

## Daya Jerap dan Efisiensi Adsorpsi Ion Tembaga Menggunakan Biosorben Serat Daun Nanas (*Ananas comosus*)

Nurfatihayati\*, Rozanna Sri Irianty, Yelmida A, Fina Gustiyana, Fani Gustiyani

Proram Studi D-III Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

### ARTICLE HISTORY

Received : 20-10-2023

Accepted : 21-11-2023

Published : 28-11-2023

### KEYWORDS

Adsorption

Biosorbent

Pineapple leaf

Effectiveness

Copper ion

\*correspondence author:

Email: [nurfatihayati@lecturer.unri.ac.id](mailto:nurfatihayati@lecturer.unri.ac.id)



### ABSTRACT

One of the essential heavy metals that living things require in small amounts is the copper ion ( $\text{Cu}^{2+}$ ). However, the presence of dissolved copper metal is toxic to organisms and can pollute the environment if it exceeds a predetermined threshold value. Pineapple leaf waste with high cellulose content can be used as a copper ion biosorbent. This research studied the effect of pineapple leaf fiber particle size and contact time at the adsorption of copper ions on the adsorption capacity and effectiveness of pineapple leaf fiber biosorbents in adsorbing copper ions. The research began with cleaning, drying, and grinding pineapple leaves. Then, the activation process was carried out for 70 minutes using 9% NaOH. The adsorption process of copper ions was carried out using 1 g of pineapple leaf fiber biosorbent based on the varying sizes of the biosorbent particles size of the biosorbent -40/+60; -60/+80; and -80/+100 mesh and contact time 30; 60; 90; and 120 minutes at a stirring speed of 90 rpm and a concentration of 10 ppm copper ion adsorbate to measure the remaining copper ions in solution after the adsorption process. The activated pineapple leaf fiber biosorbent has a water content of 14.3%; 12.4%; and 11.2% for each biosorbent particle size -40/+60; -60/+80; and -80/+100 meshes. The highest adsorption effectiveness was 94.93%, which occurred at a contact time of 90 minutes with a biosorbent particle size of -80/+100 mesh and an adsorption value of 0.94 mg/g.

## 1. PENDAHULUAN

Logam tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang termasuk dalam kelompok limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Logam Cu dapat mencemari perairan, tanah, dan udara. Sumber logam Cu di lingkungan pada umumnya berasal dari kegiatan industri, rumah tangga, pembakaran, dan mobilitas bahan-bahan bakar. Logam Cu dapat masuk ke perairan secara alami, seperti peristiwa erosi, pengikisan batuan, atau dari atmosfer yang terbawa turun oleh air hujan. Selain itu, kegiatan industri galangan kapal, kegiatan di pelabuhan, penambangan Cu, juga dapat meningkatkan kelarutan Cu dalam perairan (Palar, 1994). Logam Cu banyak ditemukan dalam air limbah industri pelapisan logam, industri cat, industri kawat, dan industri pabrikasi papan sirkuit. Umumnya logam Cu dalam bentuk ion  $\text{Cu}^{2+}$  termasuk dalam logam berat esensial karena masih dibutuhkan oleh organisme hidup darat dan air dalam jumlah sedikit dan akan bersifat toksik jika berada dalam jumlah yang berlebihan (Said, 2010; Cahyani dkk, 2012). Nilai ambang batas logam terlarut tembaga untuk biota laut adalah 0,008 mg/L (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2004) dan untuk air minum adalah 1,0 mg/L (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2010).

