

## Kapasitas Adsorpsi dan Efektivitas Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) untuk Mengadsorpsi Ion Logam Tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ )

Nurfatihayati<sup>a\*</sup>, Rozanna Sri Irianty<sup>a</sup>, Winarno<sup>b</sup>, Oktavia Dewa Yani<sup>a</sup>,  
Cory Dian Al'farisi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi D-III Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>b</sup>PT Sari Dumai Oleo (Apical Group), Kota Dumai 28826, Indonesia

### ARTICLE HISTORY

Received : 07-03-2025

Accepted : 21-03-2025

Published : 24-03-2025

### KEYWORDS

Activated carbon

Adsorption capacity

Copper ion metal

Effectiveness of adsorption

Palm fronds

\*correspondence author:

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



### ABSTRACT

Palm fronds waste have a carbon content of 81.25%, which is quite high, making them suitable for use as activated carbon adsorbents that are beneficial for anticipating or minimizing the occurrence of  $\text{Cu}^{2+}$  ion pollution in the environment. This research aims to analyze the effect of contact time and mass of palm fronds activated carbon adsorbent on the adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  ions, the adsorption capacity of the palm fronds activated carbon adsorbent, and the effectiveness of the palm fronds activated carbon adsorbent in adsorbing  $\text{Cu}^{2+}$  ions. The research stages began with preparing palm frond samples with a size of (-80/+100) mesh, which was then activated with  $\text{H}_3\text{PO}_4$  and 3M HCl for 24 hours. Based on the results, the best adsorbent characteristics used  $\text{H}_3\text{PO}_4$  as the activator. The adsorption process was carried out with mass variations (10, 15, 20) g, contact times of (30, 60, 90, 120) minutes with a stirring speed of 90 rpm, and an adsorbate concentration of copper ions ( $\text{Cu}^{2+}$ ) of 10 mg/L. The optimal adsorption capacity obtained with the  $\text{H}_3\text{PO}_4$  activator was at a contact time of 90 minutes with an adsorbent mass of 10 g, amounting to 0.965 mg/g. The highest adsorption effectiveness was found at a contact time of 90 minutes with an adsorbent amount of 20 g of palm frond activated carbon, which was 99.76%.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Pada tahun 2023, Indonesia memproduksi minyak kelapa sawit sebesar 47,08 juta ton yang dihasilkan dari areal perkebunan kelapa sawit seluas 15,93 juta hektar (Badan Pusat Statistik, 2024). Salah satu limbah biomassa perkebunan kelapa sawit yang banyak dihasilkan adalah pelepah kelapa sawit. Setiap pohon kelapa sawit dapat memiliki 22 batang pelepah dan dalam 1 hektar dapat menghasilkan 6,3 ton pelepah setiap tahunnya. Biasanya limbah pelepah kelapa sawit diletakkan di sekitar pohon sawit dan dibiarkan membusuk begitu saja tanpa ada perlakuan pengolahan lebih lanjut, atau dibakar agar dapat dimanfaatkan menjadi pupuk tanaman. Kandungan karbon yang tinggi sebesar 81,25% pada pelepah kelapa sawit menunjukkan potensi untuk pengolahan lebih lanjut sehingga hasil yang diperoleh memberi manfaat dengan aplikasi dan nilai ekonomi yang tinggi. Salah satu cara peningkatan manfaat pelepah kelapa sawit tersebut adalah dengan pengolahannya menjadi karbon aktif (Ridaldi dkk, 2021).

Karbon aktif adalah karbon padat berpori yang mengandung karbon sebanyak 80-95% dan efektif jika dapat mengadsorpsi lebih dari 80% ion (Damayanti dan Hermawan, 2021). Pembuatan karbon aktif terdiri dari 2 tahap, yaitu proses karbonisasi bahan baku dan proses aktivasi. Proses karbonisasi adalah proses pengurangan dengan keterbatasan oksigen dan bahan kimia lainnya sehingga terbentuk pori-pori pada karbon. Selanjutnya aktivasi karbon berfungsi

untuk memperbesar pori-pori karbon aktif sehingga dapat menyerap adsorben. Aktivasi dilakukan dengan cara penambahan larutan bahan-bahan pengaktif (aktivator) (Dewi dkk, 2020). Pada umumnya karbon aktif digunakan sebagai bahan pembersih, penyerap, filter, dan bahan pengemban katalisator. Sedangkan pada dunia industri, karbon aktif dapat dimanfaatkan untuk pemurnian gas, pembersih air, pengolahan limbah cair, mengadsorpsi bau, warna, gas, dan logam (Mentari dkk, 2018; Damayanti dan Hermawan, 2021).

