

Uji Potensi Karbon Aktif Berbahan Kulit Durian sebagai Media Immobilisasi Asam Lemak Hidroksamat

Muhsinun ^{a,1,*}, Syamsul Hidayat ^b, Emsal Yanuar ^c


^a Program Studi Ilmu Gizi, Universitas Nahdlatul Ulama Nusa Tenggara Barat, Indonesia

^b Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Teknologi Sumbawa, Indonesia

^c Program Studi Teknik Metalurgi, Universitas Teknologi Sumbawa, Indonesia

¹ Email: cinun.chemist@gmail.com

* Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article history Received October 20, 2025 Revised November 18, 2025 Accepted December 24, 2025 Published December 29, 2025</p> <p>Keywords activated carbon durian peel immobilization fatty hydroxamic acid biomass</p> <p> License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).</p>	<p>The utilization of biomass waste as a raw material for functional materials represents a sustainable approach in the development of carbon-based materials. This study aims to evaluate the potential of activated carbon derived from durian peel as a support for the immobilization of fatty hydroxamic acids. Activated carbon was synthesized through sequential stages of raw material preparation, carbonization, and chemical activation to produce a porous material with surface properties favorable for immobilization processes. The characterization results indicate the formation of a well-developed porous structure along with the presence of oxygen-containing functional groups, which play a crucial role in interactions with fatty hydroxamic acids. Fatty hydroxamic acids were synthesized from vegetable oil and employed as the target compounds in the immobilization process. Immobilization was carried out using a direct contact method between the activated carbon and the fatty hydroxamic acid solution under controlled conditions. The results demonstrate that durian peel-based activated carbon effectively immobilizes fatty hydroxamic acids through a combination of physical adsorption mechanisms and chemical interactions on the carbon surface. The immobilization efficiency obtained indicates that pore characteristics and surface functional groups of the activated carbon strongly influence its performance as an immobilization medium. Stability tests further reveal that the immobilized system exhibits satisfactory resistance to washing and repeated use. Overall, this study confirms that activated carbon derived from durian peel has significant potential as an immobilization medium for chemical compounds, while simultaneously adding value to biomass waste and supporting the development of environmentally friendly materials for chemical and environmental applications.</p>

How to cite: Muhsinun, M., Hidayat, S., & Yanuar, E. (2025). Uji Potensi Karbon Aktif Berbahan Kulit Durian sebagai Media Immobilisasi Asam Lemak Hidroksamat. *Pure Chemistry Research*, 1(2), 59-66. <https://doi.org/10.70716/purechem.v1i2.366>

PENDAHULUAN

Peningkatan aktivitas agroindustri di negara-negara tropis telah berkontribusi signifikan terhadap akumulasi limbah biomassa dalam jumlah besar. Salah satu jenis limbah yang jumlahnya melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah kulit durian. Indonesia sebagai salah satu produsen durian utama di Asia Tenggara menghasilkan limbah kulit durian dalam skala besar setiap tahunnya, terutama pada musim panen. Limbah ini umumnya dibuang di tempat pembuangan akhir atau dibiarkan terdegradasi secara alami, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, bau tidak sedap, serta gangguan estetika dan kesehatan masyarakat (Ardiansyah, 2024; Pu et al., 2024). Kondisi tersebut mendorong perlunya pendekatan inovatif dan berkelanjutan dalam pengelolaan limbah kulit durian agar tidak hanya mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah secara ekonomi dan ilmiah.

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan dalam satu dekade terakhir adalah pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Karbon aktif dikenal luas sebagai material berpori dengan luas permukaan tinggi dan kemampuan adsorpsi yang sangat baik terhadap berbagai jenis senyawa, baik organik maupun anorganik. Penggunaan karbon aktif berbasis biomassa dinilai lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan karbon aktif komersial berbasis batu bara atau material fosil lainnya (Tran et al., 2022). Dalam konteks ini, kulit durian memiliki potensi besar karena kandungan lignoselulosa dan karbonnya yang relatif tinggi, sehingga memungkinkan pembentukan struktur pori mikro dan meso yang mendukung aplikasi adsorpsi dan immobilisasi.

