



**Chemical Engineering
Journal Storage (CEJS)**

home page journal:
<https://ojs.unimal.ac.id/cejs/index>

**Chemical
Engineering
Journal
Storage**

EFEKTIFITAS KULIT BUAH KOLANG KALING (*Arenga Pinnata*) SEBAGAI BIOSORBEN LOGAM BERAT (Cr^{6+}) DALAM LIMBAH ARTIFISIAL

Khanisya Ratu Asva D., Fikri Hasfita*, Meriatna, Novi Sylvia, Rozanna Dewi, Ferri Safriwardy

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
e-mail: fikri.hasfita@unimal.ac.id

Abstrak

Logam berat, seperti Cr^{6+} , merupakan unsur kimia dengan massa jenis $>5 \text{ g/cm}^3$ yang bersifat racun bagi manusia. Limbah Cr^{6+} yang dihasilkan industri berpotensi mencemari perairan. Salah satu metode untuk mengurangi kandungan logam berat hingga batas aman adalah biosorpsi, yang efektif, murah, dan cocok untuk konsentrasi kecil. Kulit buah kolang kaling (*Arenga pinnata*) digunakan sebagai biosorben karena mengandung gugus fungsi karboksil, amida, dan hidroksil, serta komponen kimia seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang mampu menyerap ion logam berat. Yaitu tahap persiapan serta perlakuan biosorben dan uji aktifitas terhadap logam Cr^{6+} . Proses berlangsung menggunakan biosorben non-aktivasi dan biosorben teraktivasi NaOH 0,04 M. Analisa meliputi uji karakteristik fisik dan kimia biosorben serta analisis pengaruh jumlah biosorben dan konsentrasi limbah terhadap efisiensi dan kapasitas penyerapan. Biosorpsi logam Cr^{6+} dianalisis menggunakan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Hasil penelitian menunjukkan kapasitas penyerapan terendah (0,191 mg/g) dicatat pada biosorben non-aktivasi dengan konsentrasi 20 ppm dan massa 10 gram, sedangkan efisiensi tertinggi (96,91%) dicapai pada konsentrasi 40 ppm. Untuk biosorben teraktivasi, efisiensi mencapai 97,81% pada konsentrasi 40 ppm. Hasil uji karakteristik menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan kandungan mineral CaO sebesar 79,2% setelah aktivasi. Uji Proksimate diperoleh kadar air 3,34%, kadar abu 6,265%, kadar volatile matter 13,905%, dan fixed carbon 76,49% kondisi ini menunjukkan biosorben limbah kulit buah aren memenuhi standar SNI sebagai media penyerap.

Kata Kunci: Aktivasi, Biosorben, Biosorpsi, Logam Berat Cr^{6+} dan Kulit Buah Kolang Kaling

DOI: <https://doi.org/10.29103/cejs.v5i2.20680>

1. Pendahuluan

Pencemaran logam berat menjadi permasalahan lingkungan yang serius, terutama akibat aktivitas industri yang terus meningkat. Ion logam berat, seperti

Cr^{6+} , sering kali dilepaskan ke perairan melalui kegiatan industri seperti pertambangan, galvanisasi, dan peleburan. Ion-ion ini mudah larut dalam air, sulit terurai, dan cenderung terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup, sehingga berdampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan (Rengga Pita dkk., 2019). Beberapa logam berat, seperti Cu, Fe, Zn, dan Mn, dianggap esensial bagi organisme hidup dalam jumlah tertentu, namun logam berat non-esensial, seperti Pb, Cr, Cd, dan Hg, memiliki sifat toksik jika terakumulasi secara berlebihan dalam tubuh.

Salah satu logam berat yang paling umum mencemari lingkungan adalah Cr^{6+} . Limbah Cr^{6+} berasal dari berbagai proses industri, seperti peleburan, penyepuhan emas, dan pelapisan logam. Untuk mengatasi pencemaran ini, berbagai metode telah digunakan, termasuk pengendapan, koagulasi, osmosis terbalik, pertukaran ion, filtrasi membran, dan evaporasi. Namun, metode ini sering kali mahal dan kurang efektif pada konsentrasi logam yang rendah. Sebagai alternatif, metode biosorpsi telah dikembangkan karena efektif, murah, dan sesuai untuk konsentrasi logam berat yang kecil (Anwar dkk., 2013).

Biosorpsi adalah proses adsorpsi menggunakan bahan biologis, yang dikenal sebagai biosorben. Bahan ini sering kali berasal dari limbah pertanian yang kaya akan gugus fungsi kimia, seperti -OH, -NH, -SH, dan -COOH, yang mampu mengikat ion logam melalui interaksi pertukaran ion atau pembentukan kompleks (Elfia, 2019). Kapasitas biosorben sangat dipengaruhi oleh kandungan organik dan gugus fungsi bermuatan negatif yang ada di permukaannya (Hasfita, 2012).