Penggunaan metode elektrokimia, ultrafiltrasi, resin penukar ion, koagulasi-flokulasi, dan presipitasi adalah beberapa opsi untuk mengurangi jumlah logam Cu dalam air limbah. Namun metode-metode ini menghasilkan lumpur yang beracun sehingga memerlukan pengolahan lagi sebelum dibuang ke lingkungan (Said, 2010; Wenten dkk, 2014; Setiawan dkk,

2018). Kelebihan metode elektrokimia adalah hemat biaya karena tidak menggunakan bahan kimia, lumpur yang dihasilkan sedikit, dan membutuhkan tempat yang kecil (Eskani dan de Carlo, 2007). Kelebihan metode koagulasi-flokulasi untuk pengolahan limbah logam berat adalah mudah dilakukan. Sedangkan kekurangannya adalah membutuhkan biaya yang besar dan menghasilkan lumpur yang banyak (Nofitasari dkk, 2013). Metode resin penukar ion menggunakan media, misalnya karbon aktif, yang dapat menyerap ion Cu. Kelemahan metode ini adalah hasil yang diperoleh maksimal. Metode presipitasi menggunakan hasil reaksi ion Cu dengan ion lainnya sampai terjadinya pengendapan. Metode ini tidak efisien karena membutuhkan larutan kimia yang sangat banyak (Satyaputra, 2010).

Metode lain yang lebih efektif dan efisien adalah biosorpsi. Hal ini dikarenakan pada metode biosorpsi menggunakan biosorben dari biomaterial yang murah dan dapat diregenerasi, serta memiliki efisiensi daya jerap ion logam berat yang tinggi. Pada metode biosorpsi terjadi ikatan pasif antara logam berat dengan biomassa tumbuhan atau mikroorganisme (Naimah dan Ermawati, 2011). Proses fermentasi bir menghasilkan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat digunakan sebagai adsorben logam Cu (II) (Khoirunnisa dan Senam, 2017; Setiawan dkk, 2018). Sebelumnya beberapa penelitian tentang pemanfaatan tumbuhan menjadi biosorben untuk mengadsorpsi logam berat telah dilakukan. Kulit kopi yang terxhantasi dapat digunakan sebagai biosorben logam Cu (II) dan Cr (VI) (Adriansyah dkk, 2018), biji wijen dapat mengurangi kadar logam Cd (II) (Cheraghi dkk, 2015), dan menggunakan kulit buah naga, rambutan, dan markisa untuk mengadsorpsi ion Cu (II) (Phuengpai dkk, 2021).

Daun nanas menjadi limbah karena tanaman nanas dibongkar setelah dua atau tiga kali panen. Daun nanas mengandung serat yang tinggi sehingga dapat juga dimanfaatkan sebagai biosorben yang ramah lingkungan dan ekonomis (Sari dan Sari, 2020). Daun nanas mempunyai kadar selulosa yang tinggi, yaitu 69,5% - 71,5% dan memiliki struktur rongga yang dapat menyerap ion logam berat (Hidayat, 2008). Semakin luas permukaan biosorben, maka semakin banyak zat yang teradsorpsi. Luas permukaan ini ditentukan oleh ukuran dan jumlah biosorben yang digunakan (Handayani, 2010). Biosorben daun nanas dapat digunakan untuk adsorpsi logam Fe (II) dan Cu (II) (Keon dkk, 2018; Mayangsari dkk, 2019; Setiawan dkk, 2019).

Pada penelitian ini dilakukan proses adsorpsi ion tembaga menggunakan biosorben dari serat daun nanas. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh ukuran partikel biosorben daun nanas dan waktu kontak terhadap daya jerap dan efektivitas adsorpsi logam ion  $\text{Cu}^{2+}$ . Variabel tetap penelitian ini adalah konsentrasi adsorbat (larutan  $\text{Cu}^{2+}$ ) 10 ppm, volume larutan 100 mL, kecepatan pengadukan 90 rpm, dan berat adsorben (daun nanas) 1 g. Sedangkan variabel tidak tetap penelitian ini adalah ukuran partikel daun nanas lolos ayakan 40 mesh tertahan 60 mesh (-40/+60), lolos ayakan 60 mesh tertahan 80 mesh (-60/+80), dan lolos ayakan 60 mesh tertahan 100 mesh (-80/+100) (Yuniwati, 2012), dan waktu kontak untuk proses adsorpsi selama 30, 60, 90, dan 120 menit.

