

Analisis Perbandingan Karbon Aktif Tempurung Keluak (*Pangium Edule*) dan Komersial dengan Aktivator HCl dan KOH dalam Menurunkan Krom Heksavalen dan Tembaga Divalen pada Limbah Elektroplating

Fajar Tegar Ramadhani, Mohamad Mirwan*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 28 Oktober 2025

Disetujui: 10 November 2025

Abstract

The electroplating process, also known as electrocoating or metal plating, is a technique used to coat the surface of a solid material with a layer of metal through the application of an electric current in an electrolyte solution. This study utilized keluak shell biomass as an adsorbent in a fixed-bed column. The objective of this research was to analyze the adsorption capacity of keluak shell in reducing Cr^{6+} and Cu^{2+} concentrations. The research method employed was experimental, using electroplating wastewater obtained from an industry in Sidoarjo. The study was conducted with activated carbon derived from keluak shells, activated with 1 M HCl and 5% KOH solutions, as well as commercial activated carbon for comparison. The variations were based on sampling times of 30, 60, 90, and 120 minutes. The results showed that the application of keluak shell biomass activated with 1 M HCl, 5% KOH, and commercial activated carbon as adsorbents yielded optimal concentration reductions of Cr^{6+} 23.9 mg/L; Cu^{2+} 0.7593 mg/L; Cr^{6+} 56.8 mg/L; Cu^{2+} 0.7593 mg/L; Cr^{6+} 55.4 mg/L; Cu^{2+} 0.7593 mg/L, respectively. These values were obtained at 30 and 60 minutes sampling intervals, where the initial adsorption rate was relatively high due to the unoccupied surface of the adsorbent, thereby enhancing removal efficiency.

Keywords: *electroplating wastewater, industrial sidoarjo, adsorption, keluak shell, activation carbon*

Abstrak

Proses elektroplating, yang juga dikenal sebagai pelapisan listrik atau penyepuhan, merupakan teknik untuk melapisi permukaan suatu bahan padat dengan logam melalui penggunaan arus listrik dalam medium larutan elektrolit. Adapun penelitian ini memanfaatkan biomassa tempurung keluak sebagai adsorben pada proses adsorpsi secara kontinyu menggunakan sistem kontinyu. Penelitian ini bertujuan menganalisis kemampuan adsorben dari tempurung keluak dalam menurunkan kadar parameter Cr^{6+} dan Cu^{2+} . Limbah penelitian yang digunakan adalah dengan menggunakan limbah elektroplating dari Industri di Sidoarjo. Penelitian ini dilakukan menggunakan karbon aktif tempurung keluak yang diaktivasi menggunakan larutan HCl 1 M dan KOH 5% serta karbon aktif komersil sebagai pembanding yang divariasikan menggunakan waktu sampling 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil penelitian didapatkan penerapan biomassa tempurung kluak teraktivasi HCl 1 M, KOH 5%, dan komersil sebagai adsorben menghasilkan nilai penurunan konsentrasi optimal berturut turut sebesar Cr^{6+} 23,9 mg/L; Cu^{2+} 0,7593mg/L; Cr^{6+} 56,8 mg/L; Cu^{2+} 0,7593mg/L; Cr^{6+} 55,4 mg/L; Cu^{2+} 0,7593mg/L. Nilai tersebut didapatkan dari variasi waktu sampling 30 dan 60 menit, dimana pada menit awal memiliki laju adsorpsi cukup besar dikarenakan seluruh permukaan adsorben masih kosong, sehingga meningkatkan efisiensi penyisihannya.

Kata Kunci: *limbah elektroplating, industri sidoarjo, adsorpsi, tempurung keluak, karbon aktif*

1. Pendahuluan

Proses elektroplating, yang juga dikenal sebagai pelapisan listrik atau penyepuhan, merupakan teknik untuk melapisi permukaan suatu bahan padat dengan logam melalui penggunaan arus listrik dalam medium larutan elektrolit. Larutan elektrolit yang dipakai pada proses ini umumnya perlu diganti setiap dua minggu sekali karena penurunan kualitas hasil pelapisan, terutama pada tingkat kehalusan permukaan dan tampilan visualnya. Penggantian larutan secara berkala tersebut meningkatkan biaya produksi, sementara limbah elektroplating yang dihasilkan seringkali dibuang langsung ke lingkungan dan berpotensi mencemari. Hal ini disebabkan karena larutan yang digunakan mengandung senyawa kimia berbahaya dan beracun yang dapat mengancam kesehatan manusia [1].

