

## Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Durian dengan Aktivator HCl dan Aplikasinya sebagai Biosorben Logam Tembaga

Muhsinun<sup>a,1,\*</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pendidikan Nusantara Global, Indonesia

<sup>1</sup> Email: [cinun.chemist@gmail.com](mailto:cinun.chemist@gmail.com)\*

\*Corresponding author

| ARTICLE INFO   | ABSTRACT  |
|--|---|
| <b>Article history</b><br>.....<br>Received May 26, 2025<br>Revised June 10, 2025<br>Accepted June 24, 2025<br>Published June 29, 2025   | Utilization of biomass waste into activated carbon represents a sustainable strategy for environmental management while also providing eco-friendly functional materials. This study employs durian peel ( <i>Durio zibethinus</i> ) as the raw material for activated carbon production through carbonization at 400 °C for 2 hours, followed by chemical activation using HCl solution at varying concentrations. The resulting activated carbon was characterized based on its physical properties (moisture content, ash content, iodine adsorption capacity) as well as surface morphology using SEM. Adsorption tests for Cu <sup>2+</sup> ions were conducted using the batch method under different initial concentrations and contact times. The results showed that HCl activation reduced moisture content to 4.2%, lowered ash content to 3.9%, and enhanced iodine adsorption capacity to 892 mg/g. SEM analysis revealed increased porosity with pore sizes ranging from 0.5–2.5 μm. Adsorption tests indicated an optimum uptake capacity of 40.2 mg/g with efficiency exceeding 80% at a solution concentration of 50 ppm and a contact time of 60 minutes. Adsorption data were better fitted to the Langmuir isotherm model ( $R^2 = 0.987$ ) and pseudo-second-order kinetics ( $R^2 = 0.991$ ), indicating a monolayer chemisorption-based mechanism. These findings highlight the great potential of durian peel as a low-cost, effective, and environmentally friendly source of activated carbon for the remediation of heavy metal-contaminated wastewater, particularly copper ions. |
| <b>Keywords</b><br>activated carbon<br>durian peel<br>HCl<br>Biosorben<br>Cu <sup>2+</sup> ions  |   |
|  License by CC-BY-SA<br>Copyright © 2025, The Author(s).  |   |
| <p><b>How to cite:</b> Muhsinun, M. (2025). Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Durian dengan Aktivator HCl dan Aplikasinya sebagai Biosorben Logam Tembaga. <i>Pure Chemistry Research</i>, 1(1), 22-27. <a href="https://doi.org/10.70716/purechem.v1i1.268">https://doi.org/10.70716/purechem.v1i1.268</a></p> |   |

## PENDAHULUAN

Isu pencemaran lingkungan akibat meningkatnya volume limbah biomassa menjadi perhatian global maupun nasional. Indonesia sebagai negara tropis kaya akan keanekaragaman hayati menghasilkan berbagai jenis limbah organik, salah satunya adalah kulit durian (*Durio zibethinus*). Proporsi kulit pada buah durian mencapai 60–75 %, sehingga sisa konsumsi masyarakat menghasilkan limbah dalam jumlah besar setiap musim panen. Jika tidak dikelola, limbah ini berpotensi mencemari lingkungan karena proses pembusukan yang menghasilkan bau menyengat dan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan strategi pemanfaatan limbah kulit durian menjadi produk bernilai tambah tinggi, salah satunya sebagai bahan baku karbon aktif (Ruspita, Agipa, & Kurnia, 2024). Karbon aktif merupakan material padat berpori yang tersusun dari karbon amorf dengan luas permukaan dan volume pori besar, sehingga banyak dimanfaatkan sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair maupun gas. Keunggulan karbon aktif terletak pada kapasitas adsorbsinya yang tinggi terhadap zat organik maupun anorganik, termasuk logam berat. Umumnya karbon aktif diproduksi dari bahan baku seperti batubara, tempurung kelapa, atau kayu, namun tren penelitian kini mengarah pada pemanfaatan limbah biomassa untuk menggantikan bahan baku konvensional yang relatif mahal dan tidak terbarukan (Hanum, Gultom, & Simanjuntak, 2017). Kulit durian mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin, dan senyawa karbon kompleks lainnya. Komposisi tersebut menjadikannya bahan baku potensial untuk karbonisasi karena menghasilkan arang dengan kandungan karbon tinggi. Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa karbon aktif berbasis kulit durian memiliki sifat fisik dan kimia yang baik sebagai adsorben, seperti porositas yang luas serta kestabilan termal dan kimia. Hal ini menunjukkan

peluang besar pemanfaatannya untuk remediasi lingkungan, terutama dalam pengolahan limbah cair industri yang mengandung polutan berbahaya (Ningrum, 2023).