Kulit buah kolang kaling (*Arenga pinnata*) merupakan salah satu limbah pertanian yang potensial dijadikan biosorben. Kolang kaling tersebar luas di Indonesia dengan luas areal mencapai 103.693,39 hektar pada tahun 2021 dan produksi gula merah sebesar 61.800 ton (BPS, 2021). Sementara itu, kulit buah kolang kaling, yang biasanya hanya menjadi limbah, memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan. Kandungan kimia kulit buah kolang kaling, seperti selulosa (61,76%), hemiselulosa (71,78%), dan lignin (23,48%), serta adanya gugus fungsi karboksil, amida, dan hidroksil, membuatnya efektif dalam menyerap ion logam

berat (Zein dkk., 2019). Kulit buah kolang kaling juga mengandung tanin dan pektin, yang memiliki kemampuan membentuk kompleks dengan ion logam melalui pertukaran ion.

Proses biosorpsi menggunakan kulit buah kolang kaling dilakukan dalam sistem batch, di mana larutan yang mengandung ion logam dicampurkan dengan biosorben, diaduk, dan dipisahkan setelah waktu tertentu. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan keberhasilan berbagai limbah pertanian sebagai biosorben, seperti kulit lengkung (Kurniawati dkk., 2015), batang pisang kapok (Elfia, 2019), dan kulit langsung (Furqoni dkk., 2015). Dengan kandungan selulosa yang kaya akan gugus -OH, kulit buah aren diharapkan mampu meningkatkan nilai tambah sebagai biosorben untuk mengatasi pencemaran logam berat Cr^{6+} .

2. Bahan dan Metode

Pada penelitian ini bahan yang digunakan yaitu kulit buah kolang kaling yang sudah dibersihkan, dikeringkan, dan dipotong lalu dijemur dibawah sinar matahari, larutan NaOH 0,04M sebagai aktivator, larutan limbah artifisial yang mengandung logam Cr^{6+} . Sedangkan peralatan yang digunakan adalah Alu, Ayakan 100 mesh, Blender, Botol Sampel, Corong, Erlenmeyer, Gelas Ukur, Kertas pH, Kertas Saring, Labu Ukur, Necara Digital, Oven, Plastik Sampel, Shaker, Spatula, Toples Kaca, Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), dan alat X Ray Fluorescence (XRF).

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu persiapan bahan baku kulit buah kolang kaling yang telah dikumpulkan dipotong dan dicuci dengan air bersih, kemudian dijemur hingga kering. Setelah itu, kulit kering ditumbuk menggunakan alu untuk memecahnya menjadi bagian kecil, lalu di blender hingga menjadi serbuk halus. Serbuk ini disaring menggunakan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan tekstur yang lebih halus, kemudian dikeringkan kembali dengan oven pada suhu 105°C hingga konstan. Tahap akhir adalah pengujian karakterisasi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) untuk menganalisis kandungan unsur kimia dari serbuk kulit buah kolang kaling.

Sebanyak 200 gram serbuk kulit buah kolang kaling dicampur dengan larutan NaOH 0,04 M dan direndam selama 5 jam. Setelah itu, campuran disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan residu. Residu yang diperoleh dicuci dengan aquades hingga mencapai pH 7 untuk memastikan netralitasnya, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga benar-benar kering. Terakhir, serbuk dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk mengkarakterisasi unsur kimianya.

Biomassa kering kulit buah kolang kaling (100 *mesh*) dengan variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 gram dimasukkan ke dalam 100 mL limbah buatan berkonsentrasi 20, 40, 60, 80 dan 100 ppm di dalam erlenmeyer. Campuran dikocok menggunakan shaker selama 30 menit untuk memastikan kontak optimal antara biosorben dan ion Cr. Setelah itu, larutan dipisahkan menggunakan kertas saring untuk memperoleh residu dan filtrat. Residu dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk karakterisasi unsur kimia, sementara filtrat diuji dengan *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* untuk mengukur konsentrasi ion Cr yang tersisa. Kapasitas dan persen penyerapan biosorben dihitung, kemudian prosedur yang sama dilakukan pada biosorben digunakan rumus.

Kapasitas adsorpsi dihitung menggunakan persamaan:

$$q_e = \frac{V}{m} \times (C_o - C_e)$$

Keterangan:

q_e : Jumlah zat warna teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)

V: Volume larutan (L)

m: Massa adsorben (g)

C_o : Konsentrasi awal adsorbat (mg/L)

C_e : Konsentrasi akhir adsorbat (mg/L).

Larutan dianalisa persen penyerapan dengan persamaan:

$$\% \text{ Penyerapan} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\%$$

Keterangan:

C_o : Konsentrasi awal adsorbat (mg/L)

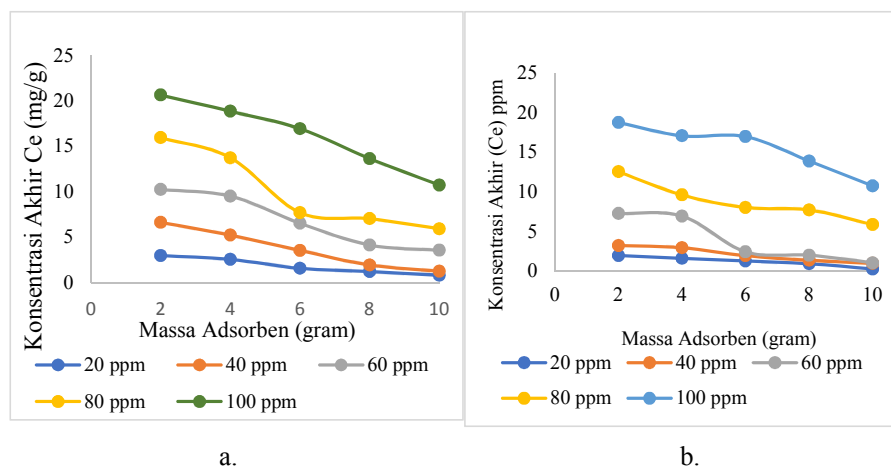
C_e : Konsentrasi akhir adsorbat (mg/L).