Berbagai pendekatan berbasis kimia dan biologi telah dikembangkan guna remediasi limbah yang terkontaminasi logam berat, diantaranya adsorpsi, pertukaran ion (ion exchange), dan pemisahan dengan membran. Dibandingkan dengan teknik lainnya, adsorpsi menonjol sebagai metode yang paling luas penerapannya di sektor industri. Keunggulan ini terutama disebabkan oleh faktor ekonomis, rendahnya potensi pembentukan produk samping beracun, serta kemampuannya yang efektif dalam menyerap senyawa-senyawa organik [2].

Mekanisme adsorpsi ion logam berlangsung melalui proses pertukaran ion dan pembentukan kompleks, yang umumnya terbatas pada lapisan permukaan sel adsorben. Proses ini memerlukan adanya situs aktif bermuatan berlawanan dengan ion logam berat agar interaksi dapat terjadi secara efektif. Interaksi tersebut bersifat pasif dan berlangsung relatif cepat. Secara kimia, molekul adsorben diyakini memiliki gugus fungsional atau situs aktif tertentu yang berperan penting dalam proses pengikatan ion logam pada permukaannya [3].

Adsorben dari bahan organik memiliki sifat ramah lingkungan dan bahan ini dapat mengurangi timbulan sampah. Sedangkan penelitian penggunaan karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben juga sudah pernah dilakukan oleh [4] untuk mengurangi kadar Total Krom dan Tembaga pada limbah elektroplating menggunakan kulit pisang, dengan hasil penyerapan Krom sebanyak 35% - 58% dan Tembaga sebanyak 96%. Sedangkan pada penelitian [5], perbandingan karbon aktif yang berasal dari singkong dan komersil untuk menyerap Tembaga juga pernah dilakukan dengan efisiensi penyerapan sebesar 50-80%. Dan [6] melaporkan, penggunaan karbon aktif tempurung keluak untuk sebagai adsorben larutan tembaga juga dapat meremoval sebanyak 15-25%. Dan dari penelitian [7] melaporkan bahwa biji tembresi dapat meremoval kadar Kromium Heksavalen dan Trivalen dengan pH yang berbeda.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa potensi karbon aktif dari tempurung keluak teraktivasi oleh HCl dan KOH terhadap kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin. Serta efektivitas karbon aktif tempurung keluak yang dibandingkan dengan karbon aktif komersil dalam menurunkan krom heksavalen (Cr^{6+}) dan Tembaga Divalen (Cu^{2+}), dengan variabel aktivator tempurung keluak yang teraktivasi KOH 5% dan HCl 1 M serta waktu sampling 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

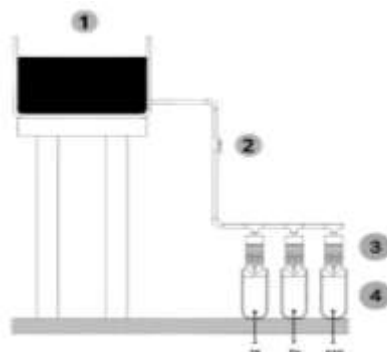
2. Metode Penelitian

Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Keluak

Prosedur preparasi karbon aktif dalam penelitian ini diawali dengan tempurung keluak pertama-tama dicuci hingga bersih, kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama satu hari penuh. Proses karbonisasi selanjutnya dilakukan dalam furnace pada suhu $600^{\circ}C$ selama 2 jam. Arang yang dihasilkan didinginkan dalam desikator, kemudian ditumbuk dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Aktivasi kimiawi dilakukan dengan merendam arang dalam larutan KOH 5% dan HCl 1 M selama 24 jam. Arang teraktivasi kemudian dibilas menggunakan aquades hingga pH netral dicapai. Tahap terakhir, karbon aktif dikeringkan dalam oven pada suhu $110^{\circ}C$ selama 2 jam hingga diperoleh produk yang siap digunakan [8].