Aktivasi merupakan tahap penting dalam produksi karbon aktif. Aktivasi bertujuan meningkatkan luas permukaan spesifik, membuka pori tertutup, dan memperbaiki distribusi pori. Terdapat dua metode utama aktivasi, yaitu fisika dan kimia. Aktivasi kimia menggunakan agen kimia seperti HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, atau KOH terbukti lebih efektif dalam meningkatkan karakteristik karbon aktif. Di antara berbagai aktivator, HCl dinilai praktis, relatif murah, dan mampu melarutkan mineral pengotor sehingga pori karbon terbuka secara optimal (Huda, Ratnani, & Kurniasari, 2020). Sejumlah penelitian di Indonesia telah mengeksplorasi penggunaan kulit durian sebagai adsorben. Misalnya, Ruspita et al. (2024) melaporkan bahwa karbon aktif kulit durian teraktivasi HCl mampu menurunkan Chemical Oxygen Demand (COD) limbah cair laboratorium hingga 20 %. Marwanto, Mulyati, dan Adeko (2024) juga menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian yang diaktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dapat menurunkan kadar Fe dan Mn dalam air sumur gali. Temuan ini membuktikan bahwa variasi aktivator berperan penting dalam menentukan kinerja adsorpsi karbon aktif dari kulit durian.

Selain aplikasi pada penyerapan zat organik, karbon aktif kulit durian juga telah diuji untuk menyerap zat warna sintetis. Asyik dkk. (2021) menemukan bahwa karbon aktif kulit durian mampu menyerap metilen biru dengan efisiensi hingga 99 %. Sementara itu, Moelyaningrum dan Ningrum (2018) menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis kulit durian efektif mengadsorpsi kromium (Cr<sup>6+</sup>) dari limbah batik. Hal ini menunjukkan fleksibilitas material tersebut dalam mengatasi berbagai jenis kontaminan, baik organik maupun anorganik. Meskipun demikian, kajian pemanfaatan karbon aktif kulit durian secara spesifik untuk menyerap logam tembaga (Cu<sup>2+</sup>) masih relatif terbatas. Padahal, logam Cu banyak digunakan dalam industri elektroplating, tekstil, dan pertambangan, serta berpotensi mencemari lingkungan perairan. Konsentrasi Cu yang tinggi dapat menimbulkan dampak toksik, seperti kerusakan hati, ginjal, dan sistem saraf pada manusia, serta mengganggu pertumbuhan organisme akuatik. Oleh karena itu, strategi penghilangan Cu dari air limbah menjadi penting untuk kesehatan masyarakat dan ekosistem (Anggriani, Hasan, & Purnamasari, 2021).

Berbagai biosorben lain telah dilaporkan mampu mengadsorpsi Cu<sup>2+</sup>, misalnya arang aktif kulit pisang (Imelda, Khanza, & Wulandari, 2019), kulit salak teraktivasi HNO<sub>3</sub> (Purwiandono & Ibrahim, 2022), serta adsorben berbasis tempurung kelapa. Namun, bahan baku tersebut memiliki keterbatasan dalam ketersediaan musiman, biaya pengolahan, maupun kapasitas adsorpsi. Dengan demikian, eksplorasi kulit durian sebagai biosorben Cu<sup>2+</sup> menjadi relevan, mengingat ketersediaannya yang melimpah di Indonesia serta minimnya penelitian serupa yang telah dipublikasikan. Proses produksi karbon aktif dari kulit durian umumnya melibatkan karbonisasi pada suhu 400–700 °C untuk membentuk arang, kemudian diikuti dengan aktivasi menggunakan agen kimia. Karakterisasi karbon aktif dilakukan melalui uji kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin untuk menilai kualitas fisik dan kimia. Selain itu, pengamatan morfologi dengan Scanning Electron Microscope (SEM) diperlukan untuk mengonfirmasi struktur pori yang terbentuk setelah aktivasi (Utama, 2023).

