Maliki Interdisciplinary Journal (MIJ) eISSN: 3024-8140
Volume 4, Issue November, 2026 pp. 1170-1174 http://urj.uin-malang.ac.id/index.php/mij/index

Pemanfaatan material berbasis karbon dalam degradasi zat pencemar pada limbah cair

Davyana Allya Fhadillah
Program Studi Kimia, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
e-mail: fhadillahdavyanaallya@gmail.com

Kata Kunci:
Karbon aktif, limbah cair, adsorpsi, degradasi pencemar, material karbon.

Keywords:
Activated carbon, liquid waste, adsorption, pollutant degradation, carbon materials.

A B S T R A K

Pencemaran limbah cair menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat akibat aktivitas industri, rumah tangga, dan laboratorium. Berbagai zat pencemar seperti logam berat, pewarna sintetis, serta senyawa organik berbahaya dapat menurunkan kualitas lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia. Salah satu metode yang banyak dikembangkan dalam pengolahan limbah cair adalah penggunaan material berbasis karbon sebagai adsorben dan fotokatalis ramah lingkungan. Pemanfaatan material berbasis karbon aktif sebagai adsorben ramah lingkungan kini berkembang sangat pesat untuk mengatasi permasalahan limbah cair industri. Penelitian ini mengeksplorasi efisiensi biodegradasi dan adsorpsi zat pencemar menggunakan karbon aktif dari berbagai biomassa dan limbah yang diaktivasi dengan natrium klorida (NaCl). Proses aktivasi kimia terbukti mampu memperluas porositas permukaan dan meningkatkan gugus fungsi aktif material karbon sehingga kapasitas penjerapan zat warna serta logam berat meningkat signifikan. Hasil sintesis ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah lokal berpotensi tinggi sebagai alternatif agen pengolah limbah cair yang murah dan efisien.

A B S T R A C T

Liquid waste pollution has become one of the increasing environmental problems caused by industrial, household, and laboratory activities. Various pollutants such as heavy metals, synthetic dyes, and hazardous organic compounds can reduce environmental quality and negatively affect human health. One of the widely developed methods in wastewater treatment is the use of carbon-based materials as environmentally friendly adsorbents and photocatalysts. The utilization of activated carbon-based materials as eco-friendly adsorbents has rapidly developed to overcome industrial wastewater problems. This study explores the efficiency of biodegradation and adsorption of pollutants using activated carbon derived from various biomass and waste materials activated with sodium chloride (NaCl). The chemical activation process has been proven to enhance surface porosity and increase active functional groups of carbon materials, thereby significantly improving the adsorption capacity for dyes and heavy metals. These findings indicate that the utilization of local waste materials has high potential as an affordable and efficient alternative agent for wastewater treatment.

Pendahuluan

Pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah cair industri tanpa pengolahan yang tepat telah menjadi krisis ekologis global yang sangat serius. Senyawa organik kompleks, zat warna sintetis, dan logam berat sering kali terakumulasi dalam perairan dan merusak kestabilan ekosistem akuatik secara masif. Berbagai metode konvensional seperti koagulasi kimia dan filtrasi membran memerlukan biaya operasional yang sangat tinggi serta menghasilkan lumpur sekunder yang beracun. Oleh karena itu, diperlukan

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license.
Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

alternatif teknologi pengolahan limbah cair yang lebih ekonomis, efisien, dan ramah lingkungan untuk keberlanjutan masa depan (Hartini, 2014).Salah satu metode pengolahan limbah cair yang paling efektif dan banyak diterapkan saat ini adalah metode adsorpsi. Proses adsorpsi dinilai unggul karena metodenya yang relatif sederhana, tidak menghasilkan produk sampingan berbahaya, dan memiliki fleksibilitas operasional yang tinggi. Efisiensi metode adsorpsi ini sangat bergantung pada jenis material adsorben yang digunakan untuk mengikat molekul polutan dalam air. Pengembangan adsorben yang berasal dari limbah organik berbiaya rendah menjadi fokus utama guna menggantikan adsorben komersial yang mahal (Prasetyo et al., 2011).