Perencanaan Proses Adsorpsi Kolom

Penelitian ini sampel air limbah diambil dari CV. X di Kawasan Sidoarjo Jawa Timur. Pengujian dimulai dari sampel limbah elektroplating pada bak penampung kemudian limbah dialirkan dengan debit 10 ml/menit menuju kolom adsorpsi yang diisi dengan arang aktif, menggunakan variasi jenis tempurung keluak dan karbon aktif komersil sesuai dengan matriks penelitian. Ketika limbah elektroplating memasuki kolom adsorpsi dengan waktu yang telah ditentukan, limbah keluar dari kolom menuju wadah penampung untuk diuji kandungan Krom Heksavalen dan Tembaga Divalen.



Gambar 1. Skema Reaktor Adorpsi Kolom

Analisa Kapasitas Adsorpsi Pemodelan Thomas

Model Thomas dikategorikan sebagai salah satu pendekatan pemodelan yang digunakan untuk penghitungan kapasitas penyerapan polutan per satuan massa adsorben. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Thomas pada tahun 1984 melalui pengembangan lebih lanjut dari persamaan kinetika yang sebelumnya telah diformulasikan oleh Adam dan Bohart pada tahun 1920 [9]. Model Persamaan pemodelan Thomas seperti, berikut [10]

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_t} - 1\right) = \frac{Kth \cdot q_o \cdot w}{Q} - Kth \cdot C_o \cdot t$$

Keterangan:

Ct = konsentrasi larutan pada waktu sampling (mg/L)

Co = konsentrasi awal larutan (mg/L)

Kth = konstanta Thomas (mL/mg·menit)

qo = kapasitas penyerapan polutan per satuan massa adsorben (mg/g)

W = massa adsorben yang digunakan (g)

Q = laju aliran fluida (mL/menit)

t = waktu pengambilan sampel

Hubungan antara $\ln(C_o/C_t - 1)$ dan waktu sampling ditetapkan dalam penerapan Model Thomas. Nilai kemiringan (slope) dan intersep yang dihasilkan dari analisis regresi linier selanjutnya dimanfaatkan untuk penentuan parameter qo (kapasitas adsorpsi maksimum) dan Kth (konstanta kinetika Thomas) melalui persamaan matematis yang telah ditetapkan. Persamaan yang digunakan sebagai berikut [11] :

- a. Kapasitas adsorpsi maksimum(qo)

$$Kth - \left(\frac{Slope}{C_o}\right)$$

Keterangan:

Kth = konstanta kinetika Thomas (ml/mg.menit)

Co = konsentrasi awal dari limbah

- b. Konstanta Thomas (Kth)

$$Q_o = \frac{intercept}{\left(\frac{x}{q}\right) \cdot Kth}$$

Keterangan:

qo = Kapasitas adsorpsi maksimum(mg/g)

x = massa adsorben (gr)

q = debit air (L/menit)

Kth = Konstanta kinetika Thomas (ml/mg.menit)

3. Hasil dan Pembahasan

Sampel limbah yang berasal dari industri jasa pelapisan logam di daerah Sidoarjo, Jawa Timur, digunakan dalam penelitian ini. Pelaksanaan utama penelitian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Konsentrasi awal parameter logam berat Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) dan Tembaga (Cu²⁺) ditentukan melalui pengujian karakteristik awal limbah elektroplating yang dilakukan. Hasil pengukuran yang diperoleh kemudian dilakukan perbandingan dengan baku mutu air limbah yang telah ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 mengenai kegiatan usaha jasa pelapisan logam, yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Uji Data Karakteristik Awal

Parameter	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
Kromium Heskavalen (Cr ⁶⁺)	34,5	0,1
Tembaga Divalen (Cu ²⁺)	0,77	0,6

Sumber : Hasil Analisa, (2025) & Pergub Jatim 2014

Berdasarkan data pada tabel tersebut, konsentrasi parameter Krom Heksavalen (Cr^{6+}) dan Tembaga Divalen (Cu^{2+}) masih melebihi baku mutu yang ditetapkan, dengan nilai maksimum yang diizinkan masing-masing sebesar 0,1 mg/L dan 0,6 mg/L. Oleh karena itu, diperlukan penerapan proses pengolahan lebih lanjut untuk menurunkan konsentrasi kedua parameter logam tersebut agar memenuhi standar regulasi yang berlaku.