Ion tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) merupakan salah satu logam berat yang termasuk dalam kelompok limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Logam tembaga (Cu) di lingkungan perairan umumnya berasal dari limbah industri pelapisan logam, industri cat, industri kawat, dan industri pabrikasi papan sirkuit. Logam Cu dalam bentuk ion  $\text{Cu}^{2+}$  termasuk logam esensial yang dibutuhkan oleh organisme hidup di darat dan air dalam jumlah sedikit dan bersifat toksik jika berada dalam jumlah yang berlebihan (Said, 2010; Cahyani dkk, 2012). Nilai ambang batas logam terlarut Cu 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).

Pemanfaatan limbah pelepah kelapa sawit sebagai karbon aktif untuk mengadsorpsi ion logam telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Assegaf dkk (2024) menggunakan adsorben dari limbah abu kelapa sawit untuk menurunkan kadar logam besi (Fe) pada air asam tambang. Adsorbat air asam tambang digunakan sebanyak 250 mL dengan waktu kontak selama 3 jam. Adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan massa adsorben dan pH. Hasil penelitian yang optimal diperoleh pada penggunaan adsorben sebanyak 10 g dengan nilai pH 7 (netral).

Karbon aktif dari limbah pelepah kelapa sawit digunakan oleh Andriansyah dkk (2023) sebagai adsorben ion logam Fe air sumur menggunakan aktivator asam fosfat. Karakteristik kadar air, kadar abu, dan daya serap terhadap larutan iodium karbon aktif pelepah kelapa sawit yang diperoleh sesuai SNI 06-3730-1995. Adsorben karbon aktif ini terbukti dapat menurunkan 0,3346 ppm kadar Fe pada air sumur menjadi 0,076 ppm. Ngang (2022) menggunakan adsorben dan adsorbat yang sama dan diperoleh kapasitas adsorpsi optimal sebesar 99,56% pada dosis adsorben sebanyak 5 g dan waktu kontak selama 30 menit.

Karbon aktif dari limbah pelepah kelapa sawit dapat juga berfungsi sebagai adsorben untuk penurunan kadar cadmium (Cd) dalam air. Sharah dkk (2024) menggunakan aktivator NaOH 10% dan proses pirolisis untuk mengolah limbah pelepah kelapa sawit menjadi karbon aktif. Karakterisasi karbon aktif yang dilakukan yaitu uji kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap, kadar karbon, dan daya serap methylene blue memenuhi syarat SNI 06-3730-1995. Waktu kontak optimum karbon aktif menyerap logam Cd adalah 30 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,134 mg/g dan efisiensi penyerapan sebesar 89,4%.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif dari limbah pelepah kelapa sawit menggunakan aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan HCl dan menganalisa karakteristik karbon aktif tersebut berdasarkan SNI 06-3730-1995. Selanjutnya menganalisis pengaruh massa adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit dan waktu kontak pada proses adsorpsi ion tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif. Kemudian menghitung nilai efektivitas adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit dalam menyerap ion  $\text{Cu}^{2+}$ .

## 2. METODE

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca analitik, oven, drum karbonisasi, lumpang, ayakan 80 dan 100 mesh, hot plate Thermo Scientific Tipe Cimarec SP (USA), magnetic stirrer, kertas saring, spatula, labu ukur, beaker glass, corong, cawan porselin, erlenmeyer, pipet tetes, furnace, dan seperangkat alat Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) Varian SpektrAA. Bahan yang digunakan adalah pelepah kelapa sawit,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  Merck (Jerman),  $\text{H}_3\text{PO}_4$  3M, HCl 3M, amilum 1%, larutan iodine 0,1N, natrium tiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,1N dan aquadest.