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa karbon aktif dapat diproduksi secara efektif dari kulit durian melalui proses karbonisasi dan aktivasi, baik secara fisika maupun kimia. Febriyanto et al. (2019) melaporkan bahwa metode hidrotermal mampu menghasilkan karbon aktif kulit durian dengan struktur pori yang baik dan karakteristik fisikokimia yang memadai untuk aplikasi adsorben. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Irnamera (2020), yang menemukan bahwa suhu karbonisasi berpengaruh signifikan terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan, khususnya dalam hal luas permukaan dan kapasitas adsorpsi. Selain itu, penggunaan aktivator kimia seperti HCl, NaOH, dan H_3PO_4 terbukti dapat meningkatkan porositas dan jumlah gugus fungsional pada permukaan karbon aktif (Legiso, 2020; Yuliusman et al., 2020).

Pengembangan lebih lanjut terhadap karbon aktif kulit durian juga mencakup optimasi kondisi aktivasi dan perlakuan lanjutan untuk meningkatkan kinerja material. Damayanti et al. (2023) menunjukkan bahwa perlakuan fosfat dan termal mampu memodifikasi sifat permukaan karbon aktif dari kulit durian, sehingga meningkatkan reaktivitas dan afinitasnya terhadap senyawa target. Pendekatan optimasi parameter aktivasi menggunakan metode statistik, seperti response surface methodology, juga telah diterapkan untuk memperoleh kondisi optimum dalam pembuatan karbon aktif berbasis kulit durian (Yatmani et al., 2022; Nury et al., 2024). Hasil-hasil tersebut menegaskan bahwa karbon aktif kulit durian merupakan material yang fleksibel dan dapat direkayasa sifatnya sesuai kebutuhan aplikasi.

Dalam aspek aplikatif, karbon aktif kulit durian telah banyak diteliti sebagai adsorben dalam pengolahan lingkungan. Masyithah (2018) memanfaatkan arang aktif kulit durian untuk pemurnian minyak goreng bekas, sedangkan Inayah dan Ady (2024) melaporkan efektivitasnya sebagai media filtrasi bau dan zat organik pada air sumur gali. Ruspita et al. (2024) juga menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian mampu menurunkan kadar COD pada limbah cair laboratorium secara signifikan. Studi-studi ini menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian memiliki performa yang sebanding dengan adsorben konvensional, sekaligus menawarkan solusi pengelolaan limbah biomassa yang berkelanjutan.

Meskipun aplikasi karbon aktif kulit durian sebagai adsorben telah banyak dikaji, pemanfaatannya sebagai media immobilisasi senyawa aktif masih relatif terbatas. Immobilisasi merupakan teknik penting dalam bidang kimia dan rekayasa material yang bertujuan untuk menahan atau mengikat senyawa aktif pada suatu matriks padat agar meningkatkan stabilitas, efisiensi penggunaan, dan kemudahan pemisahan dari sistem reaksi. Karbon aktif, dengan luas permukaan yang besar dan keberadaan gugus fungsional pada permukaannya, telah terbukti efektif sebagai media penyangga immobilisasi berbagai biomolekul, termasuk enzim dan katalis (Santos et al., 2024; Zhang et al., 2022). Al-sareji et al. (2023) menunjukkan bahwa karbon aktif dari limbah biomassa dapat digunakan secara efektif sebagai media immobilisasi enzim, yang menghasilkan peningkatan kinerja dan stabilitas sistem.

Dalam konteks senyawa kimia fungsional, asam lemak hidroksamat merupakan kelompok senyawa yang menarik perhatian karena sifat kimianya yang unik. Asam lemak hidroksamat dikenal memiliki kemampuan tinggi dalam membentuk kompleks dengan ion logam, sehingga banyak digunakan dalam proses ekstraksi, pemisahan, dan pengolahan material. Sintesis asam lemak hidroksamat dari sumber minyak nabati telah dikembangkan sebagai pendekatan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Xiao et al., 2024). Studi kinetika adsorpsi yang dilakukan oleh Jafar et al. (2015) menunjukkan bahwa asam lemak hidroksamat dapat berinteraksi secara kuat dengan permukaan padatan melalui mekanisme fisik dan kimia tertentu, sehingga membuka peluang pemanfaatannya dalam sistem immobilisasi.

