

PEMANFAATAN FILM ALGINAT DAN ALGINAT/MONTMORILLONITE SEBAGAI ADSORBEN CU(II)

UTILIZATION OF ALGINATE AND ALGINATE/MONTMORILLONITE FILM AS CU(II) ADSORBENT

Borneo Satria Pratama^{1,2*}, Erliza Hambali², Mohamad Yani², Naoto Matsue³

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri
Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia, 35365

²Departemen Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Indonesia, 16680

³Department of Science and Technology for Biological Resources and Environment, Faculty of Agriculture,
Ehime University, Matsuyama-shi, Japan

*email korespondensi: borneo.pratama@tip.itera.ac.id

Abstrak

Air merupakan kebutuhan yang esensial untuk keberlanjutan hidup manusia dan lingkungan. Namun, World Water Forum telah memprediksi bahwa pada tahun 2025, Indonesia akan menjadi salah satu negara yang mengalami krisis air, yang salah satunya disebabkan oleh penurunan kualitas air akibat pencemaran limbah cair industri. Cu(II) merupakan salah satu logam berat pencemar dalam limbah cair industri yang dapat menyebabkan gangguan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, adsorben berbasis film Alginat dan film alginat/montmorillonite telah dikembangkan untuk menyerap tembaga dari dalam air secara adsorptif. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian performa adsorpsi larutan Cu(II) oleh film alginat (A-F-1%, A-F-1.5%, A-F-2%), film alginat montmorillonite (A-M-2%), dan bead alginat (A-B-2%) pada konsentrasi 1.5 mmol/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan pengocokan, massa adsorben, morfologi adsorben, serta penambahan campuran Montmorillonite pada film berpengaruh terhadap kinerja adsorpsi Cu(II). Kinerja adsorpsi terbaik didapatkan pada adsorben A-F-2% dengan kecepatan pengocokan 150 rpm, yang menghasilkan persentase pengurangan konsentrasi tembaga dari dalam air sebesar 96,45% setelah tercapainya kesetimbangan (60 menit). Adsorben film Alginat memiliki kecocokan terhadap model isoterm Freundlich dan Langmuir, dengan nilai $R^2 > 99,99\%$ untuk kedua model yang diregresikan secara linear.

Kata kunci: adsorpsi, tembaga, alginat, montmorillonite, isoterm

Abstract

Water is essential for the sustainability of human life and the environment. However, the World Water Forum has predicted that Indonesia will be one of the countries experiencing a water crisis by 2025 caused by the decline in water quality due to industrial wastewater pollution. Copper (Cu(II)) is one of the common heavy metal contaminants in industrial wastewater that cause human health and environmental problems. Therefore, this study had developed Alginate film and Alginate/Montmorillonite composite based film adsorbent for the adsorptive removal of copper. In this study, the adsorption performance of Cu(II) solution was tested by alginate film (A-F-1%, A-F-1.5%, A-F-2%), alginate/montmorillonite film (A-M-2%), and alginate bead (A-B-2%) at a concentration of 1.5 mmol/L. The results showed that the agitation speed, adsorbent mass, adsorbent morphology, and the addition of Montmorillonite to the composite film affected the copper adsorption performance. The best adsorption performance was obtained by adsorbent A-F-2% with a shaking speed of 150 rpm, which result in percentage reduction in the copper concentration of 96.45% after reaching equilibrium (60 minutes). Alginate film adsorbent fit Freundlich and Langmuir isotherm models, with $R^2 > 99.99\%$ for both linearly regressed models.

Keywords: adsorption, copper, alginate, montmorillonite, isotherm

Pendahuluan

Setiap makhluk hidup membutuhkan air bersih untuk keberlangsungan metabolisme tubuh. Pada kehidupan sehari-hari, manusia juga membutuhkan air bersih untuk aktivitas seperti MCK (mandi, cuci, dan kakus) serta untuk pemenuhan kebutuhan industri. Oleh karena itu, ketersediaan dan aksesibilitas terhadap air bersih menjadi salah satu target dari pembangunan

berkelanjutan (SDGs) yang diagendakan oleh PBB hingga tahun 2030 [1]. Pada tahun 2009 lalu, Kementerian PUPR menyatakan Indonesia masih memiliki cadangan air 2.530 km³, sehingga menduduki peringkat ke-5 di dunia. Namun, adanya penambahan jumlah penduduk, lemahnya kemampuan pengolahan air, serta kualitas air yang tidak memenuhi standar menjadi pemicu krisis air bersih di Indonesia, yang sebelumnya juga telah diprediksi oleh World Water Forum [2].