Material berbasis karbon, khususnya karbon aktif, memiliki peran penting sebagai agen adsorpsi karena karakteristik strukturalnya yang sangat istimewa. Karbon aktif memiliki luas permukaan spesifik yang besar serta volume pori yang melimpah untuk menampung partikel kontaminan. Selain itu, permukaan karbon aktif kaya akan gugus fungsi oksigen yang memfasilitasi interaksi kimia kuat dengan berbagai jenis zat pencemar. Kemampuan ini menjadikan material karbon sebagai material adsorben yang efektif dalam menyaring molekul organik maupun anorganik dari fase cair secara optimal (Hartini, 2014).Potensi ketersediaan bahan baku lokal berupa biomassa sisa pertanian dan limbah padat industri di Indonesia sangat melimpah untuk diolah menjadi karbon aktif. Bahan-bahan seperti ampas tahu, sekam padi, tempurung kelapa, dan ban bekas umumnya belum dimanfaatkan secara maksimal dan hanya menjadi timbunan sampah. Mengubah material sisa tersebut menjadi produk karbon bernilai guna tinggi secara langsung menerapkan prinsip pengelolaan lingkungan berbasis zero waste. Metode ini tidak hanya mengurangi jumlah limbah padat di lingkungan tetapi juga menekan biaya produksi adsorben sintetik (Prasetyo et al., 2011).

Untuk meningkatkan kapasitas penyerapan karbon aktif dari biomassa, proses aktivasi agen kimia menjadi tahapan penting yang harus dilakukan. Aktivator ramah lingkungan seperti natrium klorida (NaCl) mulai banyak dipilih menggantikan asam kuat atau basa kuat yang bersifat korosif dan berbahaya. Penggunaan garam NaCl mampu membersihkan pengotor yang menyumbat poripori karbon sekaligus memicu terbentuknya struktur mesopori baru selama proses pirolisis. Modifikasi permukaan menggunakan garam dapur ini terbukti lebih aman, murah, serta menghasilkan kualitas adsorben yang kompetitif (Nurmayanti & Hastuti, 2014).Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif pemanfaatan berbagai jenis material berbasis karbon teraktivasi NaCl dalam mendegradasi zat pencemar limbah cair. Pembahasan difokuskan pada pengaruh variasi bahan baku, temperatur kalsinasi, serta mekanisme interaksi antara adsorben karbon dengan senyawa target seperti zat warna dan logam berat. Melalui sintesis data dari berbagai riset, diharapkan kajian ini dapat memberikan panduan ilmiah operasional pengolahan limbah cair berbasis material murah. Karakteristik fisis dan kimiawi adsorben akan dianalisis secara mendalam demi mewujudkan sistem remediasi perairan yang aplikatif dan berkelanjutan.

Pembahasan

Karakteristik karbon aktif teraktivasi NaCl

Sintesis dan modifikasi material berbasis arang dari limbah organik menggunakan aktivator kimia natrium klorida (NaCl) terbukti secara signifikan mampu memperbaiki karakteristik fisikokimia material adsorben. Sebagai contoh nyata, ampas tahu yang dikarbonisasi dan diaktivasi menggunakan agen NaCl menghasilkan struktur pori aktif yang sangat efektif untuk membersihkan senyawa pengotor (Hartini, 2014). Penambahan konsentrasi agen pengaktif tersebut secara linier memengaruhi luas permukaan spesifik serta volume total pori dari matriks karbon fungsional yang terbentuk. Pengaturan temperatur pirolisis yang optimal bersama garam NaCl murni akan memicu terbentuknya gugus fungsi arang yang stabil dan sangat reaktif terhadap paparan eksternal molekul polutan.