Karakteristik Karbon Aktif

Untuk menilai kualitas adsorben, dilakukan karakterisasi terhadap material yang digunakan dalam penelitian. Bahan adsorben berupa tempurung kluak telah diaktivasi dengan larutan HCl dan KOH sebelum diuji. Hasil karakterisasi kemudian dibandingkan dengan karbon aktif komersial sebagai acuan. Pelaksanaan uji mengikuti Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730-1995 (Arang Aktif Teknis), yang menetapkan parameter-parameter pengujian yang relevan.. Hasil karakterisasi adsorben dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Karakteristik Karbon Aktif

No	Parameter	Aktivasi HCL	Aktivasi KOH	Karbon Aktif Komersial	SNI
1.	Kadar Air (%)	4,96	5,83	5	15
2.	Kadar Abu (%)	3,38	4,49	5	10
3.	Daya Serap Iod (mg/g)	812,16	774,09	760,23	750

Sumber : Hasil Analisa (2025)

Analisa Hasil Adsorpsi Cr^{6+}

Tujuan dari uji variasi waktu sampling adalah untuk menentukan waktu kontak optimal dalam proses penyerapan logam Cr^{6+} hingga mencapai kondisi jenuh kolom atau waktu tembus (breakthrough). Variasi waktu yang digunakan meliputi interval 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil data dan grafik adsorpsi logam berat Cr^{6+} dengan variasi waktu tersebut disajikan dalam **Tabel 3** dan **Gambar 2** berikut:

Tabel 3. Hasil Pengolahan Adsorpsi Krom Heksavalen (Cr^{6+})

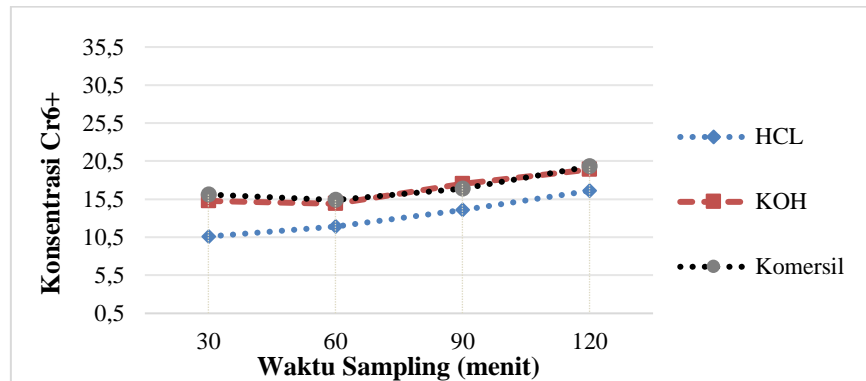
Jenis Adsorben	Waktu Sampling (menit)	Konsentrasi Awal Cr^{6+} (mg/L)	Konsentrasi Akhir Cr^{6+} (mg/L)	Removal (mg/L)
Tempurung Kluak Teraktivasi HCl	30	34,5	10,6	23,9
	60	34,5	11,9	22,6
	90	34,5	14,1	20,4
	120	34,5	16,6	17,9
Tempurung Kluak Teraktivasi KOH	30	34,5	15,3	19,2
	60	34,5	14,9	19,6
	90	34,5	16,9	17,0
	120	34,5	19,4	15,1
Karbon Aktif Komersil	30	34,5	16,1	18,4
	60	34,5	15,4	19,1
	90	34,5	17,5	17,6
	120	34,5	19,8	14,7

Sumber : Hasil Analisa (2025)

Berdasarkan **Tabel 3** di atas ini, yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi akhir Cr^{6+} terhadap waktu sampling dapat diketahui bahwa konsentrasi Cr^{6+} mengalami fluktuasi pada setiap variabel. Waktu sampling ke-1 didapatkan setelah air olahan limbah keluar dari kolom adsorben dan pengambilan sampel dilakukan berdasarkan waktu sampling selama 30-120 menit, sehingga didapatkan 4 kali waktu sampling.