Meskipun demikian, kajian mengenai immobilisasi asam lemak hidroksamat pada karbon aktif berbasis limbah biomassa, khususnya kulit durian, masih sangat terbatas. Penelitian-penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada adsorpsi konvensional atau aplikasi karbon aktif sebagai media filtrasi. Penelitian oleh Muhsinun dan Hidayat (2025) merupakan salah satu studi awal yang secara eksplisit mengkaji potensi karbon aktif kulit durian sebagai media immobilisasi asam lemak hidroksamat. Namun, penelitian tersebut masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, terutama dalam hal karakterisasi material, evaluasi kinerja immobilisasi, serta analisis potensi aplikatifnya secara lebih komprehensif.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian yang jelas, yaitu belum optimalnya pemanfaatan karbon aktif berbahan kulit durian sebagai media immobilisasi senyawa kimia fungsional, khususnya asam lemak hidroksamat. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk menguji potensi karbon aktif kulit durian sebagai media immobilisasi asam lemak hidroksamat melalui pendekatan eksperimental yang sistematis. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi antara pemanfaatan limbah biomassa, rekayasa material karbon aktif, dan aplikasi immobilisasi senyawa kimia,

sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengembangan material fungsional berbasis sumber daya lokal dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menguji potensi karbon aktif berbahan kulit durian sebagai media immobilisasi asam lemak hidroksamat. Desain penelitian disusun untuk mengevaluasi keterkaitan antara kondisi sintesis karbon aktif, karakteristik fisikokimia material, dan kinerjanya dalam proses immobilisasi. Pendekatan eksperimental ini banyak digunakan dalam pengembangan karbon aktif berbasis biomassa serta sistem immobilisasi senyawa aktif pada matriks karbon (Tran et al., 2022; Santos et al., 2024).

Tahapan Prosedur Penelitian

Preparasi Bahan Baku Kulit Durian

Kulit durian segar diperoleh dari pasar lokal dan dipilih berdasarkan kondisi fisik yang masih baik, tidak berjamur, serta bebas dari kontaminan anorganik. Kulit durian dibersihkan dari sisa daging buah dan dicuci menggunakan air mengalir, kemudian dipotong menjadi ukuran kecil untuk memudahkan proses pengeringan. Pengeringan awal dilakukan pada suhu ruang dan dilanjutkan menggunakan oven hingga diperoleh bahan dengan kadar air rendah. Tahapan preparasi ini bertujuan untuk menghasilkan bahan baku yang homogen dan stabil sebelum proses karbonisasi, sebagaimana diterapkan dalam penelitian pembuatan karbon aktif kulit durian sebelumnya (Febriyanto et al., 2019; Irnamera, 2020; Ningrum, 2021).

Proses Karbonisasi Kulit Durian

Kulit durian kering selanjutnya dikarbonisasi menggunakan furnace pada suhu tertentu selama waktu yang telah ditentukan. Proses karbonisasi bertujuan untuk menguraikan komponen volatil dan meningkatkan kandungan karbon tetap dalam material. Pemilihan suhu dan waktu karbonisasi didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa parameter ini berpengaruh signifikan terhadap pembentukan struktur pori dan kualitas karbon aktif (Irnamera, 2020; Yuliusman et al., 2020). Setelah proses karbonisasi selesai, sampel didinginkan secara alami dalam kondisi tertutup untuk mencegah oksidasi.

Aktivasi Karbon untuk Pembentukan Karbon Aktif

Karbon hasil karbonisasi kemudian diaktivasi untuk meningkatkan luas permukaan dan jumlah pori aktif. Aktivasi dilakukan secara kimia dengan merendam karbon dalam larutan aktivator, seperti asam atau basa kuat, pada rasio tertentu antara karbon dan larutan aktivator. Proses ini diadaptasi dari metode aktivasi kimia karbon aktif berbasis kulit durian yang telah dilaporkan efektif meningkatkan kapasitas adsorpsi (Legiso, 2020; Yuliusman et al., 2020). Pemilihan jenis aktivator dan kondisi aktivasi juga mempertimbangkan hasil optimasi parameter yang telah dilaporkan oleh Yatmani et al. (2022) dan Nury et al. (2024).

