau dari Daya Tampung Beban Pencemaran: Studi Literatur. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(2), 1879–1890. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i2.2889>
- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., & Saha, N. C. (2021). Effect of Heavy Metals on Fishes: Toxicity and Bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, 11(June), 1 [https://www.researchgate.net/profile/PradipMondal/publication/353848075\\_Effect\\_of\\_Heavy\\_Metals\\_on\\_Fishes\\_Toxicity\\_and\\_Bioaccumulation/links/61153ed9169a1a0103f92103/Effect-of-Heavy-](https://www.researchgate.net/profile/PradipMondal/publication/353848075_Effect_of_Heavy_Metals_on_Fishes_Toxicity_and_Bioaccumulation/links/61153ed9169a1a0103f92103/Effect-of-Heavy-)

## Metals-on-Fishes-Toxicity-an Bioaccumulation.pdf

- Halah, E., López-Carrasquero, A., Contreras, F., Halah, A. El, & López-Carrasquero, F. (2018). Applications of hydrogels in the adsorption of metallic ions Applications of hydrogels in the adsorption of metallic ions. *Ciencia e Ingeniería*, 39(1), 57–78  
<https://www.redalyc.org/journal/5075/507555109006/html/>
- 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. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(3), 1969–1979.  
<https://doi.org/10.15244/pjoes/125016>
- Khotima, K. & Santoso, T. (2020). Pemanfaatan Pektin Kulit Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*) Sebagai Adsorben Logam Cu (Ii). *Media Eksakta*, 16(2), 105–112  
<https://doi.org/10.22487/me.v16i2.741>
- Nadir, M., & Sahraeni, S. (2022). Kapasitas Adsorpsi Logam Mangan ( Mn ) Menggunakan Biosorben Pektin Dari Kulit Pisang Kepok. *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, 2(2), 66–72  
<https://doi.org/10.46964/jimsi.v2i2.1693>
- Pavandi, N., Taghavi, E., & Anarjan, N. (2021). Preparation of carboxymethyl cellulose and polyvinyl alcohol (Cmc/pva) hydrogels using freeze–thaw processes for adsorption of zn<sup>2+</sup> and cu<sup>2+</sup>. *Cellulose Chemistry and Technology*, 55(3–4), 375–383  
<https://doi.org/10.35812/CELLULOSECHEMTECHNOL.2021.55.36>
- Prayoga, A., Khaerul Umam, & Sakrim Miharja. (2022). Studi Collaborative Governance Program Citarum Harum Dalam Perbaikan Kualitas Air Sungai Citarum. *Moderat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 8(3), 469–485  
<https://doi.org/10.25157/moderat.v8i3.2759>
- Prayoga, G., Utomo, B. A., & Effendi, H. (2022). Heavy Metals Contamination and Water Quality Parameter Conditions in Jatiluhur Reservoir, West Java, Indonesia. *BIOTROPIA*, 29(1).  
<https://doi.org/10.11598/btb.2022.29.1.1443>
- Purnawan, E., Muslim, A., Razali, N., Zaki, M., Meilina, H., & Azawar, A. (2020). Reduksi Ion Cu(II) Menggunakan Karbon Aktif dari Sekam Padi Teraktivasi Fisika dan Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3), 1243–1250  
<https://doi.org/10.32672/jse.v5i3.2149>
- Safitri, D., Rahim, E. A., Prismawiryanti, P., & Sikanna, R. (2017). Sintesis Karboksimetil Selulosa (Cmc) Dari Selulosa Kulit Durian (*Durio zibethinus*). *Kovalen*, 3(1), 58.  
<https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i1.8234>
- Shalla, A. H., Yaseen, Z., Bhat, M. A., Rangreez, T. A., & Maswal, M. (2019). Recent review for removal of metal ions by hydrogels. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 54(1), 89–100.  
<https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1503307>
- Türkmen, D., Bakhshpour, M., Akgönüllü, S., Aşır, S., & Denizli, A. (2022). Heavy Metal Ions Removal From Wastewater Using Cryogels: A Review. *Frontiers in Sustainability*, 3(March), 1–17.  
<https://doi.org/10.3389/frsus.2022.765592>
- Wang, R., Liang, R., Dai, T., Chen, J., Shuai, X., & Liu, C. (2019). Pectin-based adsorbents for heavy metal ions: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 91(May 2018), 319–329.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.033>