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Fakultas Teknik pada Bulan Oktober-November menggunakan metode analisis kimia kuantitatif & kualitatif. Penelitian ini bertujuan mengkaji efektivitas kulit buah kolang kaling sebagai biosorben dalam menyerap logam Cr^{6+} , dengan menganalisis pengaruh massa biosorben dan konsentrasi limbah terhadap kapasitas serta efisiensi penyerapan. Karakteristik biosorben dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk menentukan komposisi unsur, serta pengujian fisik meliputi kadar air, abu, volatile, dan fixed carbon. Kandungan logam diuji menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*. Proses dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan biosorben non-aktivasi dan aktivasi.

3.1 Pengaruh Massa Biosorpsi Terhadap Konsentrasi Akhir

Uji konsentrasi akhir logam menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pengaruh massa biosorben (gram) terhadap konsentrasi akhir (ce) ppm pada: (a) non aktivasi, (b) aktivasi

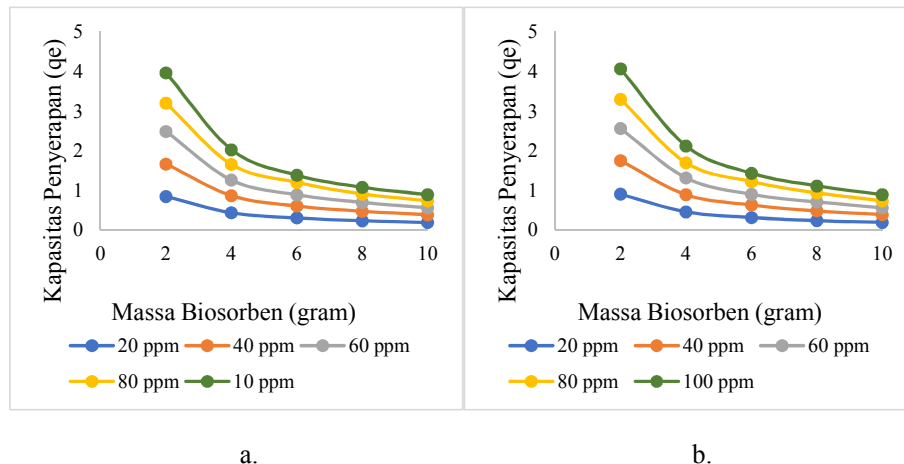
Peningkatan massa biosorben, baik non-aktivasi maupun teraktivasi, secara signifikan menurunkan konsentrasi akhir Cr^{6+} dalam larutan. Biosorben teraktivasi menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan biosorben non-

aktivasi. Pada biosorben non-aktivasi, konsentrasi akhir Cr^{6+} maksimum sebesar 20,64 ppm dan minimum 0,83 ppm, sementara pada biosorben teraktivasi masing-masing mencapai 18,64 ppm dan 0,53 ppm. Efisiensi biosorben teraktivasi diduga akibat peningkatan jumlah situs aktif melalui proses aktivasi, yang mempercepat interaksi antara biosorben dan molekul Cr^{6+} .

Hasil ini mendukung penelitian sebelumnya, seperti Herawati dkk (2023) dan Desrianti dkk (2022), yang menunjukkan bahwa peningkatan massa biosorben berbanding lurus dengan peningkatan luas permukaan dan jumlah situs aktif, sehingga mempercepat penyerapan polutan. Secara keseluruhan, biosorben teraktivasi memberikan hasil yang lebih optimal untuk pengolahan limbah mengandung logam berat Cr^{6+} .

3.2 Pengaruh Massa Biosorpsi Terhadap Kapasitas Penyerapan (Q_e)

Pengaruh massa biosorben dengan kaspasitas pemyerapan setelah biosorpsi dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengaruh massa biosorben (gram) terhadap kapasitas penyerapan (Q_e) pada: (a) non aktivasi , (b) aktivasi

