

PENURUNAN KROM TOTAL LIMBAH ELEKTROPLATING DENGAN KARBON AKTIF KULIT KOPI

Aldi Mardiansyah¹, Sri Sunarsih², Suparni S Rahayu³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Lingkungan Universitas AKPRIND Indonesia

Corresponding e-mail: srisunarsih@akprind.ac.id

Copyright © 2026 The Author



This is an open access article

Under the Creative Commons Attribution Share Alike 4.0 International License

DOI: [10.53866/jimi.v6i1.1211](https://doi.org/10.53866/jimi.v6i1.1211)

Abstrak

Industri elektroplating krom menghasilkan limbah cair yang mengandung berbagai logam. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan Cr total limbah cair elektroplating dengan adsorpsi pada arang aktif kulit kopi robusta. Sampel limbah berasal dari air bilasan akhir industri elektroplating krom di daerah Sleman. Optimalisasi adsorben dilakukan secara batch terhadap konsentrasi aktivator karbon HCl (divariasi pada 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 dan 5,0 M), ukuran butiran (20, 40, 60, 80 dan 100 mesh) dan berat adsorben (200, 400, 600, 800 dan 1000 mg). Proses adsorpsi kontinyu dilakukan dengan pipa akrilik diameter $\frac{3}{4}$ inci pada tinggi asorben 15 cm dan laju alir 5,7,9 mL/menit. Analisis konsentrasi krom total (Cr) dilakukan dengan spektrofotometer serapan atom (AAS). Hasil penelitian menunjukkan kadar air arang aktif 8,3% dan kadar abu 2,4%. Sehingga memenuhi standar mutu karbon aktif teknis menurut SNI 06-3730-1995. Pengamatan secara batch menunjukkan, arang aktif memiliki kapasitas adsorpsi terhadap Cr paling efektif pada konsentrasi HCl 1 M, ukuran butiran 80 mesh dan berat 1000 mg dengan penurunan Cr sebesar 5,3 mg dan efisiensi adsorpsi 17,37%. Interaksi dalam sistem kontinyu/kolom memiliki kapasitas adsorpsi paling efektif pada variasi laju alir 5 mL/menit, dengan berat Cr total diserap 274,6 mg dan efisiensi penurunan 90,04%.

Kata Kunci: Karbon Aktif, Krom Total, Kulit Kopi, Limbah Elektroplating

Total Chrome Reduction of Electroplating Waste With Activated Carbon Coffee Skin

Abstract

The chrome electroplating industry produces wastewater containing various heavy metals. This study aims to reduce the total Cr content of electroplating wastewater by adsorption on activated carbon from robusta coffee husks. The waste sample came from the final rinse water of the chrome electroplating industry in Sleman Regency. Optimization of the adsorbent conditions was carried out in batches system on the concentration of HCl carbon activator (varied at 1.0; 2.0; 3.0; 4.0 and 5.0 M), particle size (20, 40, 60, 80 and 100 mesh) and adsorbent weight (200, 400, 600, 800 and 1000 mg). The continuous adsorption process was carried out with a $\frac{3}{4}$ inch diameter acrylic pipe at an adsorbent height of 15 cm and a flow rate of 5, 7, 9 mL/min. Analysis of total chromium (Cr) concentration was carried out using an atomic absorption spectrophotometer (AAS). The results showed that the water content of activated carbon was 8.3% and the ash content was 2.4%. Thus, it met the technical activated carbon quality standards according to SNI 06-3730-1995. Batch observations showed that activated carbon had the most effective adsorption capacity against Cr at a concentration of 1 M HCl, a particle size of 80 mesh and a weight of 1000 mg with a reduction of Cr of 5.3 mg and an adsorption efficiency of 17.37%. Interaction in a continuous/column system had the most effective adsorption capacity at a flow rate variation of 5 mL/min, with a total Cr weight absorbed of 274.6 mg and a reduction efficiency of 90.04%.

Keywords: *Activated Carbon, Chrom Total, Coffe Husk, Electroplating Wastewater*

1. Pendahuluan

Indonesia yang memiliki iklim tropis dengan banyak aktivitas pertanian, perkebunan, dan pengelolaan hutan. Dari aktivitas pertanian dan perkebunan saja diperkirakan dihasilkan sekitar 146 juta ton limbah biomassa per tahun (Zafar, 2026). Limbah pertanian dan perkebunan ini berupa jerami padi, batang jagung, kulit kopi, ampas tebu, dan limbah kelapa sawit. Limbah biomassa berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik (Samsurizal et al, 2023), sebagai bahan bakar padat berupa Briket, Pelet, Biochar (Wahyullah et al, 2018), biogas (Chala et al, 2018) dan karbon aktif.