### 2.2 Prosedur Penelitian

#### 2.2.1 Preparasi dan karbonisasi pelepah kelapa sawit

Pelepah kelapa sawit dibersihkan dari daunnya dan dipotong kecil-kecil sebesar 3-5 cm. Kemudian sampel pelepah kelapa sawit dicuci sampai bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama lebih kurang 1 minggu (sampai benar-benar kering). Pelepah kelapa sawit yang telah kering ditimbang untuk memperoleh berat pelepah kelapa sawit awal yang nantinya akan digunakan sebagai data untuk menghitung rendemen ( $W_1$ ).

Selanjutnya proses karbonisasi pelepah kelapa sawit yang telah kering di dalam tong sampai terbentuk karbon. Karbon yang diperoleh didinginkan dan ditimbang untuk menghitung rendemen ( $W_2$ ). Kemudian karbon yang dihasilkan, dihaluskan dan diayak dengan ukuran partikel lolos 80 mesh tertahan 100 mesh (-80/+100). Selanjutnya karbon pelepah kelapa sawit siap diaktivasi (Amri dkk, 2016).

#### 2.2.2 Aktivasi karbon pelepah kelapa sawit

Aktivasi karbon pelepah kelapa sawit menggunakan 2 aktivator, yaitu larutan HCl 3M dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  3M. Prosedur aktivasi diawali dengan merendam 70 g karbon pelepah kelapa sawit dalam 350 mL larutan HCl 3M selama 24 jam pada beaker glass. Kemudian campuran tersebut disaring menggunakan kertas saring, dicuci dengan aquadest sampai pH netral (ditandai dengan pH larutan hasil cucian netral, pH = 7). Residunya diambil dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Karbon pelepah kelapa sawit yang telah diaktivasi diuji karakteristiknya, yaitu uji kadar air, kadar abu, dan daya serap iodine (Verayana dkk, 2018). Prosedur yang sama dilakukan menggunakan aktivator yang berbeda yaitu  $\text{H}_3\text{PO}_4$  3M. Karbon aktif yang mempunyai karakteristik terbaik digunakan sebagai adsorben.

## 1. Perhitungan rendemen karbon aktif

Menurut Sari dkk (2021), rendemen karbon aktif dapat dihitung dengan membandingkan antara berat bahan baku dengan berat karbon aktif menggunakan persamaan (1):

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$W_1$  = berat pelepah kelapa sawit yang digunakan (g)

$W_2$  = berat karbon yang diperoleh (g)

## 2. Uji kadar air karbon aktif pelepah kelapa sawit

Karbon aktif ditimbang sebanyak 1 g dan dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya. Cawan berisi sampel dikeringkan dalam *oven* selama 30 menit pada suhu 110°C. Kemudian cawan berisi sampel didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang massanya. Prosedur ini dilakukan berulang-ulang hingga massanya konstan (Verayana dkk, 2018). Kadar air dapat dihitung menggunakan persamaan (2):

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

Keterangan:

$w_0$  = berat cawan kosong (g)

$w_1$  = berat cawan + sampel sebelum dikeringkan (g)

$w_2$  = berat cawan + sampel setelah dikeringkan (g)

## 3. Uji kadar abu karbon aktif pelepah kelapa sawit

Karbon aktif sebanyak 1 g diletakkan dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya sebelum pengabuan. Cawan berisi sampel dipanaskan di dalam *furnace* pada suhu 800°C selama 2 jam. Setelah itu cawan berisi sampel didinginkan di dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang massanya (Verayana dkk, 2018). Kadar abu dihitung menggunakan persamaan (3):

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{w_2 - w_0}{w_1 - w_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

$w_0$  = berat cawan kosong (g)

$w_1$  = berat cawan + sampel sebelum pengabuan (g)

$w_2$  = berat cawan + sampel setelah pengabuan (g)