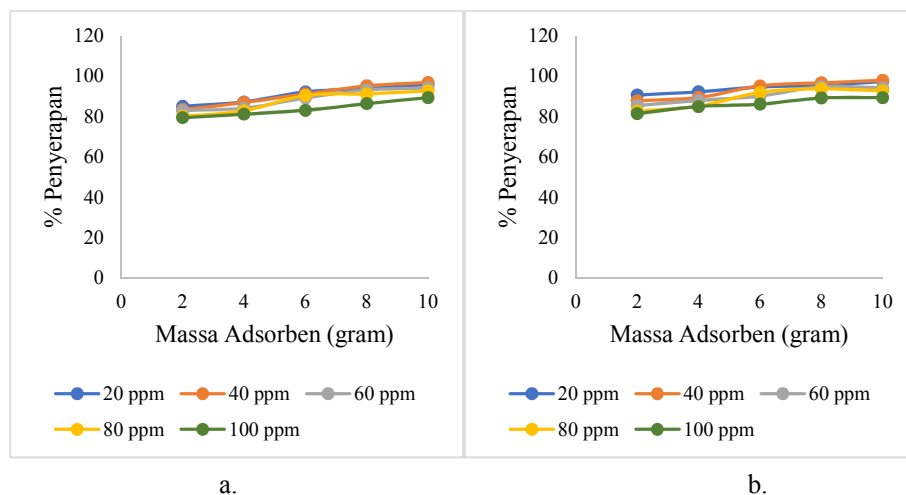
Kapasitas biosorpsi (Q_e) menurun seiring dengan peningkatan massa biosorben untuk semua konsentrasi larutan. Penurunan ini terjadi karena jumlah adsorbat dalam larutan tidak sebanding dengan peningkatan jumlah situs aktif dari massa biosorben yang lebih besar. Kapasitas biosorpsi tertinggi tercatat pada

Comment [A1]: huruf besar

konsentrasi 100 ppm dengan massa biosorben 2 gram, sebesar 3,96 mg/g untuk biosorben non-aktivasi, dan 4,06 mg/g untuk biosorben teraktivasi. Namun, pada massa biosorben 10 gram, kapasitas biosorpsi menurun menjadi 0,19 mg/g di kedua tipe biosorben. Biosorben teraktivasi menunjukkan kapasitas biosorpsi yang lebih tinggi secara keseluruhan karena peningkatan porositas dan area aktif akibat proses aktivasi. Penurunan kapasitas biosorpsi pada massa besar disebabkan oleh efek jenuh dan agregasi partikel biosorben, yang mengurangi efisiensi penyerapan. Fenomena ini konsisten dengan penelitian sebelumnya, seperti Zilda (2022) dan Octarya & Andriani (2019), yang menekankan pentingnya menentukan massa biosorben optimal untuk menghindari penurunan efisiensi akibat agregasi.

3.3 Pengaruh Massa Biosorpsi Terhadap Persen Penyerapan (%)

Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi proses biosorpsi adalah massa biosorben yang digunakan. Persentase penyerapan menyatakan kadar logam yang terserap oleh biosorben. Hasil pengaruh massa biosorben dengan konsentrasi akhir dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengaruh massa biosorben (gram) terhadap persen penyerapan pada: (a) non aktivasi , (b) aktivasi

Efisiensi penyerapan biosorben meningkat dengan bertambahnya massa biosorben, baik pada kondisi non-aktivasi maupun aktivasi. Pada kondisi non-

aktivasi, efisiensi penyerapan tertinggi tercatat sebesar 96,81% (konsentrasi 60 ppm, massa 10 g) dan terendah sebesar 79,35% (konsentrasi 100 ppm, massa 2 g). Pada kondisi aktivasi, efisiensi penyerapan lebih tinggi, dengan nilai tertinggi sebesar 96,61% (konsentrasi 40 ppm, massa 8 g) dan terendah sebesar 81,35% (konsentrasi 100 ppm, massa 2 g). Aktivasi biosorben meningkatkan area permukaan dan jumlah situs aktif, sehingga memperbaiki interaksi dengan molekul adsorbat.

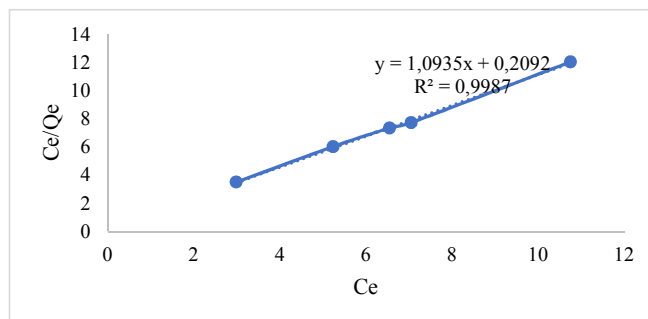
Penambahan massa biosorben meningkatkan jumlah partikel dan tempat pengikatan ion logam, tetapi pada massa tertentu, efisiensi menurun karena aglomerasi partikel yang membatasi aksesibilitas ke situs aktif. Fenomena ini menunjukkan pentingnya memahami karakteristik biosorben, seperti kapasitas biosorpsi maksimum dan batas jenuh, untuk mengoptimalkan proses biosorpsi logam berat dalam aplikasi seperti pengolahan limbah cair.

3.4 Isoterm Biosorpsi

Tipe isoterm Freundlich dan Langmuir biasanya digunakan untuk menunjukkan biosorpsi berlangsung secara fisik-kimia. Selanjutnya penyajian pola isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich membuat kurva korelasi C_e Vs C_e/q_e dan $\log C_e$ Vs $\log q_e$.