Salah satu komoditas perkebunan yang berkontribusi terhadap timbulan limbah biomassa adalah kopi. Limbah biomassa komoditas ini secara kuantitas kalah dibanding padi, jagung, sawit dan tebu, namun kontribusi kopi cukup besar (Zhang et al, 2012). Badan Pusat Statistik memberikan estimasi produksi semua jenis kopi Indonesia sekitar 760.002 – 794.800 ton pada periode 2022–2023. Indonesia berada di peringkat 4–5 dunia sebagai negara produsen kopi terbesar dengan produksi setara 5% produksi global. (Trihandani, 2026). Besarnya produksi kopi ini juga diiringi dengan besarnya limbah biomassa yang dihasilkan. Dalam proses pengolahan buah kopi kering, kulit kopi dapat mencapai sekitar 40–50 % dari berat total buah kopi yang dipanen. Komponen limbah biomassa sisa pengolahan kopi kering berupa kulit kopi ini mencapai 51,2 % (Napitupulu et al, 2023). Data perhitungan RPR (*Residue-to-Product Ratio*) yang memberikan perhitungan rasio antara berat limbah/ residu yang dihasilkan terhadap berat produk utama yang dihasilkan untuk kopi bahkan dapat mencapai nilai 1,5 yang berarti untuk setiap kg produk kopi kering dapat dihasilkan limbah biomassa sekitar 1,5 kg (Chala et al, 2018). Perbedaan besaran nilai RPR ini berdasarkan jenis residu (kulit kopi kering, pulp, lendir buah kopi /*mucilage*, dll), metode pengolahan, varietas, dan kelembapan bahan. Dari data produk kopi kering Indonesia dan besaran RPR maka dapat diprediksikan besaran limbah biomassa yang berasal dari kopi.

Komponen utama dari kulit kopi kering adalah ligno selulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) dengan besaran sekitar 75 % (Nguyen et al, 2023). Kandungan selulosa & hemiselulosa menjadikan limbah ini potensial sebagai substrat bioenergi / bioethanol. Lignin yang cukup tinggi (± 23 %) membuat materi ini stabil dan cocok untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan mengubahnya menjadi biobriket/briket (Lisani et al, 2023) dan bio pellet (Carneiro et al, 2025). Komposisi kimia limbah kulit kopi juga membuatnya cocok untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuat kompos (Hidayat, 2020). Dengan metoda fermentasi yang berbeda, limbah kulit kopi dapat menjadi bahan penyusun biogas (Chala, et al 2024).

Di bidang pengolahan bahan pangan limbah kulit kopi dapat dibuat menjadi sekam kulit kopi yang dapat dimanfaatkan sebagai pengawet daging ikan Nila (Diamahesa et al, 2023) dan dibuat tepung sebagai bahan tambahan dalam pembuatan kue bolu (Sitohang et al, 2023). Di bidang material, ada kajian pemanfaatan kulit kopi sebagai pengisi dalam polimer termoplastik untuk dapat memecahkan masalah lingkungan (Gozdecki et al, 2025).

Di bidang pengelolaan lingkungan, kulit kopi dengan komponen terbesarnya berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin cocok dijadikan bahan dasar pembuatan karbon aktif. Proses pirolisis dapat dilakukan dengan memvariasi temperatur operasionalnya pada kisaran 500-700°C. Makin tinggi temperatur yang diaplikasikan akan menghasilkan arang dengan struktur pori yang makin berkembang, meskipun diikuti terjadinya kadar abu yang lebih banyak (Sutiyoso, 2025). Namun temuan lain menunjukkan bahwa waktu pirolisis dan *holding time* tidak selalu berbanding lurus dengan luas permukaan. Kadang *holding time* yang lebih singkat justru menunjukkan luas pori dan volume pori yang lebih besar walau dari sisi kadar karbonnya lebih rendah. Komposisi karbon aktif optimum bisa bervariasi tergantung kombinasi beberapa parameter, Selain bahan dasarnya, kualitas karbon aktif yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh proses aktivasinya (jenis aktivatornya) maupun *holding time*. *Holding time* dapat dipilih pada kisaran 0 – 90 menit (Hai et al, 2025)

Berbagai bahan kimia sudah digunakan sebagai aktivator. Antara lain KOH, NaOH, H₃PO₄, ZnCl₂, K₂CO₃ dan FeCl₃. Peran aktivator ini antara lain menembus struktur awal biomassa/arang dan bereaksi dengan komponennya sebelum dan selama karbonisasi. Selanjutnya aktivator akan memecah ikatan lignoselulosa, memacu *devolatilization*, serta mempercepat eliminasi tar/hidrokarbon ringan. Aktivator asam atau basa berperan dalam proses dehidrasi, menghilangkan gugus H⁺ dan OH⁻ sehingga mempercepat pembentukan rangka aromatik stabil. Proses aromatisasi ini mendorong pembentukan struktur grafitik/paragrafit yang lebih rigid dan berpori. Keberadaan aktivator ini juga dapat menyebabkan reaksi korosi atau oksidasi sebagian permukaan karbon sehingga membentuk mikro dan mesopori. KOH/NaOH: menghasilkan gas (H₂), karbonat (CO₃²⁻) yang menciptakan jalur pori. Sedangkan H₃PO₄ dapat membentuk

ion fosfat yang melekat dan memperluas serta meningkatkan adsorpsi spesifik terhadap logam. Aktivator $ZnCl_2$ membantu pembentukan pori dengan menghambat tar (Yang et al, 2022).