Penurunan kualitas air di Indonesia disebabkan pencemaran industri akibat masuknya zat-zat pencemar yang dibuang langsung ke perairan (sungai). Salah satu komponen pencemar yang menurunkan kualitas air dan mengakibatkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan adalah logam berat, seperti Cu, Cr, Cd, Hg, dan Pb; yang berasal dari industri *plating*, pembersih logam, dan baterai [3]. Sebagai salah satu jenis logam berat, limbah Cu(II) dapat menyebabkan gangguan kesehatan untuk manusia. Pada konsentrasi yang rendah, konsumsi tembaga dibutuhkan sebagai mikronutrien metabolisme tubuh, yaitu sebesar 2,5 mg/kg berat badan orang dewasa per hari. Namun, konsumsi tembaga dalam konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan diare, sakit perut, kerusakan hati dan ginjal.

Gangguan-gangguan tersebut juga dapat diakibatkan oleh konsumsi organisme akuatik yang telah tercemar oleh tembaga [4]. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengatasi pencemaran logam berat di dalam air adalah adsorpsi, karena efisiensi yang lebih baik dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan metode-metode lainnya (seperti: koagulasi, presipitasi kimia, filtrasi membran dan penukar ion). Beberapa jenis bahan yang tersedia di alam telah dikembangkan sebagai adsorben dan diaplikasikan untuk industri dan lingkungan [5].

Salah satu bahan yang telah banyak digunakan sebagai adsorben untuk menjerap jenis logam berat adalah alginat. Alginat merupakan polisakarida anionik yang terkandung dalam rumput laut coklat dan tersusun dari monosakarida asam β -D-Manuronat (M), asam α -L-guluronat (G), dan heteropolisakarida yang mengandung kedua asam tersebut. Alginat berperan meningkatkan kekuatan mekanis rumput laut coklat untuk menghadapi ombak, dengan cara berikatan *crosslinking* dengan kation bervalensi dua seperti kalsium dan magnesium [6].

Alginat telah dikembangkan dalam bentuk *bead*, secara murni atau dalam komposit, sebagai adsorben untuk mengurangi pencemaran logam berat, seperti timbal [7], tembaga [8], dan kadmium [9]. Namun, adsorben jenis *bead* membutuhkan waktu adsorpsi yang lama dan memiliki kapasitas penjerapan yang rendah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan adsorben berbasis alginat dengan morfologi berupa film sebagai upaya untuk meningkatkan performa Alginat dalam menjerap logam berat tembaga, dengan membandingkan kecepatan dan kapasitas penjerapan antara film alginat dan *bead* alginat.

Selain itu, dilakukan pengembangan material adsorben dengan mengkompositkan film alginat dengan montmorillonite sebagai upaya penurunan biaya bahan. Montmorillonite merupakan mineral utama dalam lempung (Bentonit). Lempung alam umumnya memiliki kandungan mineral impuritas lainnya (seperti: calcite, quartz, clinoptilolite) yang dapat dipisahkan untuk mendapatkan mineral montmorillonite murni. Penggunaan montmorillonite dalam penelitian ini tidak terlepas dari potensi Indonesia yang diperkirakan memiliki cadangan bentonit alam sebanyak 380 juta ton yang tersebar di pulau-pulau besar Indonesia [10]. Sebelumnya, lempung (bentonit dan montmorillonite) telah diaplikasikan dalam penjerapan berbagai jenis logam berat, seperti timbal dan kadmium [11], serta tembaga [12].

Metode Penelitian

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, (2) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dan (3) Natrium Alginat 300 cps (dipasok oleh Naqalai Tesque), serta (4) Montmorillonite sintetik (dipasok oleh Wako Chemicals), dan (5) air deionisasi. Seluruh bahan yang tersebut memiliki tingkat kualitas analitis.

Peralatan

Peralatan instrumen yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini adalah: (1) FT-IR Spectrum Spotlight 300 (PerkinElmer Instruments LLC); dan (2) Hitachi Z-5000 *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) untuk menganalisa konsentrasi tembaga dalam larutan.

Prosedur Kerja

Sintesis Adsorben Film Alginat dan Film Alginat/Montmorillonite

Prosedur sintesis *bead* alginat: Natrium alginat dilarutkan dalam air deionisasi dengan pengadukan selama 18 jam untuk menghasilkan larutan alginat 2% b/v. Selanjutnya, larutan alginat ditetaskan ke dalam larutan CaCl_2 0.2 M menggunakan *syringe* dan didiamkan selama 24 jam untuk menyempurnakan reaksi *crosslinking*. Kemudian, produk hidrogel Ca-Alginat dipisahkan dan dicuci dengan air deionisasi, lalu dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan temperatur 30°C. *Bead* Ca-Alginat yang telah kering kemudian disimpan dalam desikator. Selanjutnya, *bead* alginat yang dihasilkan disebut A-B-2%.