## 2. METODE

### 2.1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hotplate stirrer* Thermo Scientific Tipe Cimarec SP (USA), kertas pH universal, ayakan, neraca analitik, blender elektrik, *beaker glass*, labu takar, *oven*, *stopwatch*, batang pengaduk, erlenmeyer, kertas saring, corong, dan seperangkat alat *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) Varian SpektrAA. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah daun nanas yang diperoleh dari Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Propinsi Riau, NaOH Merck (Jerman), CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O Merck (Jerman), dan *aquadest*.

### 2.2. Prosedur Penelitian

#### Preparasi dan Aktivasi Partikel Daun Nanas

Preparasi daun nanas diawali dengan pencucian daun nanas sebanyak 20 lembar menggunakan air agar daun benar-benar bersih dan bebas dari hama. Selanjutnya daun nanas dijemur selama lima hari di bawah sinar matahari sampai daun nanas benar-benar kering. Daun nanas yang telah kering ini dihaluskan menggunakan blender elektrik. Kemudian partikel daun nanas disaring menggunakan ayakan ukuran -40/+60, -60/+80, dan -80/+100 mesh dan diperoleh serat daun nanas.

Partikel serat daun nanas hasil penyaringan diaktivasi dengan cara direndam selama 70 menit dalam larutan NaOH 9% rasio 1:30. Setelah itu, kertas saring digunakan untuk memisahkan cairan dan padatan, lalu air dicuci hingga pH netral. Kemudian biosorben serat daun nanas dikeringkan hingga berat konstan dalam oven pada suhu 105 °C (Mayangsari dan Ulvi, 2021).

#### Pembuatan Larutan Induk Cu<sup>+2</sup> 10 ppm

Pada penelitian ini larutan induk Cu<sup>2+</sup> 10 ppm diperoleh dari larutan induk Cu<sup>2+</sup> 100 ppm. Menurut Badan Standardisasi Nasional (1991), larutan induk merupakan larutan standar (baku) yang dibuat dengan kadar tinggi dan digunakan untuk membuat larutan standar dengan kadar yang lebih rendah. Larutan induk Cu<sup>2+</sup> 100 ppm dibuat dengan mengemulsi 0,393 g CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dan *aquadest* dalam gelas beker lalu diaduk sampai campuran itu homogen. Setelah itu, *aquadest* ditambahkan ke volume larutan 1000 mL pada larutan campuran yang dituangkan ke dalam labu ukur. Untuk menjadikan larutan induk Cu<sup>2+</sup> 100 ppm menjadi 10 ppm maka diambil 100 mL larutan 100 ppm yang dimasukkan ke dalam labu ukur. Kemudian ditambah *aquadest* hingga volume 1000 mL, lalu kocok sampai homogen. Larutan induk Cu<sup>2+</sup> 10 ppm ini dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi larutan yang sebenarnya (Kusuma dkk, 2014).

#### Pembuatan Larutan Standar Ion Tembaga (Cu<sup>2+</sup>)

Larutan ion tembaga 10 ppm diencerkan untuk membuat larutan standar ion tembaga 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm menggunakan persamaan pengenceran berikut ini:

$$V_1 N_1 = V_2 N_2 \dots\dots\dots (1)$$

Untuk larutan ion tembaga 2 ppm:

$$V_1 (10 \text{ ppm}) = (100 \text{ mL}) (2 \text{ ppm})$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

Selanjutnya ditimbang 20 mL larutan 10 ppm dan dilarutkan dengan aquadest sebanyak 100 mL di dalam labu ukur. Kemudian larutan dikocok hingga homogen. Larutan dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi yang sebenarnya. Hal yang sama juga dilakukan untuk konsentrasi larutan standar ion tembaga 4, 6, 8, dan 10 ppm.