Dibandingkan dengan metode konvensional, adsorpsi dengan karbon aktif yang disintesis dari limbah yang dapat terurai secara hayati memiliki banyak keuntungan antara lain biaya, pemulihan fungsinya, dan keberlanjutan. Modifikasi permukaan karbon aktif dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi dan memperluas penerapannya dalam pengolahan air limbah. Dengan demikian, karbon aktif yang dimodifikasi ini dapat dikomersialkan serta diaplikasikan sebagai media filtrasi. Beberapa fungsinya antara lain sebagai penghilang warna dan bau, pemulihan logam, adsorpsi polutan organik maupun kontaminan persisten (Pet, et al, 2024)

Salah satu pemanfaatan karbon aktif yang sudah banyak diteliti adalah untuk pengolahan air limbah elektroplating. Adelia et al (2025) mengembangkannya pada kitosan untuk mengadsorpsi Ni^{2+} . Sementara adsorpsi terhadap Cr, Cu, Fe juga pernah dilakukan (Worku et al 2023, Putri et al, 2024). Pengolahan metoda adsorpsi ini penting disosialisasikan kepada masyarakat mengingat beberapa kasus pencemaran air sudah terjadi yang diduga berasal dari limbah elektroplating. Salah satunya terjadi di daerah Kotagede yang terkenal dengan kerajinan peraknya. Menurut hasil analisis, pencemaran terjadi karena persepsi kebanyakan masyarakat masih belum menganggap serius adanya penurunan kualitas air tanah akibat limbah elektroplating (Saraswati et al, 2019). Pencemaran juga terjadi di teluk Semarang (Ikhsan, 2026), di Cakung, Jakarta (Moersidik et al, 2020) industri kecil di Banguntapan, Bantul yang tidak memiliki IPAL (Jauharoh et al, 2020). Beberapa contoh pencemaran dari kegiatan elektroplating terjadi karena kurangnya pemahaman tentang potensi dampak yang serius yang dapat terjadi, teknologi pengolahan yang mahal atau kurang dapat difahami oleh masyarakat.

Mengingat besarnya potensi limbah kulit kopi yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dan banyaknya kasus pencemaran air akibat kegiatan elektroplating, maka perlu dikembangkan teknologi tepat guna untuk pengolahan limbah industri elektroplating, misalnya dengan adsorpsi melalui kolom filtrasi. Teknologi tepat guna yang dikembangkan harus mudah difahami dan ditangani oleh masyarakat awam sehingga masyarakat pelaku usaha pelapisan logam dapat secara konsisten melakukan pengolahan air limbahnya. Penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari limbah biomassa dan implementasinya dalam pengolahan limbah cair pelapisan logam masih sangat relevan untuk dikembangkan.

2. Metode Penelitian

2.1. Objek, waktu dan Tempat

Penelitian ini mengamati karakteristik karbon aktif yang disintesis dari kulit biji kopi kering (coffee husk) dan diaktivasi dengan asam HCl dan digunakan untuk menurunkan kadar Cr total dari limbah elektroplating. Waktu penelitian dimulai bulan September sampai selesai. Penelitian dilaksanakan di laboratorium Teknik Lingkungan Universitas AKPRIND Indonesia.

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Data proses pembuatan karbon aktif diperoleh dengan cara pengeringan kulit kopi dengan sinar matahari selama 12 jam kemudian melakukan pirolisis selama 6 jam, sampai terbentuknya karbon. Selama pembakaran suhu proses pirolisis diukur. Selanjutnya karbon yang dihasilkan didinginkan hingga suhu ruang. Tahap berikutnya adalah melakukan proses aktivasi. Proses aktivasi dilakukan secara kimia dengan merendam 600 mg arang di dalam 250 mL larutan aktivator HCl 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 dan 5,0 M selama 24 jam dengan pengadukan 150 rpm menggunakan shaker pada temperatur ruang. Setelah itu arang disaring dengan kertas saring whatman 42 dan dicuci dengan akua DM (demineral) hingga netral serta dikeringkan dalam oven pada suhu $105^{\circ}C$ selama 3 jam

Tahap kedua adalah melakukan uji kadar air pada arang aktif yang terbentuk berdasar SNI (1995). Arang aktif sebanyak 1,0 gram ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui bobot keringnya. kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $105^{\circ}C$ selama 3 jam dan didinginkan di dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang dan hasilnya dicatat. Pengeringan diulangi beberapa kali masing-masing selama 1 jam sampai berat konstan. Kadar air dihitung dari selisih berat arang kering dibagi berat awal (1,0 gram).

Tahap ke tiga adalah melakukan uji kadar abu pada arang. Sebanyak 1,0 gram arang aktif ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui bobot keringnya kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu $800-900^{\circ}C$ selama 2 jam. Arang aktif didinginkan dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang. Kadar abu dihitung dari berat abu dibagi berat arang aktif semula (1,0 gram).