Prosedur sintesis film alginate, natrium alginat dilarutkan dalam air deionisasi dengan pengadukan selama 18 jam untuk menghasilkan larutan alginat 1%, 1,5%, dan 2% b/v. 10 gram dari setiap larutan alginat dituangkan dalam petri dish dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan temperatur 30°C, sehingga dihasilkan film Na-Alginat. Film yang terbentuk direndam larutan CaCl_2 0.2 M selama 9 jam untuk menyempurnakan reaksi *crosslinking*. Film Ca-alginat direndam dan dibilas dengan air deionisasi, dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam bersuhu 30°C untuk mendapatkan film Ca-Alginat dan disimpan dalam desikator. Film alginat yang dihasilkan disebut A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2%. Prosedur sintesis film alginat/montmorillonite dilakukan dengan tahapan seperti film alginat, namun menggunakan bahan campuran natrium alginat dan montmorillonite dengan rasio massa 4:1 sebelum dilarutkan dalam air deionisasi. Film alginat/montmorillonite yang dihasilkan disebut A-M-2%.

Karakterisasi Adsorben

Sampel adsorben yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi dengan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) untuk mengetahui gugus fungsional yang terkandung di dalam sampel film alginat (A-F-2%).

Uji Pengaruh Kecepatan Pengocokan terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben A-F-2% dimasukkan ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2-60 menit pada kecepatan 50, 100, dan 150 rpm. Adsorben dipisahkan dari larutan, kemudian dilakukan pengujian konsentrasi larutan dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir Cu(II) dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Uji Pengaruh Massa Alginat terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2% dimasukkan masing-masing ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2 sampai 60 menit pada kecepatan 150 rpm. Setelah selesai, adsorben dipisahkan dari larutan, kemudian dilakukan pengujian konsentrasi larutan menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir Cu(II) dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Uji Pengaruh Morfologi Adsorben (Bead dan Film) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben A-B-2% dan A-F-2% dimasukkan masing-masing ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2-60 menit pada kecepatan 150 rpm. Setelah selesai, adsorben dilakukan pengujian konsentrasi larutan dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir Cu(II) dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Permodelan Isoterm Adsorpsi Film Alginat

Permodelan adsorpsi dilakukan dengan data uji pengaruh massa alginat terhadap kinerja adsorpsi Cu(II). Data dimodelkan dengan regresi linear dan dicocokkan dengan dua jenis isoterm adsorpsi, yaitu Langmuir dan Freundlich. Model isoterm Freundlich menggambarkan heterogenitas permukaan adsorben, sifat adsorpsi yang multilayer, dan adanya perubahan rasio antara solut yang teradsorpsi pada setiap massa adsorben pada konsentrasi solut yang berbeda. Persamaan matematis untuk isoterm Freundlich dapat ditunjukkan seperti persamaan (1).

$$q_e = K F C_e^{(1/n)} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1), q_e adalah jumlah solut teradsorpsi setiap gram adsorben saat kesetimbangan (mmol/g), K_f adalah konstanta isoterm Freundlich ($\text{mmol}^{1-(1/n)} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$), C_e adalah konsentrasi akhir solut saat kesetimbangan (mmol/L) dan n adalah intensitas adsorpsi [13]. Isoterm Langmuir menggambarkan homogenitas permukaan adsorben, dimana adsorpsi terjadi secara monolayer pada situs adsorpsi yang identik, sehingga kapasitas adsorpsi solut per massa adsorben dapat ditentukan. Persamaan matematis untuk isoterm Freundlich dapat ditunjukkan seperti persamaan (2).

$$q_e = Q_{\max} \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2), q_e adalah jumlah solut teradsorpsi setiap gram adsorben saat kesetimbangan (mmol/g), Q_{\max} adalah kapasitas adsorpsi monolayer maksimum (mmol/g), K_L adalah konstanta isoterm Langmuir (L/mmol), dan C_e adalah konsentrasi akhir solut saat kesetimbangan (mmol/L) [13]. Bentuk linear dari persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk linear dari isoterm Freundlich dan Langmuir [13]

