

WAKTU KONTAK OPTIMUM ARANG AKTIF KULIT JAMBU METE DALAM MENURUNKAN KADAR COD PADA LIMBAH LAUNDRY

Lasmi Astuti¹, Dahlan², Ekacahyana Mandasari³

Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Halu Oleo^{1,2,3}

e-mail: astutilasmi6@gmail.com

Diterima: 23/7/2026; Direvisi: 7/8/2026; Diterbitkan: 14/8/2026

ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan jasa laundry menyebabkan volume limbah cair yang dihasilkan semakin tinggi dan berpotensi mencemari lingkungan perairan. Limbah laundry mengandung deterjen, surfaktan, minyak, lemak, dan senyawa organik yang dapat meningkatkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD). Tingginya nilai COD menunjukkan tingginya kandungan bahan organik dalam limbah sehingga diperlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif kulit jambu mete dalam menurunkan kadar COD limbah laundry serta menentukan waktu kontak optimum proses adsorpsi. Arang aktif dibuat melalui proses karbonisasi kulit jambu mete pada suhu 300–500°C dan diaktivasi secara kimia menggunakan larutan HCl 0,4 M. Penelitian dilakukan dengan metode adsorpsi menggunakan 2 gram adsorben dalam 100 mL limbah laundry pada variasi waktu kontak 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Kadar COD dianalisis menggunakan metode refluks tertutup secara titrimetri berdasarkan SNI 6989.15:2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar COD awal limbah laundry sebesar 2320 mg/L. Adsorpsi menggunakan arang aktif kulit jambu mete mampu menurunkan kadar COD pada seluruh variasi waktu kontak dibandingkan sampel awal. Penurunan terbesar diperoleh pada waktu kontak 15 menit dengan kadar COD sebesar 880 mg/L dan efisiensi penurunan sebesar 62,07%. Pada waktu kontak yang lebih lama, efisiensi adsorpsi cenderung menurun akibat berkurangnya situs aktif adsorben dan terjadinya proses desorpsi. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa arang aktif kulit jambu mete berpotensi digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan kadar COD limbah laundry, dengan waktu kontak optimum selama 15 menit.

Kata Kunci: *Arang Aktif, Kulit Jambu Mete, Adsorpsi, COD, Limbah Laundry.*

ABSTRACT

The increasing use of laundry services has led to a higher volume of liquid waste produced, which has the potential to pollute aquatic environments. Laundry waste contains detergents, surfactants, oils, fats, and organic compounds that can increase the Chemical Oxygen Demand (COD) value. A high COD value indicates a high content of organic matter in the waste, making treatment necessary before disposal into the environment. This study aims to determine the ability of cashew nut shell activated carbon to reduce the COD levels in laundry waste and to determine the optimum contact time for the adsorption process. The activated carbon was produced through the carbonization process of cashew nut shells at temperatures of 300–500°C and chemically activated using a 0.4 M HCl solution. The study was conducted using the adsorption method with 2 grams of adsorbent in 100 mL of laundry waste at contact times of 15, 30, 45, 60, and 75 minutes. COD levels were analyzed using the closed reflux method by titrimetry based on SNI 6989.15:2019. The results of the study showed that the initial COD

level of laundry waste was 2320 mg/L. Adsorption using cashew shell activated carbon was able to reduce COD levels at all contact time variations compared to the initial sample. The greatest reduction was obtained at a contact time of 15 minutes with a COD level of 880 mg/L and a reduction efficiency of 62.07%. At longer contact times, the adsorption efficiency tended to decrease due to the reduction of active sites on the adsorbent and the occurrence of desorption processes. Based on the results of the study, it can be concluded that cashew shell activated carbon has the potential to be used as an adsorbent to reduce COD levels in laundry waste, with an optimum contact time of 15 minutes.

Keywords: *Activated Charcoal, Cashew Nut Skin, Adsorption, COD, Laundry Waste*

PENDAHULUAN

Perubahan pola hidup masyarakat yang semakin praktis mendorong meningkatnya penggunaan jasa laundry sebagai alternatif pencucian pakaian. Peningkatan jumlah usaha laundry menyebabkan volume limbah cair yang dihasilkan juga semakin besar dan berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Limbah laundry umumnya mengandung deterjen, surfaktan, minyak, lemak, serta berbagai senyawa organik yang dapat menurunkan kualitas perairan. Salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran bahan organik dalam air limbah adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD). COD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi. Semakin tinggi nilai COD, semakin tinggi pula kandungan bahan organik dalam air limbah sehingga dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme akuatik.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, kadar COD yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan adalah maksimal 100 mg/L. Namun, limbah laundry umumnya memiliki kadar COD yang melebihi batas tersebut karena tingginya kandungan surfaktan dan senyawa organik yang berasal dari deterjen. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara baku mutu yang ditetapkan dengan kondisi limbah laundry yang dihasilkan, sehingga diperlukan upaya pengolahan yang efektif sebelum limbah dibuang ke lingkungan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar COD adalah adsorpsi. Metode adsorpsi banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair karena prosesnya relatif sederhana, biaya operasionalnya rendah, serta mampu mengurangi berbagai zat pencemar organik. Keberhasilan proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh karakteristik adsorben, terutama luas permukaan dan jumlah pori yang dimiliki. Oleh karena itu, pemanfaatan adsorben berbasis biomassa menjadi alternatif yang menarik karena mudah diperoleh, ramah lingkungan, dan memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menurunkan kadar COD menggunakan adsorben berbasis biomassa. Chairunnisa dan Fuadi (2023) melaporkan bahwa karbon aktif tempurung kelapa mampu menurunkan kadar COD limbah cair industri tahu hingga mendekati baku mutu lingkungan. Fitrianiingsih dkk. (2025) menunjukkan bahwa karbon aktif tempurung kelapa dapat menurunkan COD limbah laundry dengan efisiensi mencapai 82%. Sementara itu, Ngana dkk. (2022) menggunakan arang eceng gondok sebagai adsorben limbah laundry dan memperoleh efisiensi penurunan COD sebesar 38,70%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa adsorben berbasis biomassa memiliki potensi yang baik dalam pengolahan limbah cair.