### Adsorpsi Ion Tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) menggunakan Biosorben Serat Daun Nanas

Larutan  $\text{Cu}^{2+}$  10 ppm sebanyak 100 mL ditambahkan biosorben serat daun nanas ukuran -40/60 mesh dan diaduk selama 30 menit pada suhu kamar dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 90 rpm. Setelah itu, kertas saring digunakan untuk memisahkan campuran. Kemudian dilakukan uji kadar filtrat ion  $\text{Cu}^{2+}$  menggunakan AAS (Mayangsari dan Ulvi, 2021). Prosedur yang sama dilakukan untuk variabel ukuran biosorben -40/+60, -60/+80, -80/+100 mesh dan waktu kontak 30, 60, 90, dan 120 menit.

### Penentuan Kadar Air Biosorben Serat Daun Nanas

Larutan  $\text{Cu}^{2+}$  10 ppm sebanyak 100 mL ditambahkan biosorben serat daun nanas ukuran -40/60 mesh dan diaduk selama 30 menit pada suhu kamar dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 90 rpm. Setelah itu, kertas saring digunakan untuk memisahkan campuran. Kemudian dilakukan uji kadar filtrat ion  $\text{Cu}^{2+}$  menggunakan AAS (Mayangsari dan Ulvi, 2021). Prosedur yang sama dilakukan untuk variabel ukuran adsorben -40/+60, -60/+80, -80/+100 mesh dan waktu kontak 30, 60, 90, dan 120 menit.

$$\text{Kadar air} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

$w_0$  = berat cawan kosong (g)

$w_1$  = berat cawan + sampel sebelum dimasukkan ke oven (g)

$w_2$  = berat cawan + sampel berat konstan setelah dimasukkan ke dalam oven (g)

### Penentuan Daya Jerap Biosorben Serat Daun Nanas

Daya jerap biosorben serat daun nanas terhadap ion tembaga dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$W = (C_0 - C_i) \times \frac{V}{m} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

$W$  = daya jerap daun nanas (mg/g)

$C_0$  = konsentrasi awal larutan (mg/L)

$C_i$  = konsentrasi akhir larutan (mg/L)

$m$  = massa biosorben (g)

$V$  = volume larutan (L)

## Penentuan Efektivitas Adsorpsi Ion Tembaga Menggunakan Biosorben Daun Nanas

Efektivitas adsorpsi ion tembaga menggunakan biosorben serat daun nanas dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

$$\text{Efektivitas} = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

$C_0$  = konsentrasi awal adsorbat dalam larutan (mg/L)

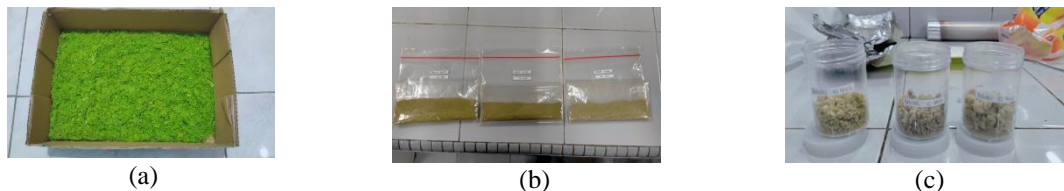
$C_i$  = konsentrasi akhir adsorbat setelah adsorpsi (mg/L)

$C_0$  merupakan konsentrasi adsorbat awal ion tembaga saat sebelum adsorpsi menggunakan AAS, sedangkan  $C_i$  merupakan konsentrasi adsorbat akhir ion tembaga setelah adsorpsi menggunakan AAS.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Karakteristik Biosorben Serat Daun Nanas

Hasil serat daun nanas setelah diblender, diayak, dan diaktivasi dapat dilihat pada Gambar 1. Kadar air dalam daun nanas sebelum dan setelah aktivasi dapat dilihat pada Tabel 1. Penurunan kandungan air setelah diaktivasi terjadi karena penggunaan aktivator dapat mengikat molekul air dan membuka pori-pori pada daun nanas sehingga kadar airnya menjadi berkurang. Semakin sedikit air yang tertahan, semakin rendah kadar airnya. Peningkatan luas permukaan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dan adsorben (Laos dan Arkilaus, 2016).