1. Isoterm Langmuir Logam Cr^{6+} dengan Biosorben Non Aktivasi

Penentuan isoterm biosorpsi yang sesuai dengan percobaan ini dapat dibuktikan melalui koefisien determinasi (R^2) yang ditunjukkan pada grafik linearisasi kedua model tersebut. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir untuk biosorben non-aktivasi dapat dilihat pada Gambar 3.4



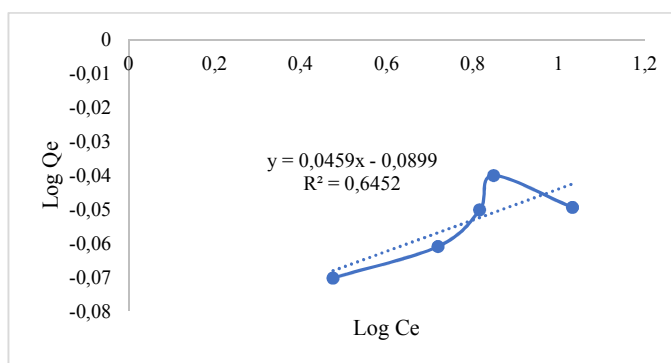
Gambar 3.4 Grafik Isoterm Langmuir

Kurva pola isotherm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 3.4 hubungan antara C_e/Q_e terhadap C_e dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Data Parameter Isothermal Langmuir pada Biosorben Non-Aktivasi

Persamaan	R^2	$1/q_m$	Q_m (mg/g)	$1/K_L.Q_m$	K_L (L/g)
$y = 1,0935x + 0,2092$	0,9987	0,2092	4,7801	1,0935	0,1913

2. Isoterm Freundlich Logam Cr^{6+} dengan Biosorben Non-Aktivasi



Gambar 3.5 Grafik Isoterm Freundlich

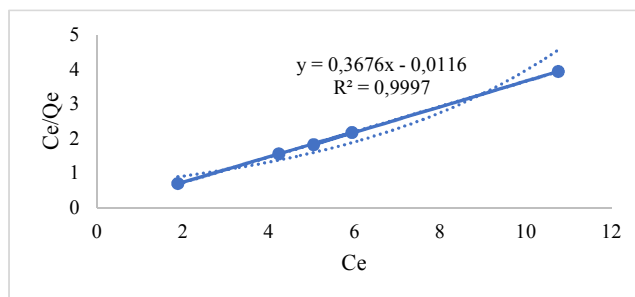
Sedangkan Gambar 3.5 merupakan kurva pola Hubungan antara Log Q_e dan Log C_e dibuat untuk menghasilkan isotherm Freundlich pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Data Parameter Isothermal Freundlich pada Biosorben Non-Aktivasi

Persamaan	R^2	$1/n$	n	Log K_f	K_f
$y = 0,0459x - 0,0899$	0,6452	0,0459	21,786	0,0899	1,2299

3. Isoterm Langmuir Logam Cr^{6+} dengan Biosorben Aktivasi

Kurva isotherm adsorpsi Langmuir untuk biosorben aktivasi dapat dilihat pada Gambar 3.6.



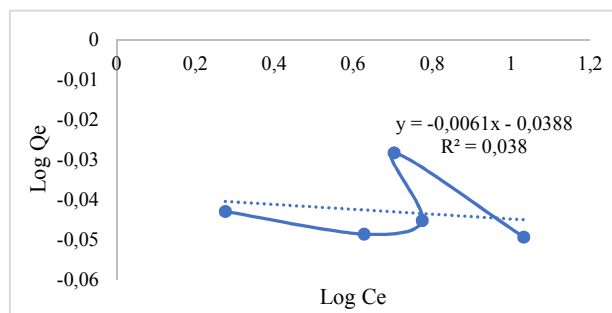
Gambar 3.6 Grafik Isoterm Langmuir

Kurva pola isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 3.6 hubungan antara C_e/Q_e terhadap C_e dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Data Parameter Isothermal Langmuir pada Biosorben Aktivasi

Persamaan	R^2	$1/q_m$	Q_m (mg/g)	$1/K_L.Q_m$	K_L (L/g)
$y = 0,3676x - 0,0116$	0,9997	0,0116	86,206	0,3676	0,0315

4. Isoterm Freundlich Logam Cr^{6+} dengan Biosorben Aktivasi



Gambar 3.7 Grafik Isoterm Freundlich

Sedangkan Gambar 3.7 merupakan kurva pola Hubungan antara $\log Q_e$ dan $\log C_e$ dibuat untuk menghasilkan isoterm Freundlich pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Parameter Isothermal Freundlich pada Biosorben Aktivasi

Persamaan	R^2	$1/n$	n	$\log K_f$	K_f
-----------	-------	-------	-----	------------	-------

$y = 0,0061x - 0,0388$	0,038	0,0061	163,93	0,0388	1,0934
------------------------	-------	--------	--------	--------	--------

Berdasarkan Gambar 3.4, Gambar 3.5, Gambar 3.6 dan Gambar 3.7, ditunjukkan bahwa grafik Persamaan Freundlich dan Langmuir tidak memiliki liniarisasi yang sama. Berdasarkan nilai linier yang didapat, ada bukti bahwa proses biosorpsi logam Cr^{6+} menggunakan biosorben kulit buah kolang kaling yang non-aktivasi dan aktivasi sesuai dengan model biosorpsi isothermal langmuir. Grafik linierisasi yang baik menunjukkan bahwa harga koefisien determinasi R^2 dekat dengan angka 1. Hal ini menyatakan bahwa sisi aktif tersebar homogen pada kulit buah aren dimana Cr^{6+} menutupi permukaan biosorben dengan membentuk satu lapisan (monolayer) dan terikat pada sisi aktif biosorben secara kimia. Isotherm Langmuir mengasumsikan biosorpsi monolayer (satu lapis) pada permukaan seragam dengan jumlah situs atau tempat penyerapan, setelah situs diisi, tidak ada penyerapan lebih lanjut yang terjadi pada situs tersebut (Pontoh dkk, 2024).