## 4. Uji daya serap iodine karbon aktif pelepah kelapa sawit

Karbon aktif sebanyak 0,5 g dicampur dengan 50 mL larutan iodine 0,1N ke dalam wadah tertutup, lalu dikocok selama 15 menit pada suhu kamar. Kemudian larutan disaring dan diambil filtratnya sebanyak 10 mL untuk dititrasi dengan larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1N hingga berwarna kuning muda. Lalu tambahkan larutan amilum 1% sebagai indikator dan titrasi Kembali sampai mendapatkan titik akhir warna biru tua hilang. Daya serap iodine dapat dihitung menggunakan persamaan (4):

$$\text{Daya serap iodine} = \frac{10 - \frac{V \times N (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{0,1} \times 12,69 \times 5}{a} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

V = volume larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  yang diperlukan (mL)

a = bobot karbon aktif (g)

12,69 = jumlah iodine sesuai 1 mL larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1N

N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  = normalitas larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (N)

### 2.2.3 Pembuatan larutan induk $\text{Cu}^{2+}$

Pembuatan larutan induk  $\text{Cu}^{2+}$  mengacu kepada prosedur yang telah dilakukan oleh Nurfatihayati dkk (2023). Larutan induk ion  $\text{Cu}^{2+}$  dengan konsentrasi 100 ppm dibuat dengan

menimbang padatan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 0,393 g dan masukkan ke dalam *beaker glass*. Kemudian tambahkan *aquadest* dan aduk hingga homogen. Larutan campuran dituang ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan *aquadest* sampai tanda batas, lalu dikocok hingga homogen. Untuk pembuatan larutan  $\text{Cu}^{2+}$  10 ppm dilakukan pengenceran dengan mengambil 100 mL larutan  $\text{Cu}^{2+}$  100 ppm dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Kemudian tambahkan *aquadest* hingga tanda batas, dan dikocok hingga homogen.

#### 2.2.4 Proses adsorpsi ion logam $\text{Cu}^{2+}$ menggunakan adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit

Proses adsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  mengacu pada prosedur yang dilakukan oleh Nurfatihayati dkk (2023). Sampel  $\text{Cu}^{2+}$  10 ppm (10 mg/L) disiapkan sebanyak 1000 mL, lalu tambahkan adsorben dengan variasi massa 10 g, 15 g, dan 20 g untuk setiap sampel. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 90 rpm selama 10 menit. Larutan didiamkan dengan variasi waktu kontak 30 menit, 60 menit, 50 menit, dan 120 menit pada suhu ruang. Setelah itu, larutan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat hasil penyaringan diuji kadar ion  $\text{Cu}^{2+}$  menggunakan AAS.

##### 1. Perhitungan kapasitas adsorpsi atau daya jerap adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit

Daya jerap adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit terhadap ion  $\text{Cu}^{2+}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (5):

$$W = (C_0 - C_i) \frac{V}{m} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

W = daya jerap adsorben (mg/g)

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

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

V = volume larutan (L)

m = massa adsorben (g)

##### 2. Efektivitas adsorpsi ion $\text{Cu}^{2+}$ menggunakan adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit

Efektivitas adsorpsi ion  $\text{Cu}^{2+}$  menggunakan adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit dapat dihitung menggunakan persamaan (6):

$$\text{Efektivitas adsorpsi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

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

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

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakterisasi karbon aktif pelepah kelapa sawit

Salah satu sifat karbon aktif yang mempengaruhi kualitas karbon aktif adalah kadar air. Tujuan penetapan kadar air untuk mengetahui seberapa banyak air yang dapat teruapkan agar

air yang terikat pada karbon aktif pelepah kelapa sawit tidak menutupi pori karbon aktif. Kadar air dalam karbon aktif dapat dipengaruhi oleh aktivator yang mengikatnya (Suherman dkk, 2021). Berdasarkan data pada Tabel 1, kadar air karbon aktif yang menggunakan aktivator  $H_3PO_4$  dan HCl memenuhi SNI 06-3730-1995. Hasil pengujian menunjukkan karbon teraktivasi oleh  $H_3PO_4$  memiliki kadar air yang lebih sedikit dibandingkan menggunakan aktivator HCl. Menurut Laos dkk (2016), semakin sedikit kadar air yang terkandung dalam karbon aktif akan menghasilkan pori yang semakin besar. Semakin besar pori-pori karbon aktif, maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah dan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif tersebut. Peningkatan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif dapat semakin meningkatkan kualitas karbon aktif tersebut.