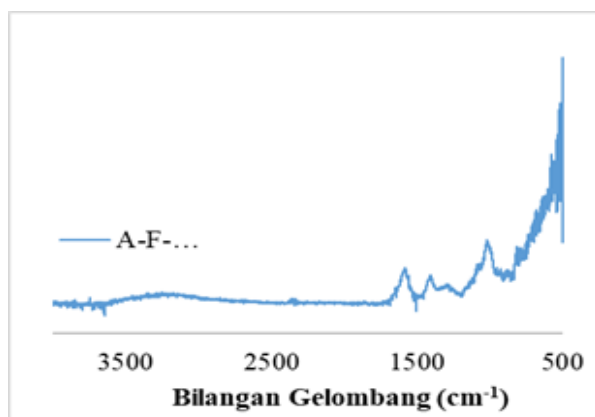
Isoterm	Linear	
	Bentuk	Plot Kurva
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{KL q_m}$	$\frac{C_e}{q_e}$ vs C_e
Freundlich	$\text{Log}(q_e) = \text{Log}(KF) + \frac{1}{n} \text{log}(C_e)$	$\text{log}(q_e)$ vs $\text{log}(C_e)$

Uji Pengaruh Kandungan Montmorillonite dalam Film Alginat (Komposit) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben film alginat/montmorillonite (A-M-2%) dimasukkan ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2-60 menit pada kecepatan 150 rpm. Setelah selesai, adsorben dilakukan pengujian konsentrasi larutan dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir Cu(II) dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Hasil dan Pembahasan Karakterisasi dengan Spektroskopi FT-IR

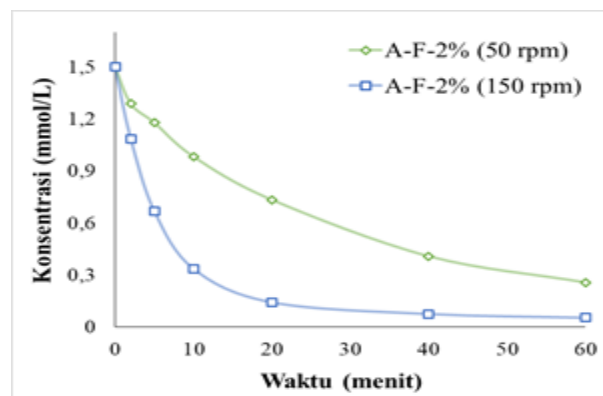
Hasil karakterisasi FT-IR terhadap sampel A-F-2% ditampilkan dalam Gambar 1. Adanya absorbansi yang lebar pada bilangan gelombang 3272 cm^{-1} diakibatkan adanya vibrasi ulur pada gugus hidroksil (O-H) [14]. Puncak absorbansi pada bilangan gelombang 1591 cm^{-1} diakibatkan oleh vibrasi ulur ikatan karbonil (C=O) dari gugus karboksilat [15]. Puncak absorbansi pada bilangan gelombang 1084 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur gugus C-O-C yang berasal dari cincin *pyranose* yang terdapat dalam struktur asam guluronat dan manuronat pada alginat [16].

**Gambar 1.** Hasil karakterisasi spektroskopi FT-IR terhadap film alginat (A-F-2%)

Puncak absorbansi pada bilangan gelombang 1025 cm^{-1} diakibatkan vibrasi ulur pada ikatan glikosidik [17]. Puncak absorbansi pada 817 cm^{-1} menunjukkan keterkaitan terhadap residu asam manuronat, yang diidentifikasi pada rentang bilangan gelombang 800 hingga 820 cm^{-1} . Hasil karakterisasi FT-IR menunjukkan material yang digunakan sampel A-F-2% merupakan alginat, dengan ciri khas absorbansi yang ditunjukkan pada rentang bilangan gelombang tertentu.

Pengaruh Kecepatan Pengocokan terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

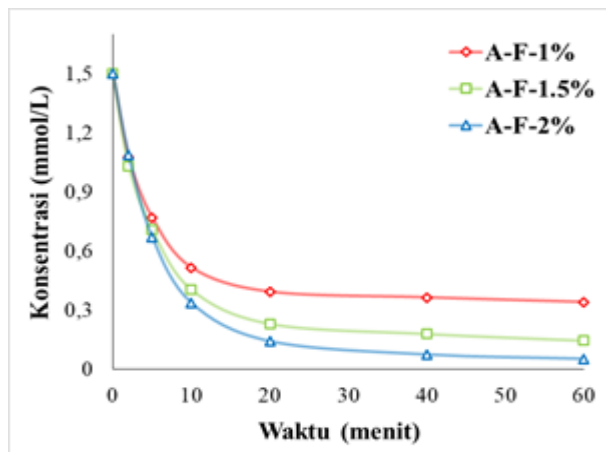
Hasil uji pengaruh kecepatan pengocokan (50 rpm dan 150 rpm) terhadap kinerja A-F-2% dalam mengadsorpsi tembaga dapat dilihat pada Gambar 2. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi pada kecepatan 150 rpm lebih tinggi daripada adsorpsi pada kecepatan 50 rpm. Secara berurutan, persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-2% pada kecepatan 50 rpm dan 150 rpm setelah 60 menit adsorpsi adalah 82.91% dan 96.45%.