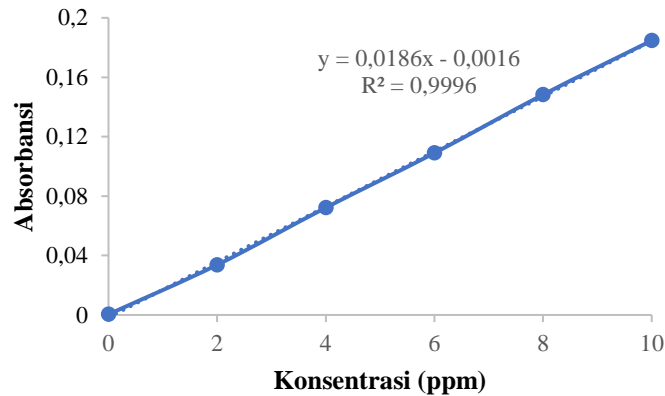
**Gambar 1.** Hasil Serat Daun Nanas: (a) Setelah Diblender, (b) Diayak -40/+60, -60/+80 dan 80/+100 Mesh, dan (c) Setelah Diaktivasi

**Tabel 1.** Kadar Air pada Serat Daun Nanas

Karakteristik	Ukuran Partikel (Mesh)	Kadar Air (%)
Sebelum Aktivasi	-	49,6
	-40/+60	14,3
Setelah Aktivasi	-60/+80	12,4
	-80/+100	11,2

#### 3.2. Kurva Larutan Standar

Larutan standar  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm diukur absorbansinya menggunakan AAS dengan panjang gelombang 324,7 nm. Selanjutnya dari data absorbansi yang diperoleh dibuat kurva standar. Kurva standar logam tembaga dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kurva Standar Larutan Standar Ion Tembaga

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai absorbansi juga meningkat sebanding dengan konsentrasi larutan tembaga. Koefisien korelasi kurva standar,  $R^2 = 0,9996$  adalah garis lurus. Nilai  $R^2$  ini mendekati 1 dan berarti pembuatan larutan standar mempunyai akurasi yang baik dan dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi ion tembaga.

### 3.3. Hasil Analisis AAS Adsorpsi Ion Tembaga

Hasil analisis AAS adsorpsi ion tembaga menggunakan biosorben serat daun nanas dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Analisis AAS Adsorpsi Ion Tembaga Menggunakan Biosorben Serat Daun Nanas

Ukuran partikel (mesh)	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi adsorbat awal (ppm)	Konsentrasi adsorbat akhir (ppm)
-40/+60	30	9,85	1,347
	60	9,85	1,212
	90	9,85	1,051
	120	9,85	1,057
-60/+80	30	9,85	1,165
	60	9,85	1,007
	90	9,85	0,838
	120	9,85	0,854
-80/+100	30	9,85	0,740
	60	9,85	0,667
	90	9,85	0,499
	120	9,85	0,538

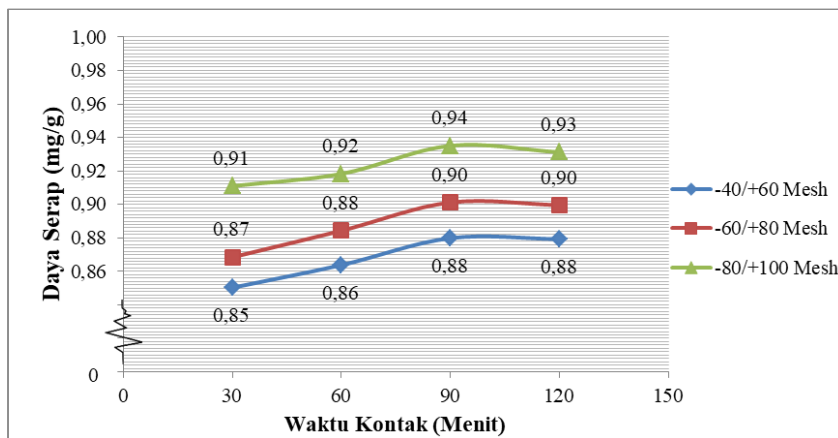
Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa biosorben serat daun nanas dapat mengadsorpsi larutan tembaga. Penurunan konsentrasi tembaga terlarut tertinggi terjadi pada waktu kontak 90 menit untuk ukuran partikel biosorben +80/-100 mesh dari 9,85 ppm menjadi 0,499 ppm.