Tahap ke empat adalah pengambilan sampel air limbah elektroplating. Sampel berupa cairan

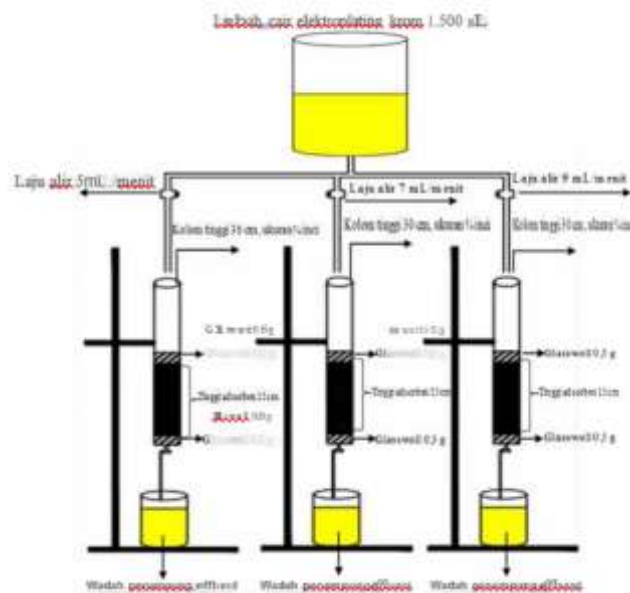
pembilasan dari proses *finishing* pelapisan krom yang ditampung di dalam wadah jerigen ukuran 50 liter. Limbah cair elektroplating yang berada di dalam wadah diaduk supaya homogen, kemudian pengujian in situ terhadap parameter air limbah dan udara, kekeruhan, daya hantar listrik dan pH air limbah. Sampel kemudian diambil dengan gayung secara bertahap, kemudian disaring dan disimpan jerigen sebanyak \pm 10 liter

Tahap ke 5 adalah penentuan pengaruh konsentrasi aktivator HCl arang aktif terhadap kapasitas adsorpsi krom total. Botol plastik sebanyak 5 (lima) masing-masing diisi air limbah 100 mL, arang aktif kulit kopi 600 mg dan ukuran butiran 60 mesh yang diaktivasi dengan larutan HCl yang konsentrasinya bervariasi yaitu 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 dan 5,0 M. Campuran dikocok dengan *shaker* selama 1 jam kemudian disaring dengan kertas saring *whatman* 42. Filtrat yang diperoleh diukur kandungan logam krom total dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), dan akan terlihat arang aktif dengan konsentrasi aktivator tertentu yang mampu mengadsorpsi Cr paling banyak.

Tahap ke 6 adalah menentukan pengaruh ukuran butiran arang aktif terhadap kapasitas adsorpsi krom total. Botol plastik sebanyak 5 (lima) masing-masing diisi air limbah 100 mL, arang aktif kulit kopi 600 mg dengan konsentrasi aktivator paling efektif dan ukuran butiran bervariasi pada 20 mesh, 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh dan 100 mesh. Campuran dikocok selama 1 jam menggunakan *shaker* kemudian disaring dengan kertas saring *whatman* 42. Filtrat yang diperoleh diukur kandungan logam krom total dengan SSA.

Tahap ke 7 adalah menentukan pengaruh berat arang aktif terhadap kapasitas adsorpsi krom total. Limbah elektroplating sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam 5 wadah (botol plastik), ditambahkan arang aktif kulit kopi pada konsentrasi aktivator dan ukuran butiran paling efektif dan berat bervariasi pada 200 mg, 400 mg, 600 mg, 800 mg dan 1000 mg. Campuran dikocok dengan *shaker* selama 1 jam. Limbah kemudian disaring dengan kertas saring. Filtrat yang diperoleh diukur kadar krom total dengan SSA.

Tahap ke 8 adalah proses adsorpsi limbah cair elektroplating oleh arang aktif kulit kopi. Kolom adsorpsi dari tabung akrilik ukuran $\frac{3}{4}$ inci dengan tinggi 30 cm sebanyak 3 buah dibersihkan menggunakan air mengalir hingga benar-benar bersih dari zat pengotor. Selanjutnya bagian dasar kolom yang sudah bersih diberi 0,5 gram glasswool yang sudah dicuci dengan aqua DM kemudian ditekan hingga memadat. Kolom diisi arang aktif kulit kopi robusta yang konsentrasi aktivator dan ukuran butiran optimum (dari proses batch) dengan tinggi unggun 15 cm. Kemudian limbah cair industri elektroplating sebanyak 1500 mL dialirkan secara *downflow* ke dalam 3 kolom dengan laju alir divariasi pada nilai 5, 7, 9 mL/menit. Pada menit ke 60 effluen diambil, disaring dengan kertas saring dan filtrat yang diperoleh dianalisis kandungan krom total menggunakan SSA. Susunan alat adsorpsi kontinyu tertera pada gambar 1.



Gambar 1. Desain rangkaian alat proses adsorpsi kolom/kontinyu

Tahap 9 menganalisis sampel kromium total limbah cair industri elektroplating yang sudah diinteraksikan dengan arang aktif. Preparasi sampel dilakukan dengan mengasamkan 50 mL sampel hasil perlakuan, ditambah 5 mL HNO₃ pekat dan dipanaskan. Penambahan asam dan pemanasan diulangi sampai sampel uji menjadi jernih dan volume tinggal 15-20 mL. Volume sampel dikembalikan menjadi 50 mL. Sampel diamati dengan SSA dengan konsentrasi larutan standar 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; dan 1,2 ppm.