Pada menit ke-30, karbon aktif teraktivasi HCL mampu menurunkan konsentrasi Cr^{6+} lebih cepat dibandingkan karbon aktif KOH dan karbon aktif komersil, dengan nilai penurunan konsentrasi sebanyak 23,9 mg/L, sedangkan KOH dan komersil 19,2 mg/L dan 18,4 mg/L. Penurunan paling signifikan terjadi pada menit ke-30, di mana karbon aktif HCl mencapai konsentrasi terendah yaitu 10,6 mg/L. Namun, pada menit ke-90 konsentrasi Cr^{6+} pada karbon aktif HCl kembali meningkat menjadi 16,6 mg/L, yang disebabkan oleh fenomena desorpsi atau tercapainya kondisi kesetimbangan adsorpsi kolom. Dimana

konsentrasi akhir pada waktu (C_t) akan terus naik sampai mendekati sekitar 90-95% konsentrasi awal (C_0). Pada fase awal operasi kolom, penyerapan berlangsung cepat karena hampir semua situs pengikatan pada permukaan adsorben masih tersedia. Setelah waktu kontak bertambah, jumlah situs yang belum terisi menyusut sehingga kapasitas efektif adsorben menurun dan konsentrasi zat terlarut cenderung naik [12].



Gambar 2. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Tembaga (Cr^{6+}) terhadap Waktu Sampling

Menurut [13] Adsorpsi yang lebih baik dilakukan pada pH rendah disebabkan oleh netralisasi muatan permukaan negatif oleh ion hidrogen berlebih. Hal ini memfasilitasi difusi ion hidrogen kromat ($HCrO_4^-$) dan adsorpsi berikutnya. $HCrO_4^-$ adalah anion Cr (VI) yang dominan antara pH 1,0 dan 4,0, Ion ini lebih disukai diserap pada permukaan karbon. Muatan negatif dapat dihasilkan dari fungsi oksigenasi dasar, yang diserap secara kimia pada permukaan pori. Dalam kondisi asam, Cr (VI) dapat direduksi menjadi Cr (III) dengan adanya karbon aktif.

Analisa Adsorpsi Cu^{2+}

Penelitian ini menggunakan adsorben dari biomassa tempurung keluak teraktivasi HCL dan KOH dengan variasi waktu sampling selama 30, 60, 90, dan 120 menit. Penurunan kadar logam Cu^{2+} dalam limbah menggunakan karbon aktif dari biomassa tempurung keluak teraktivasi HCM 1 M, KOH 5%, dan komersil sebagai pembanding. Data percobaan adsorpsi menggunakan variasi waktu sampling logam berat Tembaga (Cu^{2+}) dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini:

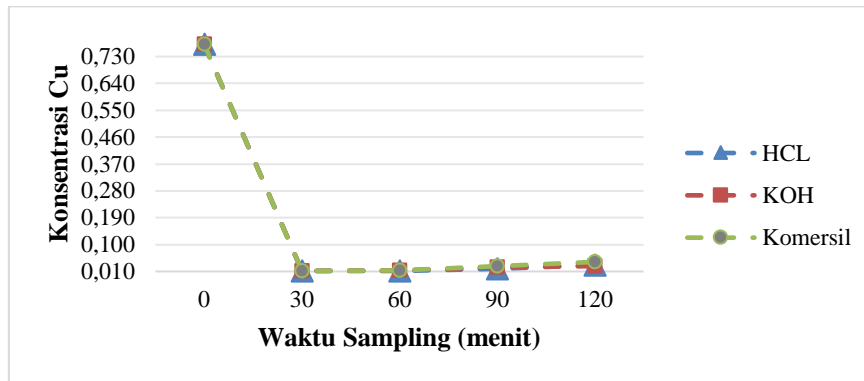
Tabel 4. Hasil Pengolahan Adsorpsi Tembaga Divalen (Cu^{2+})

Jenis Adsorben	Waktu Sampling (menit)	Konsentrasi Awal Cu (mg/L)	Konsentrasi Akhir Cu (mg/L)	Removal (mg/L)
Termpurung Keluak Teraktivasi HCL	30	0,771	0,0117	0,7593
	60	0,771	0,0117	0,7593
	90	0,771	0,0211	0,7499
	120	0,771	0,0312	0,7398
Termpurung Keluak Teraktivasi KOH	30	0,771	0,0117	0,7593
	60	0,771	0,0137	0,7573
	90	0,771	0,0246	0,7464
	120	0,771	0,0381	0,7329
Karbon Aktif Komersil	30	0,771	0,0117	0,7593
	60	0,771	0,0128	0,7582
	90	0,771	0,0283	0,7427
	120	0,771	0,0412	0,7298