**Tabel 1.** Karakteristik karbon aktif pelepah kelapa sawit menggunakan aktivator  $H_3PO_4$  dan HCl

| Karakteristik adsorben karbon aktif | Hasil yang diperoleh menggunakan aktivator: |         | Standar mutu (SNI 06-3730-1995) |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------|---------------------------------|
|                                     | $H_3PO_4$                                   | HCl     |                                 |
| Kadar air (%)                       | 3                                           | 4       | Max 15                          |
| Kadar abu (%)                       | 3,9                                         | 9,7     | Max 10                          |
| Daya serap iodine (mg/g)            | 757,593                                     | 588,816 | Min 750                         |

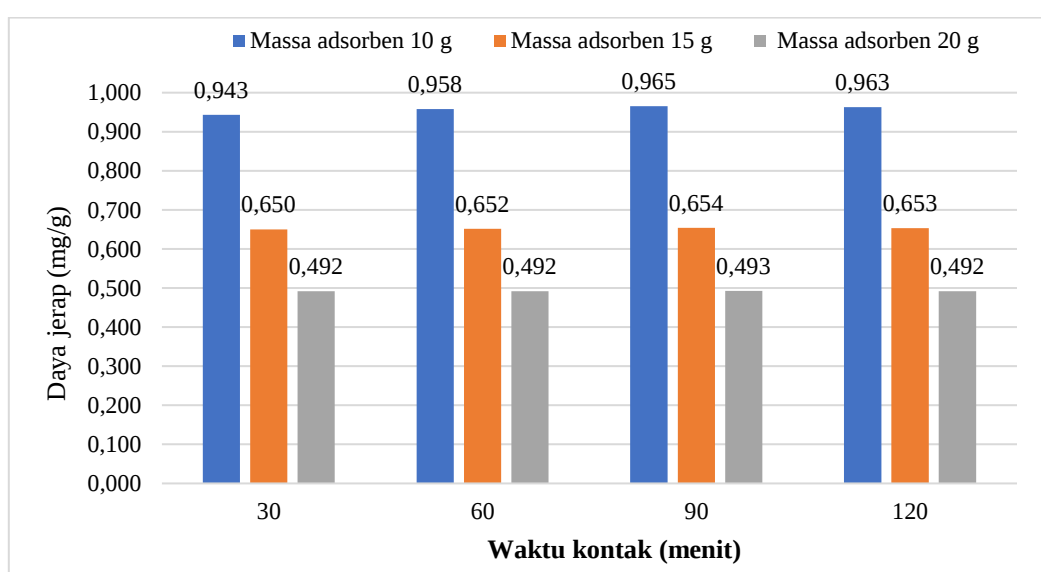
Data pada Tabel 1 juga menunjukkan hasil uji kadar abu karbon teraktivasi menggunakan  $H_3PO_4$  lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan HCl. Pada karbon aktif, kadar abu diupayakan sekecil mungkin karena dapat menurunkan kemampuan daya jerapnya, baik dalam bentuk gas maupun larutan. Kandungan abu dapat berupa kalsium, kalium, magnesium dan natrium yang dapat menutupi dan menghalangi pori-pori karbon aktif. Kadar abu meningkat karena terbentuknya garam-garam mineral pada saat proses pengarangan yang jika dilanjutkan akan membentuk partikel-partikel halus dari garam mineral tersebut (Laos dkk, 2016).

Selanjutnya, dilakukan uji daya serap iodine terhadap hasil karbon aktif. Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa karbon teraktivasi menggunakan  $H_3PO_4$  memenuhi SNI 06-3730-1995 dibandingkan karbon teraktivasi HCl. Daya serap karbon aktif terhadap iod mempunyai korelasi dengan luas permukaan karbon aktif. Semakin besar angka iod maka semakin besar kemampuannya dalam mengadsorpsi adsorbat atau zat terlarut. Peningkatan angka iod terjadi sebagai akibat semakin banyaknya pengotor yang terlepas dari permukaan karbon aktif (Laos dkk, 2016). Selain itu, rendahnya nilai iod terjadi karena masih adanya aktivator yang belum tercuci sempurna sehingga dapat menutupi pori-pori karbon aktif (Aryani dkk, 2019). Berdasarkan hasil uji karakteristik karbon aktif maka proses adsorpsi ion  $Cu^{2+}$  pada penelitian ini menggunakan karbon aktif yang menggunakan aktivator  $H_3PO_4$  karena memiliki kualitas lebih baik dibandingkan aktivator HCl.