2.3. Teknik Analisis Data

Sebagai dasar penentuan konsentrasi larutan yang diamati, sederet larutan standar yang diketahui konsentrasinya diamati absorbansinya dengan spektrofotometer serapan atom. Hasil pengukuran kemudian dibuat kurva kalibrasi absorbansi vs konsentrasi. Kurva kalibrasi ini dapat dihitung persamaan garisnya dengan menggunakan regresi linier. Konsentrasi Cr dalam sampel dihitung memasukkan nilai absorbansinya ke persamaan linier kurva kalibrasi. Sedangkan kadar berat Cr yang teradsorpsi oleh arang aktif diperoleh dengan mengamati absorbansi larutan sisa adsorpsi dan menghitung konsentrasi Cr-nya. Jadi Cr yang teradsorpsi pada permukaan karbon aktif = Cr mula-mula dalam sampel dikurangi Cr yang masih tersisa dalam larutan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Penelitian

Karakteristik Arang Aktif Kulit Kopi Robusta

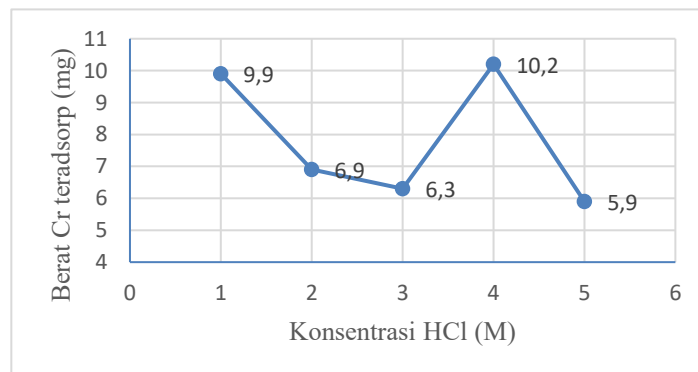
Pengukuran parameter arang aktif kulit kopi robusta ini akan memberikan sedikit gambaran kualitas arang aktif yang dihasilkan berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Dalam hal ini parameter yang diuji meliputi kadar air dan kadar abu. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik arang aktif hasil

Parameter	Kadar (%)	
	SNI 06-3730-1995	Arang aktif hasil
Kadar air	Maksimal 15	8,3
Kadar abu	Maksimal 10	2,4

Sumber : data primer

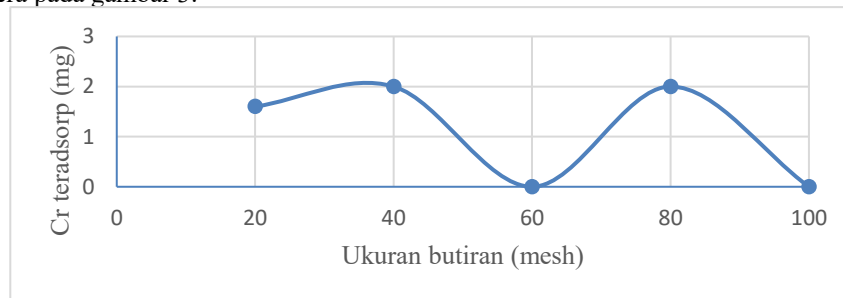
Berikut ini adalah hasil uji pengaruh variasi konsentrasi aktivator terhadap adsorpsi Cr total. Pengujian dilakukan dengan menginteraksikan 600 mg berukuran 60 mesh yang aktivator HCl-nya bervariasi pada 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 dan 5,0 M dengan 100 mL sampel limbah elektroplating. Proses interaksi dilakukannya selama 60 menit secara *batch*. Konsentrasi awal Cr total dalam limbah cair elektroplating sebelum perlakuan sebesar 305 mg/L (30,5 mg dalam 100mL). Berat Cr total yang diserap oleh karbon aktif dengan konsentrasi aktivator yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi aktivator HCl terhadap berat Cr teradsorpsi

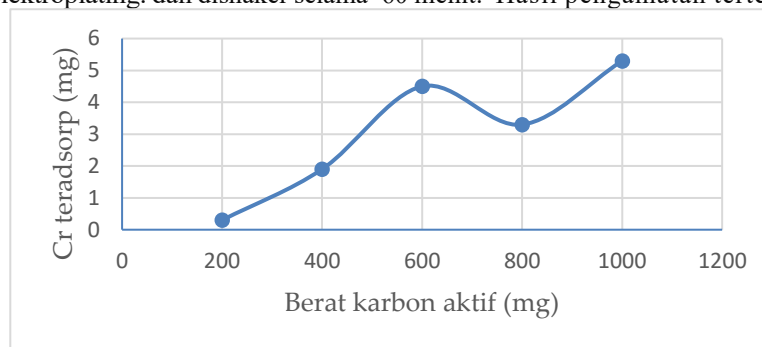
Data berikutnya menyajikan hasil uji pengaruh variasi ukuran butiran terhadap adsorpsi Cr total. Uji pengaruh ukuran butiran karbon aktif dilakukan menggunakan ukuran 20, 40, 60, 80 dan 100 mesh yang diaktivasi dengan HCl 1,0 M. Karbon aktif seberat 600 mg diinteraksikan dengan 100 mL limbah

elektroplating dan dishaker selama 60 menit. Sisa larutan diukur konsentrasi Cr nya dengan AAS. Hasilnya tertera pada gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh ukuran butiran terhadap Cr teradsorp