Sumber : Hasil Analisa (2025)

Berdasarkan tabel di atas, waktu sampling optimum untuk menyerap logam Cu^{2+} yakni pada menit ke-30 di mana masing-masing karbon aktif teraktivasi HCL, KOH, dan komersil memiliki penjerapan Cu^{2+} berturut-turut 0,7593 ; 0,7593 ; 0,7593 mg/L. Efisiensi adsorpsi mengalami peningkatan yang signifikan pada fase awal ketika adsorben mulai berkontak dengan adsorbat. Setelah itu, proses ini berlanjut secara konstan hingga mencapai kondisi kesetimbangan. Setelah titik kesetimbangan tercapai, efektivitas

penjerapan mulai menurun hingga kolom mencapai titik jenuh, yang berpotensi menyebabkan pelepasan kembali logam yang sebelumnya telah teradsorpsi oleh adsorben [14]. Kapasitas biosorben dalam menyerap ion tembaga dikontrol oleh keberadaan gugus karboksilat (-COOH) pada struktur selulosa yang berperan sebagai situs aktif melalui mekanisme modifikasi. Interaksi antara biomassa dengan ion tembaga terjadi melalui mekanisme pertukaran ion, dimana gugus karboksilat (-COOH) mengalami deprotonasi sehingga bermuatan negatif dan berubah menjadi COO⁻. Adanya muatan negatif pada gugus karboksilat ini memfasilitasi terjadinya ikatan yang kuat dengan ion logam bermuatan positif [15]. Lalu, untuk grafik hubungan antara konsentrasi akhir tembaga (Cu) terhadap waktu sampling dapat dilihat pada **Gambar 3** sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Tembaga (Cu) terhadap Waktu Sampling

Analisa Pemodelan Thomas parameter Cr⁶⁺

Pada studi ini, kapasitas adsorpsi (mg/g) dan kinetika adsorpsi dievaluasi menggunakan metode kolom dengan konfigurasi sistem dimana limbah cair elektroplating berfungsi sebagai adsorbat, sementara material arang aktif tempurung kelapa teraktivasi HCL dan KOH serta karbon aktif komersial digunakan sebagai media adsorben. Parameter waktu sampling ditetapkan sebagai variabel kontrol utama dalam akuisisi data eksperimen. Untuk menganalisis performa sistem adsorpsi kontinu berjenis *fixed-bed column*, diaplikasikan pemodelan Thomas yang telah terverifikasi sebagai standar dalam karakterisasi kinerja kolom adsorpsi.

Dalam Model Thomas, hubungan antara $\ln(C_0/C_t - 1)$ dengan waktu sampling divisualisasikan dalam bentuk grafik. Nilai slope dan intercept yang diperoleh dari garis regresi linear selanjutnya menjadi dasar perhitungan untuk memperoleh nilai q_0 dan K_{th} [11]. Ringkasan hasil analisa pemodelan Thomas untuk parameter Cr⁶⁺ pada **Tabel 5** dan untuk parameter Cu²⁺ disajikan pada **Tabel 6** sebagai berikut:

Tabel 5. Ringkasan hasil pemodelan Thomas parameter Cr⁶⁺

Jenis Adsorben	R ²	K _{th} (L/mg/menit)	q ₀ (mg/g)
Karbon Aktif HCL	0,9871	0,0002406	0,227783
Karbon Aktif KOH	0,8463	0,0001681	0,096177
Komersil	0,7076	0,00014202	0,091277

Sumber : Hasil Analisa (2025)