Pencucian dan Pengeringan Karbon Aktif

Setelah proses aktivasi, karbon aktif dicuci secara berulang menggunakan akuades hingga pH larutan mendekati netral. Tahap pencucian bertujuan untuk menghilangkan sisa aktivator yang dapat memengaruhi karakteristik permukaan karbon dan proses immobilisasi selanjutnya. Karbon aktif kemudian dikeringkan menggunakan oven hingga diperoleh massa konstan. Prosedur pencucian dan pengeringan ini mengacu pada metode yang umum digunakan dalam penelitian karbon aktif berbasis biomassa (Tran et al., 2022; Damayanti et al., 2023).

Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif dilakukan untuk mengetahui sifat fisikokimia material yang dihasilkan. Analisis gugus fungsi permukaan dilakukan menggunakan spektroskopi inframerah (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus hidroksil, karbonil, dan gugus fungsional lainnya yang berperan dalam interaksi dengan asam lemak hidroksamat. Karakterisasi gugus fungsi ini penting untuk memahami mekanisme immobilisasi, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian Damayanti et al. (2023) dan Tran et al. (2022). Selain itu, karakterisasi morfologi permukaan dilakukan untuk mengevaluasi struktur pori karbon aktif.

Sintesis Asam Lemak Hidroksamat

Asam lemak hidroksamat disintesis dari bahan baku minyak nabati melalui reaksi pembentukan gugus hidroksamat pada rantai asam lemak. Prosedur sintesis dilakukan dengan mengacu pada metode yang dilaporkan oleh Xiao et al. (2024), dengan penyesuaian skala reaksi sesuai kondisi laboratorium. Produk hasil sintesis kemudian dimurnikan dan dikeringkan sebelum digunakan pada tahap immobilisasi. Keberhasilan sintesis asam lemak hidroksamat menjadi prasyarat penting untuk memastikan konsistensi hasil immobilisasi.

Proses Immobilisasi Asam Lemak Hidroksamat pada Karbon Aktif

Proses immobilisasi dilakukan dengan metode kontak langsung antara karbon aktif dan larutan asam lemak hidroksamat. Karbon aktif ditambahkan ke dalam larutan asam lemak hidroksamat dengan konsentrasi tertentu, kemudian campuran diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama waktu kontak yang telah ditentukan. Parameter proses seperti pH larutan, waktu kontak, dan rasio karbon aktif terhadap larutan diatur berdasarkan studi kinetika adsorpsi asam lemak hidroksamat yang dilaporkan oleh Jafar et al. (2015). Pendekatan ini juga mengacu pada prinsip immobilisasi senyawa aktif pada karbon yang telah diterapkan dalam penelitian terdahulu (Santos et al., 2024; Zhang et al., 2022).

Pemisahan dan Evaluasi Efisiensi Immobilisasi

Setelah proses immobilisasi selesai, campuran disaring untuk memisahkan karbon aktif yang telah mengimobilisasi asam lemak hidroksamat dari larutan sisa. Konsentrasi asam lemak hidroksamat sebelum dan sesudah proses immobilisasi dianalisis untuk menentukan efisiensi immobilisasi. Metode evaluasi efisiensi ini serupa dengan pendekatan yang digunakan dalam penelitian immobilisasi senyawa aktif pada karbon aktif berbasis biomassa (Al-sareji et al., 2023; Muhsinun & Hidayat, 2025).

Uji Stabilitas Media Immobilisasi

Media karbon aktif yang telah mengimobilisasi asam lemak hidroksamat selanjutnya diuji stabilitasnya melalui perlakuan pencucian atau penggunaan ulang dalam beberapa siklus. Uji ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan ikatan antara asam lemak hidroksamat dan permukaan karbon aktif serta potensi penggunaan media secara berulang. Pendekatan uji stabilitas ini mengacu pada metode yang digunakan dalam penelitian immobilisasi pada karbon aktif dari biomassa (Al-sareji et al., 2023; Santos et al., 2024).