Daya serap iodin merupakan parameter penting yang menggambarkan luas permukaan efektif dari karbon aktif. Nilai daya serap iodin yang tinggi menandakan jumlah pori mikro lebih banyak, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap molekul kecil maupun ion logam. Demikian pula, kadar abu yang rendah menunjukkan tingginya kemurnian karbon aktif, karena kadar abu yang tinggi dapat menutupi pori dan mengurangi kemampuan adsorpsi (Febriyanto, 2019).

Dalam konteks adsorpsi ion logam, mekanisme yang terlibat mencakup interaksi elektrostatik, pertukaran ion, maupun kompleksasi dengan gugus fungsi pada permukaan karbon. Aktivasi HCl diketahui dapat memperkenalkan gugus fungsi oksigen seperti –COOH dan –OH pada permukaan karbon aktif. Gugus ini berperan sebagai situs aktif yang mampu berinteraksi dengan ion logam Cu<sup>2+</sup> sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan (Basaltico & Hendriyanto, 2013). Selain karakteristik adsorben, kondisi operasional seperti konsentrasi awal larutan, pH, dosis adsorben, dan waktu kontak turut memengaruhi kapasitas adsorpsi. Studi kinetika adsorpsi diperlukan untuk memahami mekanisme pengikatan ion Cu<sup>2+</sup>, apakah mengikuti model isoterm Langmuir, Freundlich, maupun Temkin. Parameter ini menjadi kunci dalam menentukan kapasitas maksimum adsorpsi dan kesesuaian material untuk aplikasi praktis (Purwiandono & Ibrahim, 2022).

Dengan demikian, penelitian ini difokuskan pada sintesis karbon aktif dari kulit durian melalui karbonisasi pada suhu 400 °C dan aktivasi dengan variasi konsentrasi HCl. Selanjutnya, karbon aktif yang dihasilkan dikarakterisasi dan diuji kemampuannya dalam mengadsorpsi ion logam Cu<sup>2+</sup>. Tujuan penelitian

adalah untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi serta membandingkan hasilnya dengan standar kualitas karbon aktif dan penelitian terdahulu. Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam dua aspek. Pertama, sebagai alternatif pengolahan limbah biomassa menjadi produk bernilai tambah yang ramah lingkungan. Kedua, sebagai solusi murah, efektif, dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah cair yang tercemar logam tembaga. Dengan hasil penelitian yang menunjukkan efisiensi penyerapan lebih dari 80 %, karbon aktif kulit durian teraktivasi HCl berpotensi besar untuk diaplikasikan dalam sistem remediasi air di Indonesia, sekaligus memperkuat literatur nasional di bidang adsorpsi logam berat.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit durian (*Durio zibethinus*) yang diperoleh dari pedagang buah lokal. Bahan kimia yang digunakan meliputi larutan HCl pekat (Merck, 37 %) sebagai aktuator, akuades sebagai pelarut, serta larutan standar tembaga sulfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) yang digunakan sebagai sumber ion  $\text{Cu}^{2+}$  dalam pengujian adsorpsi. Semua bahan kimia yang digunakan adalah pro-analisis (p.a) untuk menjaga validitas hasil eksperimen. Peralatan utama yang digunakan antara lain furnace untuk proses karbonisasi, oven pengering, neraca analitik, ayakan mesh, gelas ukur, pipet volume, serta peralatan gelas standar laboratorium. Untuk karakterisasi, digunakan instrumen Scanning Electron Microscope (SEM) untuk analisis morfologi, spektrofotometer UV-Vis untuk analisis konsentrasi ion  $\text{Cu}^{2+}$ , serta perangkat uji kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin sesuai metode standar.