Tabel 5 di atas merupakan data konstanta Thomas (K_{th}) pada adsorpsi parameter Cr⁶⁺ dan kapasitas adsorbansi (q_0) yang didapatkan dari $\ln(C_0/C_t - 1)$ dengan perbandingan waktu sampling. Nilai konstanta K_{th} dan q_0 dapat diketahui melalui nilai *slope* dan *intercept* dari persamaan linear ($y = ax + b$). Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan nilai konstanta kinetik Thomas (K_{th}) karbon aktif tempurung kelapa teraktivasi HCL sebesar 0,0002406 (L/mg/menit) dan karbon aktif teraktivasi KOH sebesar 0,0001681 (L/mg/menit) serta Komersil sebesar 0,00014202 (L/mg/menit) yang mana nilai konstanta tersebut juga menunjukkan laju adsorpsi dari masing – masing karbon aktif. Selanjutnya, nilai q_0 karbon aktif teraktivasi HCL didapatkan sebesar 0,227783 (mg/g), lalu karbon aktif teraktivasi KOH sebesar 0,096177 (mg/g) dan karbon aktif komersil sebesar 0,091277 (mg/g). Nilai konstanta Thomas (K_{th}) yang lebih rendah ditunjukkan oleh karbon aktif teraktivasi KOH jika dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Hal ini diindikasikan sebagai korelasi antara laju adsorpsi yang lebih lambat dengan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi. Hubungan ini ditunjukkan melalui keterbalikan antara nilai K_{th} dan q_0 , dimana peningkatan K_{th} mengakibatkan penurunan q_0 , dan sebaliknya [16],

Tabel 6. Ringkasan hasil pemodelan Thomas parameter Cu^{2+}

Jenis Adsorben	R2	Kth (L/mg/menit)	qo (mg/g)
Karbon Aktif HCL	0,89997	0,0003507	0,66713
Karbon Aktif KOH	0,9301	0,0004115	0,57102
Komersil	0,9263	0,0004550	0,52480

Sumber ; Hasil Analisa Penelitian, (2025)

Tabel 6 di atas merupakan data konstanta Thomas atau laju adsorpsi pada adsorpsi parameter Cu dan kapasitas adsorbansi (q_0) yang didapatkan dari $\ln(C_0/C_t-1)$ dengan perbandingan waktu sampling. Nilai konstanta Kth dan q_0 dapat diketahui melalui nilai slope dan intercept dari persamaan linear ($y = ax + b$). Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan nilai konstanta kinetik Thomas karbon aktif tempurung keluak teraktivasi HCL sebesar 0,0003507 (L/mg/menit) dan karbon aktif teraktivasi KOH sebesar 0,0004115 (L/mg/menit) serta Komersil sebesar 0,000455 (L/mg/menit). Dimana, nilai kapasitas adsorpsi (q_0) karbon aktif teraktivasi HCL (TH) didapatkan sebesar 0,66713 (mg/g), lalu karbon aktif teraktivasi KOH (TK) sebesar 0,57102 (mg/g) dan karbon aktif komersil (K) sebesar 0,52480 (mg/g). Berdasarkan nilai yang dihasilkan, nilai koefisien korelasi atau R2 termasuk moderat dan jaraknya tidak jauh dari nilai 1. Koefisien determinasi, yakni 89-95% yang menunjukkan bahwa adanya kecocokan antara data dengan pemodelan Thomas. Nilai (q_0) dalam pemodelan Thomas ini dapat diartikan dengan artian dalam 1 gram karbon aktif mampu menyerap polutan dalam mg/l, serta nilai Konstanta Thomas (Kth) menunjukkan laju perpindahan adsorbat dari fase cair ke permukaan adsorben yang terjadi dalam miligram adsorbat per menit [17].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik disimpulkan bahwa karbon tempurung keluak teraktivasi HCl yang memiliki kadar air sebesar 4,96%, kadar abu sebesar 3,38% dan daya serap iodin sebesar 812,16 mg/g. Dengan hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa karbon aktif teraktivasi HCl memiliki kapasitas removal Cr^{6+} tertinggi, yaitu 23,9 mg/L pada waktu kontak terendah (30 menit), dan didukung dengan data analisa pemodelan Thomas bahwa kapasitas adsorpsi (q_0) Cr^{6+} tertinggi diperoleh pada karbon aktif tempurung keluak teraktivasi HCl sebesar 0,66713 mg/g, yang diikuti laju adsorpsi yang lambat diantara ketiga jenis adsorben dengan nilai 0,0002406(L/mg/menit).

Untuk ion Cu^{2+} , ketiga jenis karbon aktif menunjukkan kapasitas removal tertinggi yang sama, yakni 0,7593 mg/L pada menit ke-30, namun karbon aktif tempurung keluak teraktivasi HCl memiliki kapasitas adsorpsi (q_0) yang sangat baik dengan nilai terendah 0,66713 mg/g diantara ketiga karbon aktif dengan laju adsorpsi yang paling rendah (kth) yakni 0,0003507(L/mg/menit).