Analisis Data

Data yang diperoleh dari seluruh tahapan penelitian dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Hasil karakterisasi karbon aktif dan efisiensi immobilisasi dianalisis untuk mengidentifikasi hubungan antara kondisi sintesis, sifat material, dan kinerja immobilisasi. Hasil penelitian kemudian dibandingkan dengan penelitian terdahulu untuk menilai keunggulan dan keterbatasan karbon aktif kulit durian sebagai media immobilisasi asam lemak hidroksamat (Tran et al., 2022; Muhsinun & Hidayat, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisik dan Kimia Karbon Aktif Berbahan Kulit Durian

Karbon aktif yang dihasilkan dari kulit durian menunjukkan karakteristik fisik dan kimia yang sangat dipengaruhi oleh tahapan karbonisasi dan aktivasi yang diterapkan. Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa karbon aktif yang diperoleh berwarna hitam pekat dengan tekstur berpori, menandakan terbentuknya struktur karbon yang matang akibat proses termal. Perubahan warna dan tekstur ini merupakan indikasi awal keberhasilan proses karbonisasi dan aktivasi, sebagaimana dilaporkan pada berbagai penelitian karbon aktif berbasis biomassa kulit durian dan limbah lignoselulosa lainnya (Tran et al., 2022; Yuliusman et al., 2020).

Analisis gugus fungsi menggunakan spektroskopi inframerah menunjukkan keberadaan gugus hidroksil ($-OH$), karbonil ($C=O$), dan gugus aromatik $C=C$ pada permukaan karbon aktif. Kehadiran gugus $-OH$ dan $C=O$ sangat penting karena berperan sebagai situs aktif yang dapat berinteraksi dengan senyawa polar, termasuk asam lemak hidroksamat. Hasil ini sejalan dengan temuan Damayanti et al. (2023) yang menyatakan bahwa perlakuan termal dan aktivasi kimia pada karbon berbasis kulit durian mampu mempertahankan dan bahkan meningkatkan keberadaan gugus fungsional oksigen pada permukaan karbon.

Struktur pori karbon aktif yang terbentuk merupakan hasil kombinasi antara degradasi komponen volatil selama karbonisasi dan pembentukan pori baru selama aktivasi kimia. Aktivasi kimia diketahui mampu memperbesar pori mikro dan meso, sehingga meningkatkan luas permukaan spesifik karbon aktif (Yatmani et al., 2022; Nury et al., 2024). Peningkatan luas permukaan ini menjadi faktor utama yang menentukan kapasitas adsorpsi dan kemampuan karbon aktif sebagai media immobilisasi senyawa aktif.

Jika dibandingkan dengan karbon aktif dari bahan biomassa lain, karbon aktif berbahan kulit durian menunjukkan potensi yang kompetitif, baik dari segi ketersediaan bahan baku maupun karakteristik material yang dihasilkan. Hal ini memperkuat argumentasi bahwa limbah kulit durian tidak hanya bernilai sebagai bahan bakar padat atau adsorben sederhana, tetapi juga berpotensi sebagai material fungsional bernilai tambah tinggi dalam aplikasi kimia lanjutan (Pu et al., 2024).

Efektivitas Proses Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif

Proses aktivasi memainkan peran krusial dalam menentukan kualitas akhir karbon aktif. Aktivasi kimia yang digunakan dalam penelitian ini terbukti mampu meningkatkan kemampuan karbon aktif dalam mengikat senyawa target. Peningkatan ini disebabkan oleh terbentuknya struktur pori yang lebih terbuka dan peningkatan jumlah gugus aktif pada permukaan karbon. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aktivasi kimia dengan larutan asam atau basa kuat efektif dalam melarutkan fraksi non-karbon dan membuka pori-pori tertutup pada struktur karbon (Legiso, 2020; Yuliusman et al., 2020).

Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan Nury et al. (2024) yang melaporkan bahwa optimasi kondisi aktivasi pada karbon aktif kulit durian dapat secara signifikan meningkatkan performa adsorpsi. Aktivasi tidak hanya memengaruhi luas permukaan, tetapi juga distribusi ukuran pori yang berkontribusi terhadap mekanisme difusi senyawa ke dalam struktur karbon. Dalam konteks immobilisasi asam lemak hidroksamat, distribusi pori yang sesuai memungkinkan molekul hidroksamat terikat secara stabil baik pada permukaan maupun di dalam pori karbon.

Keberhasilan proses aktivasi juga tercermin dari kestabilan karbon aktif selama proses pencucian dan pengeringan. Karbon aktif tidak mengalami degradasi struktural yang signifikan, menandakan bahwa struktur karbon yang terbentuk cukup stabil. Stabilitas ini menjadi prasyarat penting bagi penggunaan karbon aktif sebagai media immobilisasi yang dapat digunakan dalam jangka waktu tertentu tanpa kehilangan fungsi.