3.5 Karakteristik Biosorben

Karakterisasi biosorben penting untuk mengontrol kualitas. Biosorben komersial seperti karbon aktif sudah memiliki standar kualitas, sedangkan biosorben organik lainnya masih dalam tahap pengembangan. Karakteristik biosorben hasil penelitian dan perbandingannya dengan standar biosorben komersial berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Hasil Uji Karakteristik Pada Biosorben Kulit Buah Kolang Kaling

Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatite (%)	Fixed Carbon (%)
3,34	6,265	13,905	76,49
SNI Max 15 %	SNI Max 10 %	SNI Max 25 %	SNI Min. 65 %

Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis biosorben. Hasil uji menunjukkan kadar air biosorben kulit buah aren sebesar 3,34%, memenuhi standar SNI maksimal 15%. Kadar abu 6,265% juga sesuai standar, menghindari penyumbatan pori. Kadar volatile matter 13,905%

memenuhi batas maksimum 25% sesuai SNI. Nilai fixed carbon 76,49% memenuhi SNI minimal 65%, menunjukkan biosorben memiliki kandungan karbon yang baik, dipengaruhi oleh selulosa atau liginin yang terkonversi menjadi karbon (Maulina dan Iriansyah, 2018).

3.6 Analisa Unsur- (X-Ray Fluorescence)

Untuk mengetahui karakteristik kulit buah aren sebagai biosorben sebelum, sesudah aktivasi menggunakan larutan NaOH, dan setelah biosorpsi maka dilakukan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan mineral atau unsur yang terdapat pada biosorben. Persentase oksida pada hasil analisis mewakili semua jenis senyawa oksida dari elemen tersebut.

Tabel 3.6 Hasil Uji XRF Biosorben Non-Aktivasi

Non Aktivasi				
No.	Element		Oxide	
	Komponen	Konsentrasi (%)	Komponen	Konsentrasi (%)
1	Mg	0.552	MgO	0.915
2	Al	0.126	Al ₂ O ₃	0.238
3	Si	8.041	SiO ₂	17.2
4	P	0.6155	P ₂ O ₅	1.41
5	S	0.308	SO ₃	0.771
6	Cl	2.090	Cl	2.09
7	K	5.3444	K ₂ O	6.44
8	Ca	49.464	CaO	69.2
9	Fe	0.373	Fe ₂ O ₃ T	0.533
10	Rb	0.083	Rb ₂ O	0.0912
11	Sr	0.930	SrO	1.10
12	Cu	0.042	CuO	0.0526

Pada Tabel 3.6 uji XRF biosorben non-aktivasi, sampel menunjukkan keberadaan unsur-unsur seperti Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Rb, Sr, dan Cu dalam konsentrasi tertentu. Di antara unsur-unsur ini, Si memiliki konsentrasi

tertinggi (8,041%). Pada rasio Si yang tinggi, maka adsorben bersifat hidrofobik, artinya pori-pori adsorben lebih tidak suka air (cenderung kering) maka adsorben memiliki daya adsorpsiya dan memiliki lebih banyak pusat aktif dalam melakukan adsorpsi (Faradilla, 2021). Sedangkan Cu terdeteksi dalam jumlah yang sangat kecil (0,042%). Oksida utama yang terbentuk mencakup SiO_2 (17,2%) dan CaO (69,2%), yang menunjukkan bahwa matriks sampel kaya akan material mineral. Tahap ini mencerminkan kondisi awal tanpa perlakuan, di mana struktur material masih alami dan unsur-unsur tidak mengalami pelarutan atau interaksi signifikan.

Tabel 3.7 Hasil Uji XRF Biosorben Aktivasi

No.	Aktivasi			
	Element		Oxide	
	Komponen	Konsentrasi (%)	Komponen	Konsentrasi (%)
1	Mg	0.524	MgO	0.868
2	Al	0.281	Al_2O_3	0.530
3	Si	4.353	SiO_2	9.31
4	P	0.4714	P_2O_5	1.08
5	S	0.408	SO_3	1.02
6	Cl	0.460	Cl	0.460
7	K	3.1037	K_2O	3.74
8	Ca	56.612	CaO	79.2
9	Fe	1.615	Fe_2O_3 T	2.31
10	Sr	1.124	SrO	1.33
11	Cu	0.137	CuO	0.172