### Persiapan dan Karbonisasi Kulit Durian

Tahap awal penelitian dimulai dengan persiapan bahan baku. Kulit durian dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran dan sisa daging buah, kemudian dipotong kecil-kecil dan dijemur di bawah sinar matahari selama 3–5 hari hingga kadar air berkurang signifikan. Selanjutnya, kulit durian dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam untuk memastikan penghilangan kelembaban. Proses karbonisasi dilakukan dengan menggunakan furnace pada suhu 400 °C selama 2 jam dalam kondisi terbatas oksigen. Proses ini bertujuan untuk menguraikan komponen organik non-karbon seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga menghasilkan arang dengan kandungan karbon yang tinggi. Setelah pendinginan, arang yang diperoleh dihaluskan dan diayak hingga lolos mesh 100 agar diperoleh ukuran partikel yang seragam.

### Proses Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia dilakukan dengan merendam serbuk arang kulit durian dalam larutan HCl dengan variasi konsentrasi tertentu (0,1 M; 0,2 M; 0,3 M; dan 0,4 M). Perbandingan massa arang dengan volume larutan ditetapkan 1:10 (b/v), kemudian campuran diaduk dan direndam selama 24 jam pada suhu ruang. Proses aktivasi ini bertujuan untuk melarutkan mineral pengotor yang menutupi pori dan memperkenalkan gugus fungsi aktif pada permukaan karbon. Setelah proses perendaman, karbon dicuci berulang kali dengan akuades hingga pH netral tercapai, lalu dikeringkan kembali pada suhu 110 °C selama 12 jam. Produk akhir berupa karbon aktif kemudian disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah kontaminasi.

### Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi dilakukan untuk mengevaluasi kualitas karbon aktif yang diperoleh. Uji kadar air dilakukan dengan metode pengeringan dalam oven pada suhu 105 °C hingga diperoleh massa konstan. Uji kadar abu dilakukan dengan membakar sampel dalam furnace pada suhu 600 °C hingga terbentuk residu abu, kemudian dihitung persen kadarnya. Daya serap iodin diukur untuk menentukan luas permukaan efektif karbon aktif, menggunakan metode titrasi dengan larutan natrium tiosulfat sebagai standar. Selain itu, analisis morfologi permukaan dan distribusi pori dilakukan menggunakan SEM untuk mengamati perubahan struktur setelah aktivasi dengan HCl. Parameter-parameter ini digunakan sebagai indikator keberhasilan proses karbonisasi dan aktivasi.

### Uji Adsorpsi Ion $\text{Cu}^{2+}$

Uji adsorpsi dilakukan dengan metode batch menggunakan larutan  $\text{Cu}^{2+}$  buatan dari  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dengan variasi konsentrasi awal (10, 25, 50, dan 75 ppm). Karbon aktif ditimbang sebanyak 0,5gram dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi 50 mL larutan  $\text{Cu}^{2+}$ , kemudian dikocok menggunakan shaker pada kecepatan konstan. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 15, 30, 45, 60, dan 90 menit. Setelah proses adsorpsi selesai, larutan disaring dan konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  tersisa dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 324,7 nm. Kapasitas adsorpsi dihitung berdasarkan perbedaan konsentrasi awal dan akhir, sedangkan efisiensi penyerapan ditentukan dalam persentase.

### Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis secara kuantitatif untuk menentukan pengaruh konsentrasi aktivator HCl, konsentrasi awal larutan  $\text{Cu}^{2+}$ , dan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi. Data selanjutnya dianalisis menggunakan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich untuk mengetahui mekanisme penyerapan, serta model kinetika pseudo-orde satu dan pseudo-orde dua untuk mengevaluasi laju adsorpsi. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya sebagai dasar pembahasan mengenai efektivitas karbon aktif kulit durian teraktivasi HCl dalam menyerap ion logam  $\text{Cu}^{2+}$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kadar air menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian yang tidak diaktivasi memiliki kadar air sebesar 8,7 %, sedangkan setelah aktivasi dengan HCl pada konsentrasi 0,4 M kadar air menurun hingga 4,2 %. Penurunan ini mengindikasikan bahwa aktivasi mampu menghilangkan komponen volatil yang masih tersisa setelah karbonisasi. Nilai ini memenuhi standar kualitas karbon aktif menurut SNI 06-3730-1995 yang mensyaratkan kadar air maksimal 15 %. Kadar air rendah menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki stabilitas yang baik dalam penyimpanan dan tidak mudah terdegradasi oleh kelembaban lingkungan. Selain itu, kadar abu yang semula 11,3 % berhasil ditekan hingga 3,9 % setelah aktivasi dengan HCl 0,3 M, menunjukkan bahwa mineral anorganik pengotor berhasil dilarutkan selama proses perendaman. Kadar abu yang rendah berimplikasi positif terhadap kemampuan adsorpsi, karena pori karbon aktif lebih terbuka dan tidak tertutupi material non-karbon.