### 3.2 Daya jerap adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit terhadap ion logam $Cu^{2+}$

Daya jerap karbon aktif merupakan kemampuan karbon aktif dalam menyerap adsorbat yang terakumulasi dalam permukaan adsorben sehingga adsorbat dalam larutan akan berkurang. Hubungan antara waktu kontak dan ukuran partikel terhadap efektivitas adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 1.

Data hasil yang ditampilkan oleh Gambar 1 menunjukkan bahwa waktu kontak dan massa adsorben berpengaruh terhadap kemampuan adsorben dalam menyerap ion logam  $\text{Cu}^{2+}$ . Pada proses adsorpsi, semakin lama waktu kontak adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit dengan adsorbat larutan ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  dapat meningkatkan daya jerap. Berdasarkan data penelitian ini dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan daya jerap adsorben pada waktu kontak 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Namun pada waktu 120 menit terjadi penurunan daya jerap adsorben. Pada waktu kontak 90 menit telah tercapai waktu kontak optimum untuk adsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  mencapai titik maksimalnya sehingga penambahan waktu kontak tidak akan berpengaruh secara signifikan terhadap pengurangan ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  dalam sampel atau terjadi desorpsi (Lestari, 2010). Desorpsi terjadi karena permukaan adsorben telah jenuh sehingga laju adsorpsi semakin berkurang dan terjadi penurunan daya jerapnya (Handayani, 2010).



**Gambar 1.** Hubungan waktu kontak dan massa adsorben terhadap daya jerap karbon aktif pelepah kelapa sawit

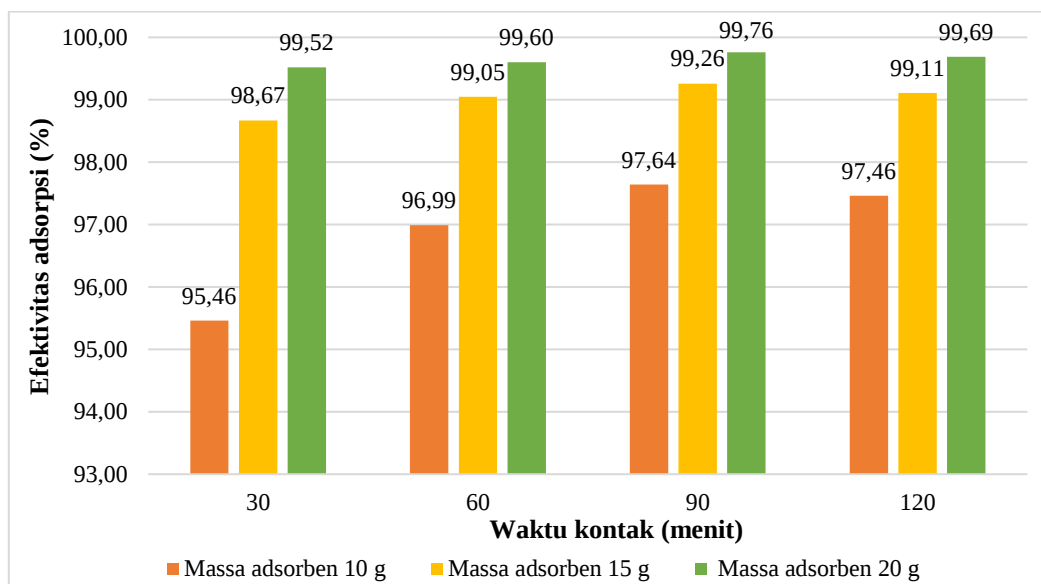
Gambar 1 juga menunjukkan bahwa penggunaan massa adsorben sebanyak 10 g pada waktu kontak 90 menit menghasilkan daya jerap optimum sebesar 0,965 mg/g. Pada jumlah adsorben dan waktu tersebut penurunan kadar ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  telah mencapai maksimal sehingga penambahan jumlah adsorben dan waktu kontak tidak mempengaruhi proses adsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$ .