Karakterisasi sifat fisis membran komposit

Kombinasi material karbon aktif ke dalam struktur membran polimer juga memberikan solusi inovatif dalam menyaring kontaminan berbahaya berskala mikro pada fase cair. Karakterisasi sifat fisis membran polimer matrik komposit (PMC) yang mengintegrasikan arang aktif tempurung kelapa menunjukkan kemampuan filtrasi dan adsorpsi yang sangat stabil (Nurmayanti & Hastuti, 2014). Adanya partikel karbon aktif di dalam matriks polimer tersebut terbukti meningkatkan kekuatan mekanis sekaligus memperbanyak situs aktif penjerapan senyawa toksik. Senyawa bahan alam seperti fraksi aktif antioksidan dari biji gandaria turut memperkaya khazanah modifikasi fungsional material organik (Nopiana et al., 2023).

Adsorpsi zat warna dan logam berat

Penerapan material berbasis karbon aktif ini menunjukkan efektivitas yang luar biasa dalam mengadsorpsi zat warna berbahaya seperti metilen biru pada limbah cair tekstil. Pemanfaatan arang ban bekas yang diaktivasi NaCl pada variasi suhu tinggi antara 600°C hingga 650°C membuktikan bahwa kenaikan suhu kalsinasi memicu pembukaan pori secara maksimal (Prasetyo et al., 2011). Mekanisme penyerapan zat warna organik ini bekerja melalui interaksi elektrostatik serta gaya van der waals di dalam rongga mesopori karbon aktif. Selain ban bekas, abu limbah kelapa yang diaktivasi NaCl juga menjadi adsorben berbiaya rendah yang sangat efisien untuk mereduksi konsentrasi zat warna metilen biru (Pujiana et al., 2020).

Remediasi logam berat Cr(VI) dan senyawa organik

Pengembangan adsorben berbasis limbah pertanian spesifik seperti sekam padi yang diaktivasi NaCl berhasil memperluas diversifikasi teknologi remediasi logam berat di perairan. Sekam padi teraktivasi NaCl terbukti sangat efektif digunakan sebagai material penyerap untuk mengikat ion logam berat beracun seperti kromium heksavalan atau Cr(VI) (Fauziah et al., 2024). Reaksi reduksi dan penyerapan ion Cr(VI) pada permukaan karbon aktif ini sangat dipengaruhi oleh kondisi keasaman larutan serta waktu kontak optimum adsorpsi. Efektivitas tinggi dari pemanfaatan material sekam padi ini menegaskan bahwa aktivasi NaCl mampu mengubah limbah pertanian menjadi produk fungsional penyaring polutan industri yang efektif dan efisien.

Pemurnian parameter limbah minyak

Selain zat warna sintetis dan logam berat, material karbon aktif juga efektif diterapkan untuk menurunkan parameter bilangan peroksida serta asam lemak bebas. Aktivasi kimia menggunakan NaCl pada karbon aktif yang berasal dari polong buah kelor mampu meningkatkan afinitas gugus fungsi permukaan dalam mengikat molekul lipid teroksidasi (Aisyah et al., 2010). Pengurangan kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*) ini terjadi karena adanya kecocokan polaritas antara pori-pori adsorben karbon dengan rantai hidrokarbon kontaminan minyak. Proses pemutihan (*bleaching*) menggunakan arang aktif biomassa ini memberikan metode restorasi kualitas minyak jelantah agar tidak mencemari lingkungan perairan saat dibuang.