Pada Tabel 3.7 uji XRF biosorben aktivasi, konsentrasi beberapa unsur berubah, seperti penurunan Mg dari 0,552% menjadi 0,524% dan peningkatan Al dari 0,126% menjadi 0,281%. Unsur Mg dari 0,552% menjadi 0,524% mengalami penurunan setelah aktivasi, hal ini berarti bahwa proses aktivasi dengan penambahan larutan NaOH mampu menghilangkan mineral-mineral dan mengikat logam-logam pengotor yang menghambat proses adsorpsi (Faradilla, 2021). Untuk hilangnya unsur Rb dan menurunnya unsur K dari 5.3444% menjadi 3.1037%

setelah proses aktivasi dengan larutan basa disebabkan larutnya logam alkali yang menutupi sebagian pori adsorben. Pelarutan logam alkali tersebut akan meningkatkan terbentuknya rongga kosong yang tersebar secara merata di permukaan adsorben (Palentin, 2019). Penurunan konsentrasi Si dari 8,041% menjadi 4,353% juga mencerminkan pelarutan sebagian silika, yang sesuai dengan teori bahwa aktivasi menggunakan bahan kimia seperti larutan basa kuat dapat melarutkan komponen tertentu. Penelitian oleh Wardani (2022), pemanfaatan *bottom ash* teraktivasi basa kuat sebagai adsorben ion logam Cd^{2+} mampu mengubah komposisi *bottom ash* dengan cara merusak lapisan luar *bottom ash* sehingga silika yang ada dalam *bottom ash* keluar ke permukaan dan melarutkan silika menyebabkan terjadinya penurunan prosentase jumlah unsur. Pada unsur oksida CaO mengalami peningkatan setelah aktivasi yaitu 79,2%, hal ini dijelaskan Rahmaniah (2024) konsentrasi kalsium oksida yang tinggi dapat mengisyaratkan kemampuan untuk berperan sebagai adsorben dalam menghapus ion logam berat timbal (Pb) dari larutan air. Proses adsorpsi ini melibatkan mekanisme di mana ion timbal (Pb^{2+}) dalam larutan menempel pada permukaan CaO. Aktivasi pada umumnya bertujuan untuk mengubah struktur material, menciptakan pori-pori baru, dan meningkatkan kemampuan adsorpsi.

Tabel 3.8 Hasil Uji XRF Setelah Biosorpsi

No.	Aktivasi			
	Element		Oxide	
	Komponen	Konsentrasi (%)	Komponen	Konsentrasi (%)
1	Mg	0.808	MgO	1.34
2	Al	0.238	Al_2O_3	0.450
3	Si	6.545	SiO_2	14.0
4	P	0.4801	P_2O_5	1.10
5	S	0.664	SO_3	1.66
6	Cl	0.206	Cl	0.206
7	K	3.4108	K_2O	4.11
8	Ca	51.680	CaO	72.3

9	Cr	0.684	Cr ₂ O ₃	1.00
9	Fe	1.217	Fe ₂ O ₃ T	2.20
10	Cu	0.221	CuO	0.277

Pada Tabel 3.8 Uji XRF menunjukkan peningkatan konsentrasi unsur tertentu, terutama Cr, yang sebelumnya tidak terdeteksi, kini muncul dengan konsentrasi 0,684%. Hal ini membuktikan keberhasilan biosorpsi dalam menyerap logam berat Cr dari larutan. Proses biosorpsi melibatkan mekanisme fisik dan kimia, seperti interaksi ionik, kompleksasi, dan adsorpsi permukaan. Penelitian Lestari et al. (2020) pada adsorpsi Pb (II) menggunakan limbah padat lumpur aktif mencatat adanya Pb sebesar 0,989% setelah biosorpsi, menegaskan bahwa ion Pb (II) telah terikat pada permukaan adsorben.

Selain itu, kompetisi ionik di antara unsur-unsur dalam larutan dapat menjelaskan penurunan konsentrasi beberapa unsur selama biosorpsi. Biosorben cenderung lebih selektif terhadap logam berat seperti Pb dibandingkan unsur lainnya (Zulfa et al., 2023). Temuan ini memperkuat potensi biosorpsi dalam mengelola logam berat dari limbah cair.

4. Simpulan dan Saran

Kapasitas penyerapan minimum biosorpsi kulit buah aren non-aktivasi tercatat pada massa 10 gram dengan nilai 0,191 mg/g pada konsentrasi 20 ppm, sementara efisiensi maksimum mencapai 96,81% pada konsentrasi 40 ppm. Untuk biosorben aktivasi NaOH 0,04 M, kapasitas minimum tercatat sebesar 0,194 mg/g pada konsentrasi 20 ppm, sedangkan efisiensi maksimum mencapai 97,81% pada konsentrasi 40 ppm. Mekanisme biosorpsi, baik menggunakan biosorben non-aktivasi maupun aktivasi NaOH, berlangsung secara isothermal Langmuir, yang terlihat dari nilai determinasi R² yang mendekati 1. Hasil analisis karakteristik fisik biosorben kulit buah kolang kaling menunjukkan kadar air 3,34%, kadar abu 6,265%, kadar volatile matter 13,905%, dan fixed carbon 76,49%. Nilai-nilai ini telah memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995, yaitu kadar air maksimal 15%, kadar abu maksimal 10%, volatile matter maksimal 25%, dan fixed carbon minimal 65%.

Penulis menyarankan untuk peneliti selanjutnya diharapkan dapat memvariasikan waktu biosorpsi untuk mengetahui kejenuhan biosorben dan menggunakan larutan lain selama proses aktivasi agar biosorben kulit buah aren dapat menyerap logam berat lebih maksimal.