Selanjutnya disajikan data pengaruh variasi berat terhadap adsorpsi Cr total. Uji pengaruh variasi berat adsorben dilakukan dengan menggunakan karbon aktif yang diaktivasi dengan HCl 0,1 M dan ukuran butiran 80 mesh. dengan berat bervariasi berat 200, 400, 600, 800 dan 1000 mg. Karbon aktif diinteraksikan dengan 100 mL limbah cair elektroplating. dan dishaker selama 60 menit. Hasil pengamatan tertera pada gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh berat karbon aktif terhadap Cr teradsorp

Data terakhir berasal dari proses adsorpsi Cr total dengan arang aktif secara kontinu / kolom. Proses adsorpsi secara kontinu/kolom dilakukan menggunakan karbon yang diaktivasi dengan HCl 1 M, dengan ukuran butiran 80 mesh (sesuai kondisi optimum yang diperoleh melalui proses batch.. Tinggi kolom 30 cm dengan diameter ¾ inci. Laju alir divariasikan dari 5, 7 dan 9 mL/menit tinggi bed adsorben 15 cm. Efluen di analisis Cr totalnya pada menit ke 60 (1 jam). Konsentrasi Cr total pada sampel yang belum ditangani sebesar 305 mg. Hasilnya tertera pada tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh laju alir terhadap Cr teradsorp

Laju alir limbah mL/menit)	Cr total teradsorp (mg)	Effisiensi adsorpsi (%)
5	274,6	90,04
7	274,0	89,83
9	274,5	90,00

3.2. Pembahasan

Kadar air arang aktif kulit kopi robusta yang dihasilkan adalah 8,3%, yang menunjukkan bahwa air yang terjebak dalam pori arang aktif sedikit. Semakin kecil nilai kadar air maka pori-pori yang tersedia untuk proses adsorpsi semakin besar karena air berkompetisi dengan adsorbat untuk menempati pori-pori (He et al, 2023).

Kadar abu arang aktif 2,4% yang dihasilkan juga rendah. Adanya abu cenderung mengurangi luas permukaan spesifik dan volume pori mikro, sehingga kapasitas adsorpsi turun dibandingkan karbon aktif dengan kadar abu yang lebih rendah. (Chin, 2020). Abu mengandung mineral tak terkarbonisasi (mis. oksida logam) yang mengisi zona pori atau menyekat saluran pori. Hal ini mengurangi jumlah micropore yang terbentuk saat proses aktivasi, sehingga luas permukaan adsorpsi efektif menurun (Hangzhou, 2022). Kedua data karakteristik tersebut sudah sesuai dengan baku mutu arang aktif teknis yang

dinyatakan dalam SNI 06-3730-1995 sehingga arang aktif yang diperoleh memenuhi kriteria baik untuk mengadsorpsi loga dari air limbah.

Data gambar 2 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan sebagai aktivator, kapasitas adsorpsi karbon aktifnya semakin turun. Hal ini bersesuaian dengan pengamatan yang dilakukan oleh Saskia (2025) yang mengamati kapasitas adsorpsi karbon aktif dengan kisaran konsentrasi aktivator 0,5–2,5 M dan memperoleh hasil konsentrasi aktivator HCl optimum pada ampas pada 1 M. Aktivator asam ini berperan menghilangkan abu dan mineral dari permukaan karbon sehingga pori-porinya lebih terbuka dan luas permukaannya meningkat. Bertambahnya konsentrasi aktivator diharapkan permukaan karbon aktif semakin bersih dan kapasitas adsorpsinya makin meningkat. Namun ternyata pada konsentrasi yang lebih besar, menyebabkan kerusakan pori atau penggantian gugus permukaan yang menurunkan kapasitas adsorpsi (Ben Ali, 2025).

Gambar 3 memperlihatkan kapasitas adsorpsi terhadap Cr fluktuatif terhadap ukuran butiran dan hal seperti ini sering terjadi. Menurut Pet et al (2024), meskipun ukuran partikel mempengaruhi luas permukaan adsorben, kapasitas adsorpsi juga bergantung pada pengembangan struktur pori mikro/meso dan interaksi adsorbat-adsorben, yang bisa memunculkan tren yang tidak simpel dan berakibat pada adsorpsi yang fluktuatif.

Gambar 4 pada adsorpsi secara *batch*, tampak bahwa peningkatan dosis adsorben menunjukkan kenaikan Cr yang teradsorpsi, tetapi kapasitas adsorpsi per gram sering justru menurun. Salah satu faktor penyebabnya adalah tidak semua situs aktif pada karbon termanfaatkan (*underutilization*) ketika adsorben terlalu banyak sedangkan jumlah ion logam terbatas. Kemungkinan yang lain adalah terjadinya agregasi partikel karbon aktif pada dosis tinggi yang dapat menutup sebagian permukaan aktif sehingga menurunkan efektivitas adsorpsinya (Hassan et al, 2021).

Data tabel 2 terlihat hasil adsorpsi Cr total dengan arang aktif secara kontinyu / kolom. Tabel 2 menunjukkan bahwa perbedaan laju alir pada kisaran 5 -9 mL/menit tidak memberi perbedaan yang signifikan pada berat Cr total yang teradsorpsi maupun efisiensi adsorpsi. Kisaran nilai laju alir tersebut memberikan waktu yang cukup pada air limbah untuk berinteraksi dengan karbon aktif sehingga proses adsorpsi memiliki efisien cukup tinggi.