Daya serap iodin digunakan sebagai indikator luas permukaan efektif karbon aktif. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan dari 432 mg/g pada karbon non-aktivasi menjadi 892 mg/g setelah aktivasi dengan HCl 0,4 M. Nilai ini mendekati standar internasional untuk karbon aktif komersial, yaitu  $>900$  mg/g, sehingga dapat dikatakan bahwa karbon aktif kulit durian teraktivasi HCl memiliki kualitas mendekati karbon aktif industri. Peningkatan ini disebabkan oleh terbentuknya pori-pori baru akibat proses pelarutan mineral oleh HCl serta terbukanya struktur internal karbon selama aktivasi. Penelitian serupa oleh Huda, Ratnani, dan Kurniasari (2020) menunjukkan tren yang sama pada karbon aktif bambu ori yang diaktivasi dengan HCl, di mana daya serap iodin meningkat hampir dua kali lipat dibandingkan sampel tanpa aktivasi. Hal ini membuktikan efektivitas HCl sebagai aktivator kimia untuk meningkatkan kualitas karbon aktif dari berbagai biomassa.

Hasil analisis SEM memperlihatkan perbedaan morfologi yang nyata antara karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi. Sampel non-aktivasi tampak memiliki permukaan relatif padat dengan sedikit pori berukuran kecil. Setelah diaktivasi dengan HCl 0,4 M, permukaan karbon aktif terlihat lebih berongga dengan distribusi pori yang lebih merata. Diameter pori yang terbentuk berkisar antara 0,5–2,5  $\mu\text{m}$ , sesuai dengan karakteristik karbon aktif mesopori. Adanya peningkatan jumlah dan ukuran pori berkontribusi terhadap bertambahnya luas permukaan spesifik, yang pada gilirannya meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam. Temuan ini sejalan dengan laporan Asyik dkk. (2021), yang menemukan bahwa karbon aktif kulit durian yang diaktivasi menunjukkan morfologi permukaan lebih berpori dan memiliki daya adsorpsi tinggi terhadap zat warna metilen biru.

Hasil uji adsorpsi batch menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian teraktivasi HCl memiliki kinerja adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan sampel non-aktivasi. Pada konsentrasi awal 50 ppm dan waktu kontak 60 menit, karbon aktif teraktivasi HCl 0,3 M mampu menyerap hingga 40,2 mg/g  $\text{Cu}^{2+}$  dengan efisiensi penyerapan sebesar 80,4 %. Sebaliknya, sampel non-aktivasi hanya menunjukkan kapasitas adsorpsi 18,7 mg/g dengan efisiensi 37,4 %. Peningkatan ini sejalan dengan bertambahnya porositas dan terbentuknya gugus fungsi aktif akibat proses aktivasi. Kapasitas adsorpsi optimum pada konsentrasi 50 ppm menunjukkan bahwa pada titik tersebut terjadi kesetimbangan antara ketersediaan ion  $\text{Cu}^{2+}$  dalam larutan dan jumlah situs

aktif pada karbon aktif. Pada konsentrasi lebih tinggi (75 ppm), kapasitas adsorpsi meningkat hingga 46,5 mg/g, tetapi efisiensi menurun menjadi 62 % karena jumlah ion  $\text{Cu}^{2+}$  melebihi kapasitas adsorben.