Sintesis dan Karakteristik Asam Lemak Hidroksamat

Asam lemak hidroksamat yang disintesis dalam penelitian ini menunjukkan karakteristik yang sesuai dengan senyawa hidroksamat alifatik yang dilaporkan dalam literatur. Proses sintesis menghasilkan senyawa dengan kemampuan berinteraksi kuat terhadap permukaan karbon aktif, terutama melalui gugus $-CONHOH$ yang bersifat polar dan reaktif. Keberadaan gugus ini memungkinkan terjadinya interaksi hidrogen dan koordinasi dengan gugus fungsional oksigen pada permukaan karbon (Xiao et al., 2024).

Asam lemak hidroksamat dikenal memiliki afinitas tinggi terhadap permukaan mineral dan material berpori, sebagaimana ditunjukkan dalam studi kinetika adsorpsi oleh Jafar et al. (2015). Dalam penelitian ini, sifat tersebut dimanfaatkan untuk menguji potensi karbon aktif kulit durian sebagai media immobilisasi. Dengan demikian, asam lemak hidroksamat berfungsi tidak hanya sebagai senyawa uji, tetapi juga sebagai model molekul untuk mengevaluasi kapasitas dan stabilitas karbon aktif sebagai media immobilisasi.

Keberhasilan sintesis asam lemak hidroksamat menjadi faktor kunci dalam memastikan validitas hasil penelitian. Senyawa yang terbentuk harus memiliki kemurnian dan karakteristik yang konsisten agar proses immobilisasi dapat dievaluasi secara akurat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode sintesis yang digunakan mampu menghasilkan asam lemak hidroksamat yang sesuai untuk aplikasi immobilisasi.

Kinerja Immobilisasi Asam Lemak Hidroksamat pada Karbon Aktif

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif berbahan kulit durian mampu mengimobilisasi asam lemak hidroksamat secara efektif. Penurunan konsentrasi asam lemak hidroksamat dalam larutan setelah proses kontak menunjukkan bahwa sebagian besar molekul senyawa tersebut terikat pada permukaan karbon aktif. Fenomena ini mengindikasikan adanya interaksi yang kuat antara asam lemak hidroksamat dan situs aktif karbon.

Mekanisme immobilisasi diperkirakan melibatkan kombinasi interaksi fisik dan kimia. Interaksi fisik terjadi melalui adsorpsi dalam pori karbon, sementara interaksi kimia melibatkan pembentukan ikatan hidrogen antara gugus hidroksamat dengan gugus $-OH$ dan $C=O$ pada permukaan karbon. Mekanisme ini

sejalan dengan konsep immobilisasi senyawa aktif pada material karbon berbasis biochar dan karbon aktif yang telah dilaporkan sebelumnya (Zhang et al., 2022; Santos et al., 2024).

Hasil ini juga konsisten dengan penelitian Al-sareji et al. (2023) yang menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis biomassa efektif digunakan sebagai penyangga immobilisasi senyawa aktif, termasuk enzim. Meskipun senyawa yang digunakan berbeda, prinsip interaksi antara permukaan karbon dan molekul aktif menunjukkan kesamaan yang mendasar.

Efisiensi immobilisasi yang diperoleh menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian memiliki kapasitas yang kompetitif dibandingkan dengan karbon aktif komersial yang dilaporkan dalam literatur. Hal ini menegaskan potensi pemanfaatan limbah kulit durian sebagai bahan baku karbon aktif bernilai tambah tinggi.

Pengaruh Karakteristik Karbon Aktif terhadap Efisiensi Immobilisasi

Karakteristik karbon aktif, terutama luas permukaan dan keberadaan gugus fungsional, terbukti sangat memengaruhi efisiensi immobilisasi. Karbon aktif dengan struktur pori yang lebih berkembang menunjukkan kemampuan immobilisasi yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah situs aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan asam lemak hidroksamat.

Keberadaan gugus fungsional oksigen pada permukaan karbon juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi immobilisasi. Gugus-gugus ini bertindak sebagai pusat interaksi kimia yang memungkinkan terjadinya ikatan yang lebih stabil antara karbon aktif dan asam lemak hidroksamat. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Damayanti et al. (2023) dan Tran et al. (2022) yang menekankan pentingnya sifat permukaan karbon dalam aplikasi adsorpsi dan immobilisasi.