Kesimpulan dan Saran

Material berbasis karbon yang diaktivasi menggunakan NaCl menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam proses adsorpsi berbagai zat pencemar pada limbah cair. Aktivasi kimia menggunakan NaCl mampu meningkatkan luas permukaan, jumlah pori, serta gugus fungsi aktif pada karbon sehingga efektivitas penyerapan polutan menjadi lebih tinggi. Berbagai bahan limbah seperti ampas tahu, ban bekas, sekam padi, tempurung kelapa, dan abu limbah kelapa dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon aktif yang ramah lingkungan. Pemanfaatan limbah organik dan limbah padat tersebut juga memberikan nilai tambah dalam mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Material karbon aktif tidak hanya efektif dalam menyerap zat warna sintetis dan logam berat, tetapi juga mampu menurunkan kadar senyawa organik seperti asam lemak bebas dan bilangan peroksida pada limbah minyak. Pengembangan membran komposit berbasis karbon aktif turut meningkatkan kemampuan filtrasi dan adsorpsi terhadap senyawa pencemar berbahaya. Efektivitas adsorpsi material karbon dipengaruhi oleh kondisi aktivasi, suhu pirolisis, waktu kontak, serta karakteristik permukaan adsorben. Oleh karena itu, material berbasis karbon berpotensi menjadi alternatif teknologi pengolahan limbah cair yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Pengembangan material berbasis karbon perlu terus dilakukan untuk meningkatkan efektivitas degradasi zat pencemar pada limbah cair. Perlu adanya penelitian berkelanjutan untuk mengoptimalkan proses aktivasi karbon aktif menggunakan berbagai jenis aktivator kimia agar diperoleh kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi. Pengembangan material berbasis karbon juga dapat diarahkan pada kombinasi teknologi adsorpsi dan fotokatalisis untuk meningkatkan efektivitas degradasi zat pencemar. Selain itu, diperlukan pengujian lebih lanjut dalam skala industri untuk mengetahui stabilitas dan efisiensi penggunaan material karbon dalam jangka panjang. Pemanfaatan limbah biomassa lokal sebagai bahan dasar karbon aktif juga perlu terus dikembangkan untuk mendukung teknologi pengolahan limbah yang berkelanjutan dan bernilai ekonomis tinggi.

Daftar Pustaka

Aisyah, S., Yulianti, E., & Fasya, A. G. (2010). Penurunan angka peroksida dan asam lemak bebas (FFA) pada proses bleaching minyak goreng bekas oleh karbon aktif polong buah kelor (Moringa oliefera. Lamk) dengan aktivasi NaCl. *ALCHEMY: Journal of Chemistry*. https://repository.uin-malang.ac.id/5029/

Fauziah, Z. N., Fathurrahman, M., Kusumawardani, L. J., & Heliawati, L. (2024). Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Karbon Aktif Teraktivasi NaCl Sebagai Adsorben untuk Menjerap Logam Cr (VI). *ALCHEMY: Journal of Chemistry*, *12*(2), 44–52.

Hartini, L. (2014). *Karakterisasi karbon aktif teraktivasi NaCl dari ampas tahu* [Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim]. https://repository.uin-malang.ac.id/5039/

Nopiana, M., Putri, E. M., Novariyan, A., Pahrudin, I., Junaedi, C., & Rudiana, T. (2023). Karakterisasi fraksi aktif antioksidan dari biji gandaria (Bouea macrophylla). *Alchemy: Journal of Chemistry*, *11*(1), 35–40.

Nurmayanti, V., & Hastuti, E. (2014). Karakterisasi sifat fisis membran polimer matrik komposit (PMC) dari karbon aktif tempurung kelapa untuk adsorbsi logam berat pada minyak goreng bekas. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. https://repository.uin-malang.ac.id/993/

Prasetyo, A., Yudi, A., & Astuti, R. N. (2011). Adsorpsi metilen blue pada karbon aktif dari ban bekas dengan variasi konsentrasi NaCl pada suhu pengaktifan 600 OC dan 650 OC. *Neutrino*, *4*(1), 16–23. https://repository.uin-malang.ac.id/6981/

Pujiana, N., Yulianti, E., Rahmatulloh, A., Khalifah, S. N., & Istighfarini, V. N. (2020). A low-cost adsorbent coconut waste ash activated nacl for methylene blue removal. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, *12*(2), 43–48. https://repository.uin-malang.ac.id/7265/