**Gambar 2.** Hasil uji pengaruh kecepatan pengocokan (50 dan 150 rpm) terhadap kinerja adsorpsi tembaga oleh A-F-2%

Peningkatan adsorpsi tembaga pada kecepatan pengocokan yang lebih tinggi disebabkan semakin mengecilnya ketebalan *liquid boundary layer* oleh peningkatan turbulensi, sehingga meningkatkan laju difusi ion tembaga dari cairan menuju *liquid boundary layer* yang mengelilingi adsorben film alginat [18]. Namun, perbedaan penurunan konsentrasi antara kedua parameter kecepatan menjadi semakin kecil, diakibatkan semakin berkurangnya kapasitas adsorben A-F-2% (150 rpm) dalam menjerap ion tembaga akibat kondisinya yang semakin jenuh dan mencapai kesetimbangan pada 60 menit adsorpsi.

Pengaruh Massa Alginat terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

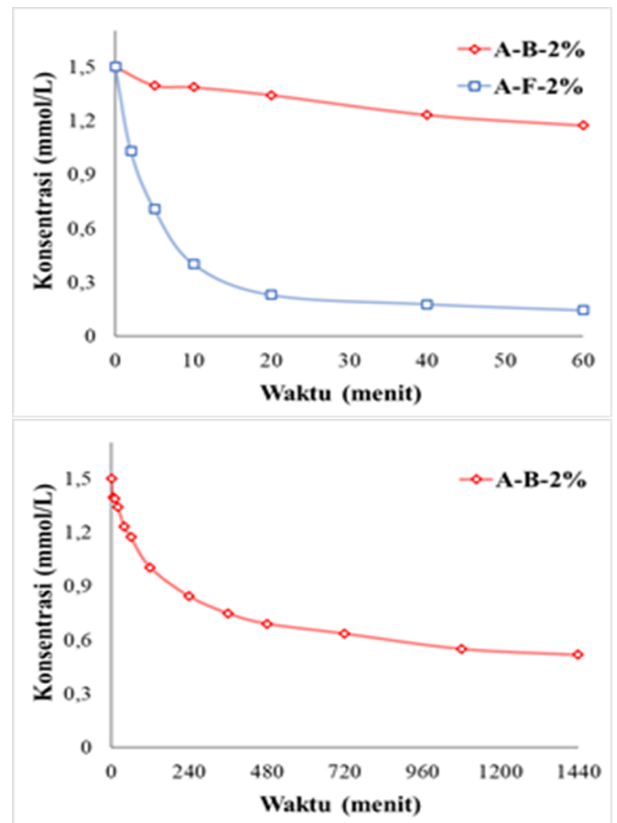
Hasil uji pengaruh massa film alginat (A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2%) terhadap kinerja adsorpsi tembaga dapat diamati pada Gambar 3. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi menjadi semakin tinggi seiring peningkatan massa alginat yang digunakan adsorpsi. Secara berurutan persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2% setelah 60 menit adsorpsi adalah 77.24%, 90.29%, dan 96.45%. Peningkatan kemampuan adsorpsi film alginat dengan massa yang semakin besar diakibatkan semakin banyaknya situs adsorpsi yang tersedia untuk menyerap logam tembaga dari dalam larutan [19].



Gambar 3. Hasil uji pengaruh massa alginat terhadap kinerja adsorpsi tembaga oleh A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2%

Pengaruh Morfologi Adsorben (*Bead* dan *Film*) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Hasil uji pengaruh morfologi adsorben alginat, yaitu *bead* (A-B-2%) dan *film* (A-F-2%) dapat dilihat pada Gambar 4. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi A-F-2% lebih tinggi daripada A-B-2%. Beberapa riset menunjukkan film alginat memiliki porositas dalam ukuran mikrometer hingga nanometer [20]. Karakteristik pori film alginat ini memungkinkan terjadinya difusi ion menuju situs adsorpsi dalam molekul alginat secara lebih cepat. Persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-2% setelah 60 menit mampu mencapai 96.45%. *Bead* alginat memiliki kinerja adsorpsi yang jauh lebih rendah akibat porositasnya yang buruk, sehingga menyebabkan kelambatan difusi ion tembaga ke dalam situs adsorpsi pada alginat [21].