### 3.4. Daya Jerap Biosorben Serat Daun Nanas

Daya jerap menunjukkan jumlah adsorbat yang terakumulasi pada permukaan biosorben daun nanas sehingga terjadi pengurangan jumlah adsorbat dalam larutan. Gambar 3 menggambarkan hubungan antara kapasitas adsorpsi biosorben serat daun nanas dengan waktu kontak dan ukuran partikel.

Gambar 3 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi ion tembaga dapat ditingkatkan dengan meningkatkan waktu kontak antara biosorben serat daun nanas dan ion  $\text{Cu}^{2+}$ . Sedangkan biosorben menyerap lebih banyak ion  $\text{Cu}^{2+}$  maka semakin kecil ukuran partikelnya. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran partikel biosorben dapat memperluas permukaan dan sejumlah besar partikel adsorbat dapat diserap dengan meningkatkan jumlah komponen aktif (Setiaka dkk, 2010; Sukir, 2008).

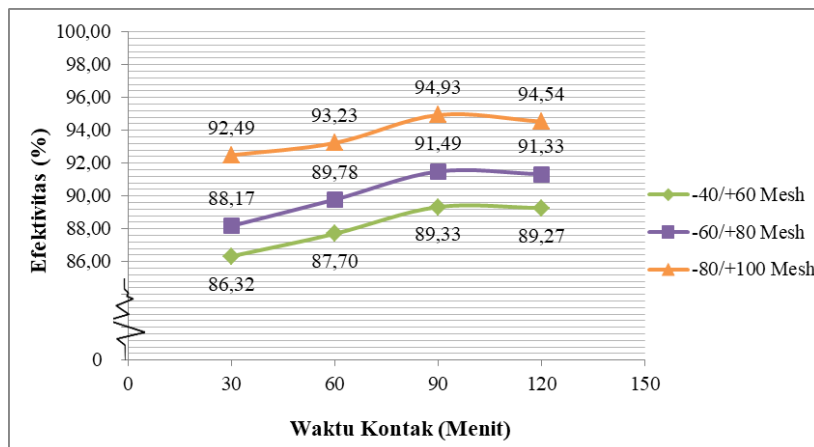
Berdasarkan Gambar 3, jumlah waktu optimal terjadi pada waktu 90 menit dan ukuran partikel biosorban -80/+100 mesh dengan daya jerap 0,94 mg/g. Daya adsorpsi menurun setelah 120 menit kontak menjadi 0,93 mg/g. Hal ini karena pada waktu 120 menit terjadi proses desorpsi, dimana permukaan biosorben telah jenuh sehingga laju adsorpsi semakin berkurang dan daya jerapnya menurun (Handayani, 2010).



**Gambar 3.** Kurva Hubungan Waktu Kontak dan Ukuran Partikel terhadap Daya Jerap Biosorben Serat Daun Nanas

### 3.5. Efektivitas Biosorben Serat Daun Nanas pada Adsorpsi Ion Tembaga

Efektivitas biosorben adalah kemampuan biosorben dalam menyerap suatu ion. Hubungan antara waktu kontak dan ukuran partikel biosorben terhadap efektivitas biosorben serat daun nanas terlihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Hubungan Waktu Kontak dan Ukuran Partikel dengan Efektivitas Biosorben Serat Daun Nanas

Gambar 4 menunjukkan bahwa biosorben serat daun nanas bekerja lebih baik setelah dikontakkan selama 30, 60, dan 90 menit. Semakin banyaknya komponen fluida yang bergerak menuju permukaan biosorben menunjukkan efisiensi adsorpsinya. Pada permukaan biosorben dan fluida, gaya tarik-menarik antar molekul menyebabkan komponen-komponen ini terpisah. Ion tembaga akan teradsorpsi pada permukaan biosorben jika gaya tarik menarik antara keduanya dan biosorben daun nanas lebih besar daripada gaya tarik menarik antara keduanya dan pelarut.