3.3. Kaitan dengan Tujuan Penelitian

Serangkaian hasil penelitian menunjukkan bahwa arang aktif yang berbahan dasar kulit kopi dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam Cr yang terdapat dalam air limbah elektroplating. Melalui proses optimasi kadar aktivator dan ukuran butiran yang dilakukan secara batch, diperoleh kondisi optimum untuk digunakan dalam metode kontinyu. Sebelum dapat diimplementasikan untuk mengolah air limbah elektroplating, metode kontinyu ini dapat diamati lebih lanjut laju alir optimumnya serta usia pakai karbon aktifnya sebelum mencapai jenuh. Perlu juga dipelajari lebih detail proses regenerasi karbon aktifnya.

4. Kesimpulan

Karbon aktif kulit kopi robusta hasil pirolisis memiliki kadar air sebesar 8,3 % dan kadar abu sebesar 2,4 %. Hasil ini telah memenuhi standar mutu arang aktif berdasarkan SNI Arang Aktif Teknis 06-3730-1995. Pada proses batch efektivitas optimum untuk mengadsorpsi Cr total limbah cair industri elektroplating diperoleh pada karbon yang diaktivasi dengan HCl 1,0 M, ukuran butiran 80 mesh dan berat karbon aktif 1000 mg. Pada proses kontinyu/kolom didapatkan efektivitas adsorpsi optimum terjadi laju alir 5 mL/menit dengan berat Cr total diserap 274,6 mg dan efisiensi penurunan 90,04 %.

Bibliografi

- Adelia, A., Kosim, A. R., Utami, I., Pujiastuti, C., & Panjaitan, R. (2025). Reduction Of Ni²⁺ Concentrations In Electroplating Process Wastewater Using Chitosan-Active Carbon Adsorbent. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(3), 84–97.
- Ben Ali, M., Benzaouak, A., Tangarfa, M., Abrouki, Y., Belekbir, S., hazzat, M. EL, El Hamidi, A., & Abdelouahed, L. (2025). Multi-response optimization of the adsorption properties of activated carbon produced from H₂SO₄ activated sludge: Effects of washing with HCl. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11(March), 101219. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101219>
- bps.go.id. (2024). Badan Pusat Statistik Bps-Indonesia Coffee Statistics. *Bps.Go.Id*, 8, 11–12.

- Carneiro, A. de C. O., Zanoncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Jorge, J. A. C. G., dos Santos, R. J. C., Demuner, I. F., Peres, L. C., Winter, S. G., de Castro, V. R., Branco-Vieira, M., & Araújo, S. de O. (2025). Sustainable Production of Coffee Husk Pellets: Applying Circular Economy in Waste Management and Renewable Energy Production. *Resources*, 14(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/resources14020026>
- Chala, B., Oechsner, H., Latif, S., & Müller, J. (2018). Biogas potential of coffee processing waste in Ethiopia. *Sustainability* (Switzerland), 10(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su10082678>
- Chin, K. L., Lee, C. L., H'ng, P. S., Rashid, U., Paridah, M. T., Khoo, P. S., & Maminski, M. (2020). Refining Micropore Capacity of Activated Carbon Derived from Coconut Shell via Deashing Post-Treatment. In *BioResources* (Vol. 15, Issue 4, pp. 7749–7769). <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.7749-7769>
- Diamahesa, W. A., & Muahiddah, N. (2023). Potensi Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi (Coffee Husk) dalam perikanan (Review). *Journal of Fish Nutrition*, 3(1), 8–18. <https://doi.org/10.29303/jfn.v3i1.2760>
- Gozdecki, C., Kociszewski, M., Moraczewski, K., Karasiewicz, T., Łazarska, M., & Stepczyńska, M. (2025). Green Composite Based on a Polymer Mixture Containing Biopolymer and Waste Coffee Husks. *Polymers*, 17(13). <https://doi.org/10.3390/polym17131748>
- Hai, A., Daud, W. M. A. W., Patah, M. F. A., Bharath, G., AlMohamadi, H., Tang, D. Y. Y., Show, P. L., & Banat, F. (2025). A comprehensive insight on activated carbon production from agricultural biomass: Parametric analysis, challenges, future recommendations & machine learning modelling. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 27(August), 200284. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2025.200284>
- Hangzhou, N. T. C. . L. (2022). *Effect Of Ash Content On Activated Carbon*. 1–4. <https://www.naturecarbon.com/about-us>
- Hassan, M., Liu, Y., Naidu, R., Du, J., Qi, F., Donne, S. W., & Islam, M. M. (2021). Mesoporous Biopolymer Architecture Enhanced the Adsorption and Selectivity of Aqueous Heavy-Metal Ions. *ACS Omega*, 6(23), 15316–15331. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01642>
- He, F., Zhang, J., Liu, A., & Zhu, G. (2023). Influence of humidity on adsorption performance of activated carbon. *E3S Web of Conferences*, 416. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341601001>
- Hidayat, E., Afriliana, A., Gusmini, Taiza, M., & Harada, H. (2020). International Journal of Food , Agriculture , and Natural Resources Evaluate of Coffee Husk Compost. *International Journal of Food, Agriculture, and Natural Resources*, 1(1), 37–43.
- Ikhsan, M. F. N. (2026). *Industri Elektroplating Cemari Teluk Semarang*. Semarang.Bisnis.Com. <https://semarang.bisnis.com/read/20250113/536/1831319/industri-elektroplating-cemari-teluk-semarang?> Diakses 6 Januari 2026
- Jauharoh, A. H., Nurmiyanto, A., & Yulianto, A. (2020). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pada Kegiatan Pelapisan Logam (Elektroplating) Skala Kecil Dan Menengah (Ikm X) Di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 12, 25–44
- Lisani, Indriyani, & Irawati, N. (2023). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Arabika (Coffea Arabika L.) Menjadi Biobriket Utilization. *Jurnal Agroindustri Pangan I*, 53(1), 1–19.
- Moersidik, S. S., Nugroho, R., Handayani, M., Kamilawati, & Pratama, M. A. (2020). Optimization and reaction kinetics on the removal of Nickel and COD from wastewater from electroplating industry using Electrocoagulation and Advanced Oxidation Processes. *Heliyon*, 6(2), e03319. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03319>
- Napitupulu, R., Rusmarini, U. K., & Hartati, R. M. (2023). Pemberian Kompos Kulit Kopi pada Beberapa Komposisi Media Tanam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Merah. *Agritech : Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 25(1), 121. <https://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/AGRITECH/article/view/17116>
- Nguyen, D. Van, Duong, C. T. T., Vu, C. N. M., Nguyen, H. M., Pham, T. T., Tran-Thuy, T. M., & Nguyen, L. Q. (2023). Data on chemical composition of coffee husks and lignin microparticles as their extracted product. *Data in Brief*, 51, 109781. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109781>
- Pet, I., Sanad, M. N., Farouz, M., ElFaham, M. M., El-Hussein, A., El-sadek, M. S. A., Althobiti, R. A., & Ioanid, A. (2024). Review: Recent Developments in the Implementation of Activated Carbon as Heavy Metal Removal Management. *Water Conservation Science and Engineering*, 9(2), 1–15.