Selain itu, ukuran dan distribusi pori karbon aktif memengaruhi difusi molekul asam lemak hidroksamat ke dalam struktur karbon. Pori mikro berkontribusi terhadap kapasitas adsorpsi, sementara pori meso berperan dalam memfasilitasi transport molekul. Kombinasi pori mikro dan meso yang seimbang menghasilkan kinerja immobilisasi yang optimal.

Uji Stabilitas Media Immobilisasi

Uji stabilitas menunjukkan bahwa karbon aktif yang telah mengimmobilisasi asam lemak hidroksamat memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap proses pencucian dan penggunaan ulang. Penurunan efisiensi immobilisasi setelah beberapa siklus penggunaan relatif kecil, menandakan bahwa ikatan antara asam lemak hidroksamat dan karbon aktif cukup kuat. Hasil ini penting karena stabilitas merupakan salah satu parameter utama dalam evaluasi media immobilisasi.

Stabilitas media immobilisasi yang baik menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian tidak hanya efektif dalam mengikat asam lemak hidroksamat, tetapi juga mampu mempertahankan ikatan tersebut dalam kondisi operasional tertentu. Temuan ini sejalan dengan penelitian immobilisasi pada karbon aktif berbasis biomassa yang dilaporkan oleh Santos et al. (2024) dan Al-sareji et al. (2023).

Implikasi dan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini memperkuat temuan penelitian terdahulu mengenai potensi karbon aktif kulit durian sebagai material fungsional. Berbagai penelitian sebelumnya lebih banyak menyoroti aplikasi karbon aktif kulit durian sebagai adsorben untuk pemurnian air, minyak jelantah, atau limbah cair (Masyithah, 2018; Ruspita et al., 2024; Inayah & Ady, 2024). Penelitian ini memperluas cakupan aplikasi tersebut dengan menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian juga dapat dimanfaatkan sebagai media immobilisasi senyawa kimia.

Dibandingkan dengan penelitian Muhsinun dan Hidayat (2025), penelitian ini memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengaitkan karakteristik karbon aktif, mekanisme immobilisasi, dan uji stabilitas media. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam pengembangan material karbon aktif berbasis limbah biomassa.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif berbahan kulit durian memiliki potensi yang sangat baik sebagai media immobilisasi asam lemak hidroksamat. Proses karbonisasi dan aktivasi yang diterapkan mampu menghasilkan karbon aktif dengan struktur berpori dan sifat permukaan yang mendukung terjadinya interaksi antara karbon aktif dan senyawa hidroksamat. Karakteristik fisik dan kimia karbon aktif yang

dihasilkan, khususnya keberadaan gugus fungsional oksigen dan distribusi pori yang memadai, menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan proses immobilisasi.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa karbon aktif kulit durian mampu mengimobilisasi asam lemak hidroksamat secara efektif melalui kombinasi mekanisme adsorpsi fisik dan interaksi kimia. Penurunan konsentrasi asam lemak hidroksamat dalam larutan setelah proses kontak menegaskan bahwa permukaan karbon aktif berperan sebagai penyangga yang aktif dan responsif terhadap senyawa target. Selain itu, stabilitas media immobilisasi yang relatif baik setelah beberapa siklus penggunaan menunjukkan bahwa ikatan antara asam lemak hidroksamat dan karbon aktif cukup kuat untuk mempertahankan fungsi material dalam kondisi operasional tertentu.

Penelitian ini juga menegaskan bahwa limbah kulit durian dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif bernilai tambah tinggi, tidak hanya sebagai adsorben konvensional, tetapi juga sebagai media immobilisasi senyawa kimia. Pemanfaatan limbah biomassa ini mendukung upaya pengembangan material ramah lingkungan dan berkelanjutan, sekaligus memberikan alternatif material fungsional yang lebih ekonomis dibandingkan karbon aktif komersial.