5. Daftar Pustaka

- Anwar, M., Sanjaya, H., & Maliki, A. (2013). Pengaruh Ion Logam Cd (II) Terhadap Adsorpsi Ion Logam Pb (II) dengan Adsorben Tanah Napa. *Periodic*, 2(1), 29–33.
- Desriyanti, D., Akbari, T., & Fitriyah, F. 2022. Pengaruh Massa Biosorben Zeolit, Arang Aktif Sekam Padi, Dan Arang Aktif Jerami Padi Terhadap Efisiensi Penurunan Konsentrasi Ion Timbal (Pb²⁺). *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 10(1).
- Elfia, M. (2019). Biosorpsi Ion Logam Berat Pb(II) Menggunakan Biosorben Batang Pisang Kepok (*Musa Acuminata Balbisiana Colla*). *Klinikal Sains* : https://doi.org/10.36341/klinikal_sains.v7i2.1086. *Junal Analis Kesehatan*, 7(2), 76–82.
- Faradilla, A. R., Yulinawa, H., & Suswantoro, E. (2021). Pemanfaatan fly ash sebagai adsorben karbon monoksida dan karbon dioksida pada emisi kendaraan bermotor. In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan Vol* (pp. 2-1).
- Furqoni, F., Zein, R., & Munaf, E. (2015). *Biosorption of Pb(II) And Zn(II) from aqueous solution using langsung (Lansium domesticum Corr) fruit peel*. Available Online Wwww. Jocrpr.Com *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol 7(1), 546–555. www.jocpr.com
- Hasfita, F. (2012) 'Jurnal Teknologi Kimia Unimal Jurnal Teknologi Kimia Unimal Study Pembuatan Biosorben Dari Limbah Daun Akasia Mangium (Acacia Mangium Wild) Untuk Aplikasi Penyisihan Logam', *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 1, Pp. 36–48.
- Herawati, N., Rifdah, R., & Muthiah, N. M. (2023). Kajian Pengaruh Massa dan Waktu Operasi Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Menggunakan Residue Catalytic Cracking (RCC) Sebagai Biosorben. *Jurnal Distilasi*, Vol 8(1), 1-11. <https://jurnal.um-palembang.ac.id/distilasi/article/view/6678>
- Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W. H., & Babel, S. (2006). "Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals." *Science of The Total Environment*, Vol 366(2-3), 409-426.

- Lestari, I., Mahraja, M., Farid, F., Gusti, D. R., & Permana, E. (2020). Penyerapan ion Pb (II) menggunakan adsorben dari limbah padat lumpur aktif pengolahan air minum. *Chemistry Progress*, Vol 13(2). <https://doi.org/10.35799/cp.13.2.2020.31391>
- Maulina, S., & Iriansyah, M. (2018). *Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012072>
- Palentin, E. R., Hindryawati, N., & Gunawan, R. (2019). Adsorption of Fe Metal Ion in Solution Using Natural Zeolite Activated by KOH. *Jurnal Atomik*, Vol 4(2), 82-85. <https://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/JA/article/view/784>
- Pontoh, C. E., Mauliddina, R., & Sahraeni, S. (2024). Penurunan Kadar Fe dengan Biosorben Arang Aktif dari Gambut Fibrik Teraktivasi NaCl. *Jurnal Inovasi Global*, Vol 2(7), 688-695. <https://doi.org/10.58344/jig.v2i7.122>
- Rengga Pita, W. D., Harianingsih, H., Erwanto, A., & Cahyono, B. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Isotermal Logam Pb Dan Cr Pada Limbah Batik Menggunakan Adsorben Tongkol Jagung (*Zea Mays*). *Journal of Chemical Process Engineering*, Vol 4(2), 56–62. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v4i2.321>
- Rahmaniah, R., Isdar, E., & Rani, S. R. A. R. (2024). Sintesis Dan Karakterisasi Kitosan Berbasis Cangkang Landak Laut Sebagai Kandidat Absorban Logam Berat. *Journal Online Of Physics*, 9(2), 30-36.
- Saef, S. K., AMALIA, V., & SUPRIATNA, A. M. (2022, December). Adsorpsi ion logam Cd (II) oleh selulosa limbah sabut kelapa sebagai biosorben berbiaya murah. In *Gunung Djati Conference Series* (Vol. 15, pp. 60-68).
- Wardani, R. K. (2022). *Pemanfaatan Abu Bawah Batubara (Bottom Ash) Teraktivasi Sebagai Adsorben Ion Logam Cd²⁺* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS AIRLANGGA).
- Zein, R., Nofita, D., Refilda, R., & Aziz, H. (2019). Penyerapan Timbal(II) dan Cadmium(II) di dalam Larutan Menggunakan Limbah Kulit Buah Kapuk. *Chimica et Natura Acta*, Vol 7(1), 37. <https://doi.org/10.24198/cna.v7.n1.20813>
- Zilda, M. (2022). *Pemanfaatan Arang Aktif dari Ampas Teh dan Kulit Pisang Sebagai Biosorben Logam Berat Timbal (Pb)*. (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry). <http://repository.ar-raniry.ac.id>

Khanisya Ratu Asva D. / Chemical Engineering Journal Storage 5 :2 (Mei 2025) 200–217

Zulfa, N. L., & Faza, L. (2023). "Adsorpsi Logam Berat Pb(II) Menggunakan Biosorben dari Limbah Organik." *Jurnal Adsorpsi*, Vol 28(2), 101-109.