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Prasetyaningrum and M. Djaeni, "Kelayakan Biji Durian Sebagai Bahan Pangan Alternatif : Aspek Nutrisi Dan Tekno Ekonomi," *RIPTEK*, vol. 4, pp. 37–45, 2010.
- [2] Nurhasni, hendrawati, and Nubzah Saniyyah, "Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah," vol. 4, no. 1, pp. 36–44, 2014.
- [3] A. Apriliani, "Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu Dan Pb Dalam Air Limbah," Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2010.
- [4] R. Shafirina, I. W. Wardana, and Oktawan Wiharyanto, "Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben Dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Khrom (Cr) Dan Tembaga (Cu) Dengan Arang Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam (Elektroplating) Krom," *Jurnal Teknik Lingkungan UNDIP*, vol. 5, no. 1, 2016, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>
- [5] M. E. Kosim, R. Siskayanti, D. Prambudi, and W. D. Rusanti, "Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Karbon Aktif Komersil Terhadap Logam Tembaga Dalam Limbah Cair Electroplating," vol. 7, no. 1, 2022.
- [6] R. Rizki, R. Oktaviandra, D. Nurlaeli, and " Wdvlpp%loodk, "Pemanfaatan Tempurung Kluwak Sebagai Adsorben Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Tembaga," *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro Journal*, vol. 01, no. 01, pp. 41–45, 2020, [Online]. Available: www.chempro.upnjatim.ac.id
- [7] Nurfitri Amalia, "Adsorption Of Cr(Iii) And Cr(Vi) From Aqueous Solution By Activated Carbon From Trembesi (Samanea Saman) Seeds," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2015.

- [8] Sirajuddin, Harjanto, and Amin Dwi Agustin, “Pengaruh Temperatur Kabonisasi Terhadap Karakteristik Arang Aktif Dari Tempurung Keluak (Pangium Edule),” in *Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, Samarinda, 2020, p. 60.
- [9] E. R. Wibowo and F. Rosariawari, “Efektivitas Adsorben Kitosan - Natrium Tripolifosfat dalam Menurunkan Konsentrasi Fe dan Mn pada Air Sumur,” *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 1, pp. 67–79, Feb. 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i1.1323.
- [10] M. A. Tuas, “Penurunan Kadar Logam Tembaga dan Besi Pada Limbah Cair Industri Perhiasan Emas Menggunakan Karbon Aktif Melalui Proses Prepitasi dan Adsorpsi,” ITS, Surabaya, 2018.
- [11] B. T. Belaon and N. Hendrasarie, “Penurunan Beban Organik Limbah Batik Jetis Menggunakan Adsorben Serat Tebu, Kulit Kedelai dan Kulit Bawang,” *JSE*, vol. VIII, no. 3, pp. 6180–6190, 2023.
- [12] E. Worch, *Adsorption Technology in Water Treatment*. Dresden: Walter De Gruyter, 2012.
- [13] D. Mohan and C. U. Pittman, “Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water,” *J Hazard Mater*, vol. 137, no. 2, pp. 762–811, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.06.060.
- [14] A. A. Mengistie, T. Siva Rao, A. V. Prasada Rao, and M. Singanan, “Removal of lead(II) ions from aqueous solutions using activated carbon from *Militia ferruginea* plant leaves,” *Bull Chem Soc Ethiop*, vol. 22, no. 3, pp. 349–360, Dec. 2008, doi: 10.4314/bcse.v22i3.61207.
- [15] A. Izzah, “Adsorpsi Logam Tembaga (II) Variasi Derajat Keasaman (Ph) Oleh Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Termodifikasi Asam Sitrat (0,5m; 1,0m; Dan 1,5m),” Skripsi, Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2019.
- [16] C. R. Pramastya and F. Rosariawari, “Modifikasi Kombinasi Elektrokoagulasi-Adsorpsi untuk Menyisihkan Fosfat dan TSS pada Limbah Laundry,” vol. VIII, no. 4, 2023.
- [17] C. R. Pramastya and F. Rosariawari, “Modifikasi Kombinasi Elektrokoagulasi-Adsorpsi untuk Menyisihkan Fosfat dan TSS pada Limbah Laundry,” vol. VIII, no. 4, 2023.