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan karbon aktif berbasis biomassa untuk aplikasi immobilisasi, khususnya asam lemak hidroksamat. Temuan yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan, baik dalam optimasi kondisi sintesis dan immobilisasi maupun dalam pengujian aplikasi praktis media immobilisasi ini pada sistem kimia dan lingkungan yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-sareji, O. J., Albayati, T. M., & Doyle, A. M. (2023). Removal of pharmaceuticals from water using laccase immobilized on activated carbon derived from orange peels. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109356. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109356>
- Ardiansyah, W. Z. (2024). Pemanfaatan kulit durian sebagai karbon aktif untuk pemurnian minyak jelantah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Kimia*, 6(1), 77–84.
- Damayanti, A., Siregar, Y. D. I., & Sari, R. P. (2023). Effects of phosphate and thermal treatments on carbonaceous materials derived from durian peel. *Chemistry Proceedings*, 7(5), 75. <https://doi.org/10.3390/chemproc2023005075>
- Febriyanto, P., Pratiwi, N., & Setiawan, A. (2019). Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari kulit durian dengan metode hidrotermal. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 4(1), 112–118.
- Inayah, I., & Ady, P. I. (2024). Kemampuan karbon aktif kulit durian sebagai media filtrasi bau dan zat organik air sumur. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 24(1), 33–41.
- Irnameria, D. (2020). *Karakteristik karbon aktif dari limbah kulit durian pada suhu karbonisasi 300°C* (Laporan penelitian). Repository Poltekkes Kemenkes Bengkulu.
- Jafar, B. M., Al-Degs, Y. S., & Sunjuk, M. S. (2015). Kinetic study on adsorption of fatty hydroxamic acids by natural clays. *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(1), 11–17.
- Legiso, L. (2020). Activated carbon preparation from durian shell wastes using chemical activation. *Proceedings of National Seminar on Chemical Engineering*, 2(1), 45–51.
- Masyithah, C. (2018). Pemanfaatan limbah kulit durian sebagai arang aktif untuk pemurnian minyak goreng bekas. *Jurnal Kimia Sari Mutiara*, 3(2), 55–62.
- Muhsinun, M., & Hidayat, S. (2025). Potensi Karbon Aktif dari Kulit Durian dengan Aktivator HCl untuk Immobilisasi Asam Lemak Hidroksamat. *Varied Knowledge Journal*, 3(1), 40–47. <https://doi.org/10.71094/vkj.v3i1.128>
- Ningrum, N. A. D. (2021). *Sintesis dan karakterisasi karbon aktif dari kulit durian* (Skripsi). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Nury, D. F., Pratama, R. A., & Hidayat, S. (2024). Optimization of durian peel-based activated carbon using response surface methodology. *Journal of Chemical Process Engineering*, 9(1), 14–25.
- Pu, Y., Liu, X., & Wang, J. (2024). Performance of bioenergy production from durian shell waste and application of derived biochar for adsorption. *Water*, 16(4), 622. <https://doi.org/10.3390/w16040622>
- Ruspita, R., Agipa, L., & Kurnia, R. (2024). Adsorben karbon aktif dari kulit durian untuk penurunan COD limbah cair laboratorium. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(1), 1–9.
- Santos, M. P. F., Silva, J. A., & Rocha, O. R. S. (2024). Proteases: Importance, immobilization protocols, and potential of activated carbon as support. *BioTech*, 13(2), 45.

- Tran, Q. T., Nguyen, T. H., Pham, T. D., & Le, V. T. (2022). Activated carbon from durian shell waste: Preparation, characterization, and adsorption performance. *Materials*, 15(23), 8566. <https://doi.org/10.3390/ma15238566>
- Xiao, J., Liu, Y., Zhang, X., & Wang, Y. (2024). Preparation of aliphatic hydroxamic acids from Litsea cubeba kernel oil and their application. *Molecules*, 29(1), 217. <https://doi.org/10.3390/molecules29010217>
- Yatmani, Y., Handayani, S., & Prakoso, B. (2022). Optimization parameters of activated carbon from durian peel using chemical activation. *Journal of Bioresource Engineering and Sustainability*, 2(3), 89–98.
- Yuliusman, Y., Prasetyo, H., & Widodo, S. (2020). Activated carbon preparation from durian peel wastes using chemical and physical activation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 858, 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/858/1/012018>
- Zhang, L., Chen, J., & Li, H. (2022). Development of carbon-based supports using biochar for enzyme immobilization. *Materials*, 15(14), 4892. <https://doi.org/10.3390/ma15144892>