### 3.3 Efektivitas adsorpsi ion logam $\text{Cu}^{2+}$ oleh karbon aktif pelepah kelapa sawit

Efektivitas adsorpsi logam dapat dianalisis dengan cara menghitung selisih penurunan berat kandungan logam awal dengan kandungan logam akhir per kandungan logam awal dalam mg/L (Larasati, 2015). Hubungan antara waktu kontak dan massa adsorben pelepah kelapa sawit terhadap efektivitas adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan bahwa hubungan antara massa adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit berbanding lurus dengan efektivitas adsorpsi, yaitu semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan maka efektivitas adsorpsi semakin tinggi. Nilai efektivitas adsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  terbaik diperoleh sebesar 99,76% pada penggunaan adsorben 20 g selama

dengan waktu kontak 90 menit. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Krisnawati dkk (2013) yang menyatakan bahwa penurunan konsentrasi ion logam terjadi dengan bertambahnya jumlah adsorben yang digunakan. Semakin banyak jumlah adsorben dapat memperluas penjerapan ion logam yang ada pada suatu larutan sehingga efektivitas adsorpsi pun semakin meningkat.



**Gambar 2.** Hubungan waktu kontak dan massa adsorben terhadap efektivitas adsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$

Selain jumlah adsorben, efektivitas adsorpsi juga dipengaruhi oleh waktu kontak antara adsorben dan adsorbat. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas adsorpsi semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu kontak 30, 60, dan 90 menit. Efektivitas adsorpsi tertinggi adalah 99,76% pada jumlah adsorben karbon aktif pelepah kelapa sawit 20 g dan waktu kontak 90 menit. Menurut Illah dkk (2020), semakin banyak jumlah adsorben maka semakin banyak ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  yang terikat pada permukaan adsorben tersebut. Sedangkan semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat dapat menyebabkan frekuensi tumbukan antara adsorben dengan partikel adsorbat semakin besar pula sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung optimal (Linda, 2011).

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pada penggunaan adsorben 20 g dengan waktu kontak 120 menit terjadi penurunan efektivitas adsorpsi menjadi 99,68%. Penelitian ini menghasilkan bahwa kondisi optimum proses adsorpsi terjadi pada waktu kontak 90 menit untuk penggunaan adsorben 10, 15, dan 20 g. Hal ini menunjukkan bahwa pada setelah waktu kontak 90 menit adsorben tidak bisa lagi menyerap ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  karena seluruh sisi aktif adsorben telah terisi penuh oleh adsorbat dan adsorben berada pada kondisi jenuh (Hajar dkk, 2016). Waktu kontak 90 menit adalah kondisi optimum proses adsorpsi yang menunjukkan proses adsorpsi telah mencapai kondisi maksimum hingga titik jenuhnya. Penambahan waktu kontak setelah 90 menit tidak memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap proses adsorpsi dan hanya akan menyebabkan terjadinya proses desorpsi yaitu ion akan lepas dari adsorben dan menyebabkan konsentrasi adsorbat meningkat