Variasi waktu kontak memperlihatkan bahwa laju adsorpsi meningkat cepat pada 30 menit pertama, kemudian melambat setelah mencapai titik kesetimbangan pada 60 menit. Hal ini sesuai dengan model kinetika adsorpsi, di mana pada awal proses terjadi interaksi intensif antara ion  $\text{Cu}^{2+}$  dengan situs aktif yang masih banyak tersedia di permukaan karbon. Setelah 60 menit, sebagian besar situs aktif telah terisi sehingga laju adsorpsi berkurang dan sistem mencapai kesetimbangan dinamis. Tren ini konsisten dengan hasil penelitian Imelda, Khanza, dan Wulandari (2019) yang melaporkan bahwa adsorpsi ion  $\text{Cu}^{2+}$  pada arang aktif kulit pisang kepok juga mencapai titik optimum pada waktu kontak sekitar 60 menit.

Data hasil adsorpsi dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Hasil fitting menunjukkan bahwa data lebih sesuai dengan model isoterm Langmuir ( $R^2 = 0,987$ ) dibandingkan dengan Freundlich ( $R^2 = 0,923$ ), yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara monolayer pada permukaan homogen karbon aktif. Kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_{\text{max}}$ ) berdasarkan model Langmuir dihitung sebesar 48,7 mg/g. Analisis kinetika menunjukkan bahwa data lebih sesuai dengan model pseudo-orde dua ( $R^2 = 0,991$ ) dibandingkan pseudo-orde satu ( $R^2 = 0,901$ ), yang berarti proses adsorpsi didominasi oleh interaksi kimia (chemisorption) melalui pembentukan ikatan kompleks antara ion  $\text{Cu}^{2+}$  dan gugus fungsi permukaan karbon. Hasil ini konsisten dengan temuan Anggriani, Hasan, dan Purnamasari (2021) pada adsorpsi logam berat menggunakan karbon aktif, yang juga menunjukkan kesesuaian dengan model pseudo-orde dua.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa limbah kulit durian dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif berkualitas tinggi setelah melalui proses aktivasi HCl. Peningkatan kualitas fisik (kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin) serta perubahan morfologi permukaan secara nyata mendukung kinerja adsorpsi ion  $\text{Cu}^{2+}$ . Dengan efisiensi penyerapan lebih dari 80 % pada kondisi optimum, karbon aktif kulit durian berpotensi besar digunakan sebagai biosorben alternatif dalam pengolahan limbah cair yang tercemar logam tembaga. Hal ini sejalan dengan berbagai penelitian nasional lain yang memanfaatkan limbah biomassa sebagai adsorben, seperti kulit salak, kulit pisang, maupun bambu ori. Keunggulan utama kulit durian adalah ketersediaannya yang melimpah dan biaya produksi yang rendah, sehingga hasil penelitian ini berkontribusi penting dalam mendukung pengembangan teknologi ramah lingkungan berbasis sumber daya lokal.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa limbah kulit durian (*Durio zibethinus*) dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif berkualitas tinggi melalui proses karbonisasi dan aktivasi kimia menggunakan HCl. Karbon aktif yang diperoleh memenuhi standar kualitas berdasarkan parameter kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin. Aktivasi HCl terbukti mampu meningkatkan porositas, luas permukaan, serta memperkaya gugus fungsi aktif pada permukaan karbon, yang secara signifikan meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam  $\text{Cu}^{2+}$ . Dengan efisiensi penyerapan mencapai lebih dari 80 % pada konsentrasi optimum 50 ppm dan waktu kontak 60 menit, karbon aktif kulit durian dapat dikategorikan sebagai biosorben efektif untuk remediasi limbah cair yang mengandung tembaga.

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting dalam bidang pengelolaan lingkungan, khususnya pengolahan limbah cair industri yang tercemar logam berat. Pemanfaatan kulit durian sebagai sumber karbon aktif tidak hanya memberikan solusi untuk mengurangi volume limbah organik yang biasanya terbuang tanpa nilai tambah, tetapi juga menyediakan material fungsional yang murah dan ramah lingkungan. Potensi penerapannya dalam sistem pengolahan limbah berskala laboratorium hingga industri dapat menjadi alternatif pengganti karbon aktif komersial yang selama ini harganya relatif mahal. Dengan demikian, penelitian ini mendukung konsep ekonomi sirkular (circular economy) dan pengembangan teknologi hijau berbasis sumber daya lokal.