Gambar 4. Hasil uji pengaruh morfologi adsorben film alginat (A-B-2% dan A-F-2%) terhadap kinerja adsorpsi tembaga

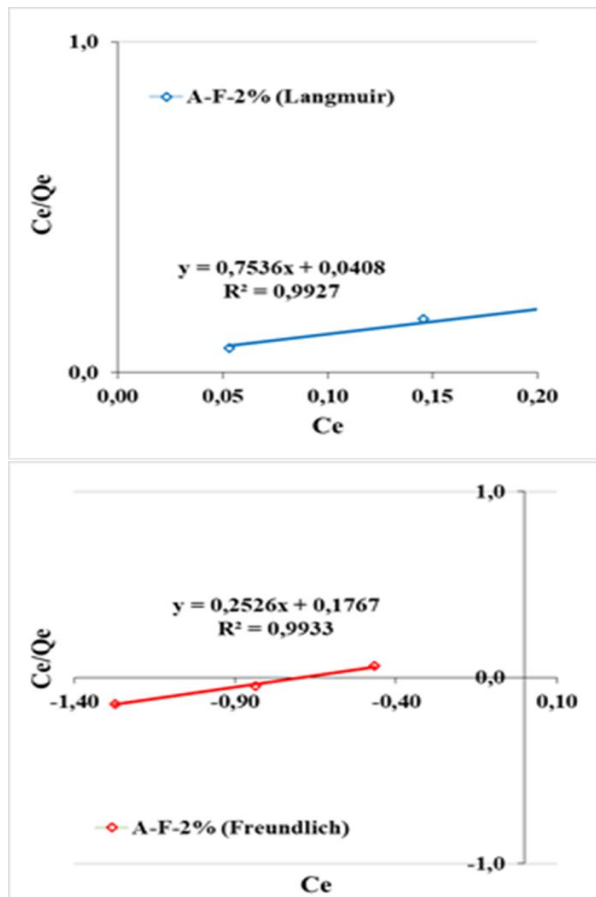
Porositas buruk ini diakibatkan pengeringan konvensional, yang mampu menyebabkan kerusakan struktur *bead* alginat akibat gaya kapiler. Fenomena ini terjadi pada polisakarida hidrofilik lainnya. Persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-B-2% setelah 1440 menit (24 jam) hanya mencapai 65.51%.

Isoterm Adsorpsi Film Alginat

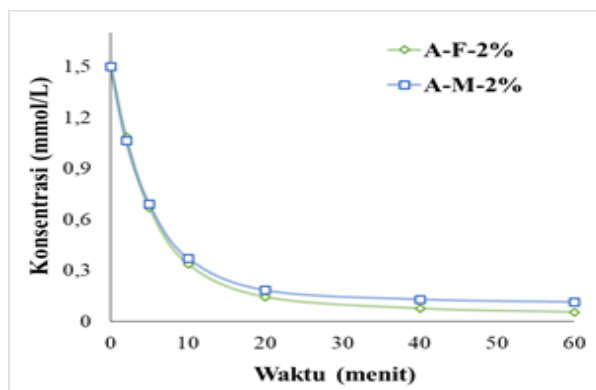
Permodelan isoterm adsorpsi dilakukan dengan data hasil uji pengaruh massa alginat terhadap kinerja adsorpsi tembaga saat waktu setimbang. Hasil permodelan isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir secara linear dapat diamati pada Gambar 4. Hasil regresi linear menunjukkan data memiliki tingkat kecocokan yang tinggi terhadap model adsorpsi Freundlich dan Langmuir, dengan nilai $R^2 > 0.99$ pada kedua regresi yang dilakukan. Sehingga, model isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir dapat menggambarkan bagaimana mekanisme adsorpsi tembaga oleh alginat. Diketahui adsorben alginat yang digunakan memiliki kapasitas adsorpsi monolayer maksimum (Q_{max}) terhadap ion tembaga sebesar 1.327 mmol/g.

Pengaruh Kandungan Montmorillonite dalam Film Alginat (Komposit) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Hasil uji pengaruh kandungan montmorillonite dapat dilihat pada Gambar 4. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi oleh A-F-2% lebih tinggi dibandingkan dengan A-M-2%.