- <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00287-3>
- Putri, S. A., Hanavia, M. S., Chrisnandari, R. D., & Ningsih, W. (2024). *Adsorben Tembaga Dan Besi Pada Limbah Cair*. 10(9), 798–811
- Samsurizal. (2023). Seminar Nasional TREN D Pemanfaatan Pengolahan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Sumber Alternatif. *TREN D-Technology of Renewable Energy and Development*, 1–11.
- Saraswati, D. H., Murti, S. H., & Adji, T. N. (2019). *Kajian Kerusakan Lingkungan Perairan Airtanah Akibat Pembuangan Limbah Industri Elektroplating (Penyepuhan Logam Perak) Study of Environmental Damage of (Silver Metal Coating)*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/173482>
- Saskia, S. A. D., Alfrinda, S., & Nadir, M. (2025). Pada Aktivasi Karbon Aktif Dari Ampas Teh. *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, 5(1), 10–17. <https://doi.org/10.46964/jimsi.v5i1.1316>
- Sitohang, A., Daniela, C., Maruba, P., Telaumbanua, A., & Sitohang, A. y. (2024). Pemanfaatan Limbah Kulit Ari Kopi (Spermodem) Untuk Mengurangi Penggunaan Tepung Terigu Dalam Pembuatan Bolu. *Jurnal Riset Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian (RETIPA)*, 4(Pemanfaatan Ikan Belut Sawah (Monopterus albus) sebagai Sediaan Bahan Pangan Konsentrat Protein Ikan), 85–91. <https://ejournal.ust.ac.id/index.php/retipa/article/view/3817/2905>
- Sutiyoso, M. M., Faradila, R., & Tantal, L. (2025). Karakteristik Fisikokimia Biochar Ampas Kopi dengan Perbedaan Perlakuan Suhu dan Waktu Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian*, 10(2), 43–50.
- Trihandani, 2026, Kopi Pilar Penting Ekspor Indonesia, <https://goodstats.id/article/kopi-pilar-penting-ekspor-indonesia-hIzF9?> Diakses 6 Januari 2026
- Wahyullah, Oka Dwi Putra, & Ismail. (2018). Pemanfaatan Biomassa Tumbuhan Menjadi Biopellet sebagai Alternatif Energi Terbarukan. *Hasanuddin Student Journal*, 2(1), 239–247. <https://core.ac.uk/download/pdf/230431358.pdf>
- Worku, Z., Tibebu, S., Nure, J. F., Tibebu, S., Moyo, W., Ambaye, A. D., & Nkambule, T. T. I. (2023). Adsorption of chromium from electroplating wastewater using activated carbon developed from water hyacinth. *BMC Chemistry*, 17(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s13065-023-00993-4>
- Yang, J., Fu, L., Wu, F., Chen, X., Wu, C., & Wang, Q. (2022). Recent Developments in Activated Carbon Catalysts Based on Pore Size Regulation in the Application of Catalytic Ozonation. *Catalysts*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/catal12101085>
- Zafar, S., & Consult, B. (2026). Biomass Energi in Indonesia. <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energy-resources-in-indonesia/?> Diakses 6 Januari 2026
- Zhang, Y., Ghaly, A. E., & Li, B. (2012). Availability and physical properties of residues from major agricultural crops for energy conversion through thermochemical processes. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(3), 312–321. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2012.312.321>