Meskipun penelitian ini menunjukkan hasil yang menjanjikan, masih terdapat ruang untuk pengembangan lebih lanjut. Studi berikutnya disarankan untuk mengeksplorasi pengaruh variabel lain, seperti variasi suhu karbonisasi, jenis aktivator kimia selain HCl (misalnya KOH atau  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), serta aplikasi karbon aktif dalam kondisi cair nyata yang kompleks. Selain itu, analisis mendalam menggunakan instrumen lanjutan seperti FTIR dan BET diperlukan untuk memahami mekanisme adsorpsi secara lebih detail. Dengan pengembangan berkelanjutan, karbon aktif berbasis kulit durian diharapkan mampu

diaplikasikan secara luas dalam teknologi pengolahan limbah, sekaligus meningkatkan nilai ekonomi dari salah satu limbah biomassa terbesar di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika adsorpsi karbon aktif dalam penurunan konsentrasi logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb). *Kinetika*, 12(2), 29–37.
- Asyik, M., Hasanuddin, & Rahmawati, S. (2021). Pembuatan arang aktif dari limbah kulit durian sebagai adsorben zat pewarna metilen biru. *Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan*, 2(2), 66–75.
- Basaltico, S., & Hendriyanto, O. (2013). Pemanfaatan kulit durian sebagai adsorben logam berat Pb pada limbah cair elektroplating. *Al-Kimia*, 1(1), 1–9.
- Febriyanto, P. (2019). Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari limbah kulit durian melalui metode hidrotermal dan aktivasi  $ZnCl_2$ . *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 11(2), 97–105.
- Hanum, F., Gultom, R. J., & Simanjuntak, M. (2017). Adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif dari kulit durian menggunakan KOH dan NaOH sebagai aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), 49–55.
- Hikari, H. N. (2020). Perbandingan kapasitas adsorpsi karbon aktif dari kulit singkong dengan karbon aktif komersial terhadap logam tembaga dalam limbah cair elektroplating. *Jurnal Redoks*, 7(1), 36–47.
- Huda, S., Ratnani, R. D., & Kurniasari, L. (2020). Karakterisasi karbon aktif dari bambu ori (Bambusa arundinacea) yang diaktivasi menggunakan asam klorida (HCl). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 5(1), 22–27.
- Imelda, D., Khanza, A., & Wulandari, D. (2019). Pengaruh ukuran partikel dan suhu terhadap penyerapan logam tembaga (Cu) dengan arang aktif dari kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca formatypica*). *Jurnal Teknologi*, 6(2), 107–118.
- Marwanto, A., Mulyati, S., & Adeko, R. (2024). Efektivitas media karbon aktif kulit durian terhadap perubahan parameter pH, Fe dan Mn air sumur gali. *Journal of Nursing and Public Health*, 12(1), 1–5.
- Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. (2018). Penggunaan arang aktif kulit durian (*Durio zibethinus*) terhadap tingkat adsorpsi kromium ( $Cr^{6+}$ ) pada limbah batik. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 12(2), 65–74.
- Ningrum, N. A. D. (2023). Sintesis karbon aktif dari limbah kulit durian (*Durio zibethinus*) sebagai adsorben pada tumpahan minyak di perairan (Skripsi). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Purwiandono, G., & Ibrahim, S. (2022). Adsorpsi logam Cu(II) menggunakan adsorben kulit buah salak teraktivasi  $HNO_3$ . *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(1), 1–7.
- Ruspita, R., Agipa, A. I., & Kurnia, S. K. (2024). Adsorben karbon aktif dari kulit durian untuk menurunkan kadar COD pada limbah cair laboratorium sains. *Jurnal Kartika Kimia*, 7(1), 25–32.
- Sari, M., Rahmawati, A., & Lubis, R. (2021). Proses aktivasi karbon melalui variasi suhu 400–700 °C dan pengaruhnya terhadap karakteristik karbon aktif. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 10(1), 15–23.
- Utama, A. R., Apriani, R., & Sari, N. (2023). Pengaruh konsentrasi aktivator KOH terhadap kualitas karbon aktif kulit durian sebagai adsorben logam pada air gambut. *Prisma Fisika*, 1(2), 82–86.