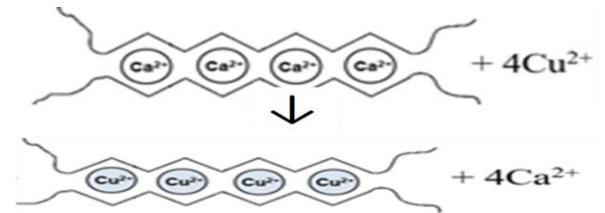


Gambar 5. Model isoterm Langmuir (kiri) dan Freundlich (kanan) pada adsorpsi tembaga oleh A-F-2%

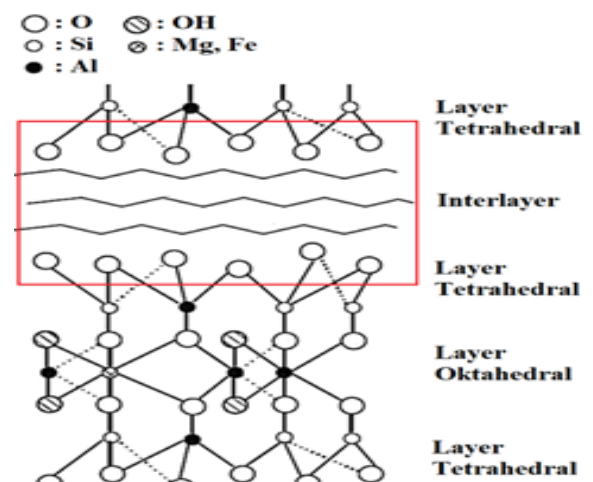


Gambar 6. Hasil uji pengaruh kandungan Montmorillonite dalam film alginat (komposit) terhadap kinerja adsorpsi tembaga

Secara berurutan persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-1% dan A-M-2% setelah 60 menit adsorpsi adalah 96.45% dan 92.41%. Diketahui film alginat memiliki kinerja lebih rendah daripada film alginate.



Gambar 7. Struktur model *Egg-box* pada molekul alginat serta pertukaran kation kalsium dan tembaga pada film alginat [13]



Gambar 8. Struktur Montmorillonite [22], bagian dalam kotak merah merupakan lokasi pertukaran kation dan interaksi kation dengan gugus oksigen

Alginat dan montmorillonite memanfaatkan kemampuan pertukaran kation dalam adsorpsi berbagai jenis logam berat melalui situs adsorpsinya. Pada alginat, kemampuan pertukaran kation yang tinggi disebabkan afinitas asam poliguluronat terhadap kation bervalensi dua, dimana kation akan berikatan dengan dua atom oksigen bermuatan negatif dari dua molekul asam poliguluronat yang berbeda, sehingga membentuk model *egg-box* seperti Gambar 7 [13]. Montmorillonite dapat mengadsorpsi logam berat melalui (1) pertukaran ion dengan adanya interaksi antara muatan positif pada kation dengan muatan negatif pada bagian *interlayer* Montmorillonite seperti pada Gambar 8, serta (2) pembentukan kompleks dengan gugus Si-O dan Al-O [22]. Kemampuan pertukaran kation pada kedua material tersebut dikenal *cation exchange capacity* (CEC). Diperkirakan montmorillonite memiliki CEC yang lebih rendah daripada alginate.

Kesimpulan

Film alginat dan komposit film alginat/montmorillonite berhasil diaplikasikan untuk menurunkan konsentrasi tembaga secara adsorptif dari dalam air. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui kecepatan pengocokan, massa adsorben, morfologi adsorben, serta penambahan campuran montmorillonite dalam film alginat berpengaruh terhadap kinerja adsorpsi tembaga. Kinerja adsorpsi terbaik didapatkan oleh adsorben A-F-2% dengan kecepatan pengocokan 150 rpm, dengan persentase pengurangan konsentrasi tembaga dari dalam air sebesar 96.45% setelah tercapainya kesetimbangan (60 menit). Adsorben film alginat juga memiliki kecocokan terhadap model isotherm Freundlich dan Langmuir, dengan nilai $R^2 > 99.99\%$ untuk kedua model yang diregresikan secara linear.