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pelepah kelapa sawit dapat disintesis menjadi karbon aktif menggunakan aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang memenuhi SNI 06-3730-1995. Massa adsorben dan waktu kontak secara eksperimental mempengaruhi kapasitas adsorpsi atau daya jerap karbon aktif pelepah kelapa sawit. Daya jerap karbon aktif optimum diperoleh sebesar 0,965 mg/g pada penggunaan adsorben 10 g dan waktu kontak 90 menit. Efektivitas adsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  tertinggi diperoleh sebesar 99,76% pada jumlah adsorben 20 g dan waktu kontak 90 menit. Penelitian dapat dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan uji karakterisasi material bahan baku pelepah kelapa sawit sebelum dan sesudah proses karbonisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan X-ray Diffractometry (XRD), serta pengukuran luas permukaan karbon aktif pelepah kelapa sawit menggunakan metode Brunauer-Emmett-Teller (BET) sehingga diperoleh kurva isoterm adsorpsi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah, R., Elwina., & Suryani. (2023). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Pelepah Kelapa Sawit (*Elaies guineensis* Jacq.) sebagai Media Penyerapan Ion Logam Fe Air Sumur Menggunakan Aktivator Asam Fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). *Jurnal Ristera (Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi dan Terapan)*, 1(2), 30-34.
- Aryani, F., Mardiana, F., & Wartomo. (2019). Aplikasi Metode Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia pada Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L). *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(2), 16-20
- Assegaf, M. H., Rosyani., & Alamsyah, R. (2024). Analisis Pemanfaatan Limbah Abu Kelapa Sawit sebagai Adsorben dalam Menurunkan Logam Besi (Fe) pada Air Asam Tambang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(2), 1327-1324.
- Badan Pusat Statistik. (2024). Statistik Kelapa Sawit Indonesia Volume 17. Katalog: 5504003. ISSN 1978-9947.
- Badan Standarisasi Nasional. (1995). SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis. Dewan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- 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.
- Damayanti, K. I., & Hermawan, R. (2021). Sintesis Arang Aktif dari Kulit Singkong sebagai Adsorben Ion Fe. *Jurnal Chemtech*, 7(1), 13-16.
- Devy, S. D., Miranda, V., Nugroho, W., Magdalena, H., & Hasan, H. (2024). Pemanfaatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa untuk Pemenuhan Baku Mutu Air Tanah untuk pH, Mn dan Fe di Muara Badak, Kutai Kertanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *ANDIL Mulawarman Journal of Community Engagement*, 1(2), 30-34.
- Dewi, R., Azhari., & Nofriadi, I. (2020). Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12-22.
- Hajar, E. W., Sitorus, R. S., Mulianintyas, N., & Welan, F. J. (2016). Efektivitas Adsorpsi Logam  $\text{Pb}^{2+}$  dan  $\text{Cd}^{2+}$  Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Konversi*, 5(1), 34-56.
- Handayani, A.W. (2010). Penggunaan Selulosa Daun Nenas sebagai Adsorben Logam Berat Cd (II). *Skripsi*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

- Illah, S., Fitri, M., Andes, I., Tyra, P., Anis, A., & Nastiti, S. I. (2020). Kinerja Karbon Aktif dari Kulit Singkong dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat pada Air Limbah Laundry. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2), 180-189.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Nomor 51 Tahun 2004. Baku Mutu Air Laut.
- Krisnawati., Jasinda, E., & Iriany, P. (2013). Penjerapan Logam Kadmium ( $\text{Cd}^{2+}$ ) dengan Adsorben Cangkang Telur Bebek yang Telah Diaktivasi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(3), 29-32.
- Laos, L. E., Masturi, M., & Yulianti, I. (2016). Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri. *Seminar Nasional Fisika*, Semarang.
- Linda, A. (2011). Pemanfaatan Rumput Laut *Sargassum sp* sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Rumah Tangga Perikanan. *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Mentari, V. A., Handika, G., & Seri, M. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat dan Asam Nitrat. *Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 16-20.
- Ngang, D. A. (2022). Efektivitas Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur. *Tugas Akhir*, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan.
- Nurfatihayati., Irianty, R. S., Azis, Y., Gustiyana, F., & Gustiyani, F. (2023). Daya Jerap dan Efisiensi Adsorpsi Ion Tembaga Menggunakan Biosorben Serat Daun Nanas (*Ananas comosus*). *Journal of Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering Science*, 4(2), 65-74.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2010). Nomor: 492/MENKES/PER/IV/2010, Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Ridaldy, E., Yulia, A., & Lisani. (2021). Pengaruh Pencampuran Pelepah Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) terhadap Mutu Briobriket. *Repository*, Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Jambi, Jambi.
- 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.
- Sharah, S., Adlim, M., & Rahmayani, R. F. I. (2024). Efektivitas Penggunaan Arang Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) terhadap Penurunan Kadar Logam Kadmium (Cd) dalam Air. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Jurusan Pendidikan Kimia*, 9(1), 9-17.
- Suherman., Hasanah, M., Ariandi, R., & Ilmi. (2021). Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Karakteristik dan Mikrostruktur Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 16(1): 1-9.
- Verayana., Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1): 67-75.