Efektivitas adsorpsi ion tembaga pada waktu kontak 90 menit dan ukuran partikel lolos ayakan -80/100 mesh sebesar 94,93%. Peningkatan efektivitas adsorpsi terjadi seiring semakin lamanya waktu kontak. Waktu kontak adsorpsi yang lama mengakibatkan frekuensi tumbukan antara biosorben dengan partikel adsorbat semakin besar (Linda, 2011). Pada waktu kontak 120 menit terjadi penurunan efektivitas adsorpsi menjadi 94,54%. Hal ini karena gugus -OH berinteraksi dengan lebih banyak logam. Sebaliknya, proses adsorpsi telah mencapai titik jenuhnya pada waktu kontak 90 menit (Mayangsari dkk, 2019).

#### 4. KESIMPULAN

Serat daun nanas dapat dimanfaatkan sebagai biosorben ion tembaga. Waktu kontak dan ukuran partikel biosorben serat daun nanas berpengaruh terhadap daya jerap biosorben dengan nilai terbaik 0,94 mg/g dengan ukuran partikel biosorben -80/+100 mesh pada waktu 90 menit, artinya ion tembaga lebih efektif diserap oleh biosorben dengan ukuran partikel yang lebih kecil. Waktu kontak dan ukuran partikel juga mempengaruhi efektivitas biosorben serat daun nanas dengan efektivitas terbaik 94,93% pada waktu 90 menit dengan ukuran partikel biosorben -80/+100 mesh, artinya semakin banyak ion tembaga yang terjerap di dalam pori-pori biosorben maka efektivitas semakin meningkat seiring bertambahnya waktu adsorpsi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, R., Restiasih, E.N., & Meileza, N. (2018). Biosorpsi Ion Logam Berat Cu (II) dan Cr (VI) Menggunakan Biosorben Kulit Kopi Terxhantasi., *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(2), 114-121. <https://doi.org/10.33369/atp.v2i2.7478>
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). Metode pengujian atom dalam air dengan alat spektrofotometer serapan atom. SNI 06-2428-1991.
- Cahyani, M.D., Azizah, R., & Yulianto, B. (2012). Studi Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Air, Sedimen, dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Sungai Sayung dan Sungai Gonjol, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 1(2), 73-79.
- Cheraghi, E., Ameri, E., & Moheb, A. (2015). Adsorption of Cadmium Ions from Aqueous Solutions Using Sesame as a Low-Cost Biosorbent: Kinetics and Equilibrium Studies. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(8), 2579-2592.
- Eskani, I.N., & de Carlo, I. (2007). Pengolahan Limbah Cair Industri Tembaga. *Majalah Ilmiah: Dinamika Kerajinan dan Batik*, 24, 10-16.
- Handayani, A.W. (2010). Penggunaan Selulosa Daun Nenas sebagai Adsorben Logam Berat Cd (II). *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.