Daftar Pustaka

- [1] Genevaux, C., Mateus, A., Jalle, C. E., Allely, D., & Dussaux, V. (2018). The sustainable development goals for water and sanitation services: Interpreting the targets and indicators. *Programme Solidarité EAU* pp, 1-55.
- [2] Qodriyatun, S. N. (2015). *Penyediaan air bersih di Indonesia: Peran pemerintah, pemerintah daerah, swasta, dan masyarakat*. P3DI Setjen DPR RI.
- [3] Supraptini, S. (2002). Pengaruh limbah industri terhadap lingkungan di Indonesia. *Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan*, 12(2), 10-19.
- [4] Susanti, D., Iqbal, M., Silaban, R., & Tarigan, I. L. (2021). Pemanfaatan kitosan cangkang bekicot sebagai adsorben logam tembaga (Cu). *Jurnal Khazanah Intelektual*, 5(2), 1128-1141.
- [5] Haryanto, B., Sinaga, W. K., & Saragih, F. T. (2019). Kajian model interaksi pada adsorpsi logam berat kadmium (Cd^{2+}) dengan menggunakan adsorben dari pasir hitam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), 79-84.
- [6] Kautsari, N., Damar, A., & Santoso, J. (2013). Potency and characteristics natrium alginate of padina australis from different location in Sumbawa. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana. Insititut Pertanian Bogor.
- [7] Yantiana, I., Amalia, V., & Fitriyani, R. (2018). Adsorpsi ion logam timbal (II) menggunakan mikrokapsul Ca-alginat. *Al-Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 5(1), 17-26.
- [8] Suhada, F. A., & Alfiah, T. (2019, September). Perbandingan kemampuan *Sargassum* sp. dan alginat sebagai adsorben logam Cu dengan variasi pH. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 1, No. 1, pp. 85-90).
- [9] Pratiwi, S. W., Triastuti, A., Nurmalasari, R., & Pinarti, I. (2020). Optimasi pembuatan mikrokapsul kalsium-alginat-EDTA sebagai adsorben untuk logam kadmium. *Jurnal Pijar Mipa*, 15(4), 384-391.
- [10] Fisli, A., Sumardjo, S., & Mujinem, M. (2019). Isolasi dan karakterisasi montmorillonite dari bentonit Sukabumi (Indonesia). *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 10(1), 12-17.
- [11] Cessar, M. R., Syukurdi, M., Jakfar, J., & Hisbullah, H. (2021). Pembuatan bentonit terpillar Al dari bentonit alam blang karing untuk peningkatan daya serap ion logam berat Pb Ddn Cd. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, 2(1), 6-14.
- [12] Bath, D. S., Siregar, J. M., & Lubis, M. T. (2012). Penggunaan tanah bentonit sebagai adsorben logam Cu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1), 1-4.
- [13] Pratama, B. S., Hambali, E., Yani, M., & Matsue, N. (2021). Kinetic and isotherm studies of Cu (II) adsorption by beads and film of alginate/zeolite 4A composites. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 749, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- [14] Larosa, C., Salerno, M., de Lima, J. S., Meri, R. M., da Silva, M. F., de Carvalho, L. B., & Converti, A. (2018). Characterisation of bare and tannase-loaded calcium alginate beads by microscopic, thermogravimetric, FTIR and XRD analyses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115(1), 900-906.
- [15] Xiao, Q., Gu, X., & Tan, S. (2014). Drying process of sodium alginate films studied by two-dimensional correlation ATR-FTIR spectroscopy. *Food Chemistry*, 164(1), 179-184.
- [16] Sakugawa, K., Ikeda, A., Takemura, A., & Ono, H. (2004). Simplified method for estimation of composition of alginates by

- FTIR. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1372-1377.
- [17] Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390(1), 122156.
- [18] Murithi, G., Onindo, C. O., & Muthakia, G. K. (2012). Kinetic and equilibrium study for the sorption of Pb (II) ions from aqueous phase by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 26(2), 181-193.
- [19] Santhi, T., Manonmani, S., & Smitha, T. (2010). Removal of methyl red from aqueous solution by activated carbon prepared from the *Annona squamosa* seed by adsorption. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 14(1), 11-18.
- [20] Simpliciano, C., Clark, L., Asi, B., Chu, N., Mercado, M., Diaz, S., & Mobed-Miremadi, M. (2013). Cross-linked alginate film pore size determination using atomic force microscopy and validation using diffusivity determinations. *Journal of Surface Engineered Materials and Advance Technology*, 3(1), 1-12.
- [21] Deze, E. G., Papageorgiou, S. K., Favvas, E. P., & Katsaros, F. K. (2012). Porous alginate aerogel beads for effective and rapid heavy metal sorption from aqueous solutions: Effect of porosity in Cu²⁺ and Cd²⁺ ion sorption. *Chemical Engineering Journal*, 209(1), 537-546.
- [22] Gu, S., Kang, X., Wang, L., Lichtfouse, E., & Wang, C. (2019). Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 629-654.