- Hidayat, P. (2008). Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil. *Teknoin*, 13(5), 31-35.
- Keon, D.Y., Yulianti, I.M., & Jati, W.N. (2018). Kemampuan Selulosa Daun Mahkota Nanas (*Ananas comosus*) sebagai Biosorben Logam Tembaga (Cu). *Biota*, 3(2), 70-78. <https://doi.org/10.24002/biota.v3i2.1895>
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Nomor 51 Tahun 2004. Baku Mutu Air Laut.
- Khoirunnisa, A., & Senam, S. (2017). Pengaruh Interfensi Ion Cadmium ( $Cd^{2+}$ ) terhadap Biosorpsi Ion Timbal ( $Pb^{2+}$ ) oleh Sel Ragi *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Kimia Dasar*, 6(2): 53-58.
- Kusuma, G.D.P., Made, W., & Gusti, L.W. (2014). Isoterm Adsorpsi  $Cu^{2+}$  oleh Biomassa Rumput Laut *Eucheuma spinosum*. *e-Journal Kimia Visvitalis Universitas Pendidikan Ganesha*, 2(1): 1-8.
- Laos, L.E., & Arkilaus, S. (2016). Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 1(1): 32-36.
- Linda, A. (2011). Pemanfaatan Rumput Laut *Sargassum sp* sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Rumah Tangga Perikanan. *Skripsi.*, Departemen Teknologi Hasil Perairan, Institut Pertanian Bogor.
- Mayangsari, N.E., & Ulvi, P.A. (2021). Model Kinetika Adsorpsi Logam Berat  $Cu^{2+}$  menggunakan Selulosa Daun Nanas. *Jurnal Chemurgy*, 5(1), 15-21.
- Mayangsari, N.E., Apriani, M., & Veptiyan, E.D. (2019). Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus*) sebagai Adsorben Logam Berat Cu. *Journal of Research and Technology*, 5(2), 129-138.
- Naimah, S., & Ermawati, R. (2011). Biosorpsi Logam Berat Cr (VI) dari Limbah Industri Pelapisan Logam Menggunakan Biomassa *Saccharomyces cerevisiae* dari Hasil Samping Fermentasi Bir. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 33(1), 113-117. <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v33i1.1837>
- Nofitasari, R., Samudro, G., & Junaidi. (2013). Studi Penurunan Konsentrasi Nikel dan Tembaga pada Limbah Cair Elektroplating dengan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(2), 1-8.
- Palar, H. (1994). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2010). Nomor: 492/MENKES/PER/IV/2010, Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Phuengpai, P., Singjanusong, T., Kheangkhun, N., & Wattanakornsiri, A. (2021). Removal of Copper (II) from Aqueous Solution Using Chemically Modified Fruit Peels as Efficient Low-Cost Biosorbents. *Water Science and Engineering*, 14(4), 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2021.08.003>
- Said, N.I. (2010). Metode Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) di dalam Air Limbah Industri. *Jurnal Air Indonesia*, 6(2), 136-148.
- Sari, D.K., & Sari, M.I. (2020). Karakteristik Karbon Aktif dari Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus*) dengan Aktivator  $H_3PO_4$  sebagai Aktivator. *Jurnal Teknik Patra Akademika*. 12(1), 51-56.
- Setiaka, J., Ita, U., & Nurul, W. (2010). Adsorpsi Ion Logam Cu (II) dalam Larutan pada Abu Dasar Batu Bara Menggunakan Metode Kolom. *Prosiding Skripsi Semester Genap 2010/2011.*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Setiawan, A., Afiuddin, A.E., Aini, Q., & Dewi, T.A. (2018). *Recovery* Koagulan dari *Sludge* WWTP Pembangkit Listrik Tenaga Uap sebagai Alternatif Pengolahan Air Limbah secara Kimia. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 12(2), 126-138.

- Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. (2019). Biosorpsi Logam Berat Cu (II) Menggunakan Limbah *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Presipitasi*, *16(1)*: 29-35. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i1.29-35>
- Sukir. (2008). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Sekam Padi. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung.
- Satyaputra, D.I. (2010). Pengolahan Limbah Cair Tembaga dengan Memanfaatkan Adsorben Zeolit Alam yang Terimpregnasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains*. Universitas Kristen Satya Wacana.
- Wenten, I.G., Aryanti., & Khoiruddin. (2014). Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah. *Diktat Teknik Kimia*, Institut Teknologi Bandung.
- Yuniwati, M. (2012). Produksi Minyak Biji Kapuk dalam Usaha Pemanfaatan Biji Kapuk sebagai Sumber Bahan Nabati. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, *4(2)*, 203-211.