Namun, pemanfaatan limbah kulit jambu mete sebagai bahan baku arang aktif untuk menurunkan kadar COD limbah laundry masih belum umum dilaporkan.

Kulit jambu mete merupakan limbah hasil pengolahan biji mete yang jumlahnya cukup melimpah, tetapi pemanfaatannya masih terbatas. Padahal, kulit jambu mete mengandung komponen lignoselulosa berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif. Melalui proses karbonisasi dan aktivasi, kulit jambu mete dapat diubah menjadi adsorben berpori yang memiliki kemampuan menyerap berbagai zat pencemar. Pemanfaatan limbah kulit jambu mete sebagai arang aktif tidak hanya meningkatkan nilai guna limbah pertanian, tetapi juga dapat menjadi alternatif adsorben yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Selain karakteristik adsorben, efektivitas adsorpsi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah waktu kontak. Waktu kontak menentukan lamanya interaksi antara adsorben dan adsorbat selama proses adsorpsi berlangsung. Waktu kontak yang terlalu singkat dapat menyebabkan proses adsorpsi belum berlangsung secara optimal, sedangkan waktu kontak yang terlalu lama dapat menyebabkan adsorben mencapai kondisi jenuh sehingga kemampuan penyerapannya menurun. Oleh karena itu, penentuan waktu kontak optimum perlu dilakukan untuk memperoleh kondisi adsorpsi yang paling efektif dalam menurunkan kadar COD limbah laundry.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan arang aktif kulit jambu mete dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah laundry serta menentukan waktu kontak optimum yang menghasilkan penurunan COD tertinggi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan limbah kulit jambu mete sebagai adsorben alternatif yang ramah lingkungan dan berpotensi diaplikasikan dalam pengolahan limbah cair.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Halu Oleo, Kendari. Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengetahui kemampuan arang aktif kulit jambu mete dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah laundry serta menentukan waktu kontak optimum proses adsorpsi. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengamatan secara langsung terhadap pengaruh variasi waktu kontak antara adsorben dan adsorbat dalam kondisi yang terkontrol.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kulit jambu mete, limbah laundry, kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), asam sulfat (H_2SO_4), perak sulfat (Ag_2SO_4), ferro ammonium sulfat (FAS), merkuri sulfat ($HgSO_4$), indikator ferroin, asam klorida (HCl), dan akuades. Kulit jambu mete diperoleh dari Kecamatan Tongkuno, Kabupaten Muna, Sulawesi Tenggara, sedangkan sampel limbah laundry diambil dari salah satu usaha laundry di Kota Kendari. Kulit jambu mete dikeringkan, kemudian dikarbonisasi menggunakan alat pirolisis pada suhu 300–500 °C selama 2 jam. Arang yang dihasilkan dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh, kemudian diaktivasi secara kimia menggunakan larutan HCl 0,4 M dengan perbandingan 1:3 (b/v). Setelah proses aktivasi selama 24 jam, arang dicuci hingga pH netral dan dikeringkan pada suhu 105 °C sehingga diperoleh arang aktif yang siap digunakan sebagai adsorben.

Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian adsorpsi dan analisis COD. Sebanyak 2 gram arang aktif ditambahkan ke dalam 100 mL limbah laundry, kemudian dilakukan proses adsorpsi dengan variasi waktu kontak 15, 30, 45, 60, dan 75 menit menggunakan *magnetic*

stirrer. Setelah proses adsorpsi selesai, sampel disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis kadar COD-nya menggunakan metode refluks terbuka secara titrimetri berdasarkan SNI 6989.15:2019. Pengukuran dilakukan dengan mereaksikan sampel menggunakan kalium dikromat dalam suasana asam, kemudian sisa oksidator ditentukan melalui titrasi menggunakan larutan ferro ammonium sulfat (FAS) dengan indikator ferroin.

Data yang diperoleh berupa nilai COD sebelum dan sesudah perlakuan pada setiap variasi waktu kontak. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan kadar COD awal dan kadar COD setelah adsorpsi. Efisiensi penurunan COD dihitung berdasarkan persentase penurunan konsentrasi COD setelah perlakuan. Waktu kontak optimum ditentukan berdasarkan nilai COD terendah dan persentase penurunan COD tertinggi yang diperoleh pada variasi waktu kontak yang diuji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Arang Aktif Kulit Jambu Mete

Arang aktif kulit jambu mete diperoleh melalui proses karbonisasi pada suhu 300–500°C yang dilanjutkan dengan aktivasi kimia menggunakan larutan HCl 0,4 M. Arang aktif yang dihasilkan berwarna hitam, bertekstur halus, dan memiliki ukuran partikel yang relatif seragam setelah diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Hasil aktivasi menunjukkan bahwa arang aktif yang diperoleh dapat digunakan sebagai adsorben dalam proses penurunan kadar COD limbah laundry. Hasil arang aktif yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 1.



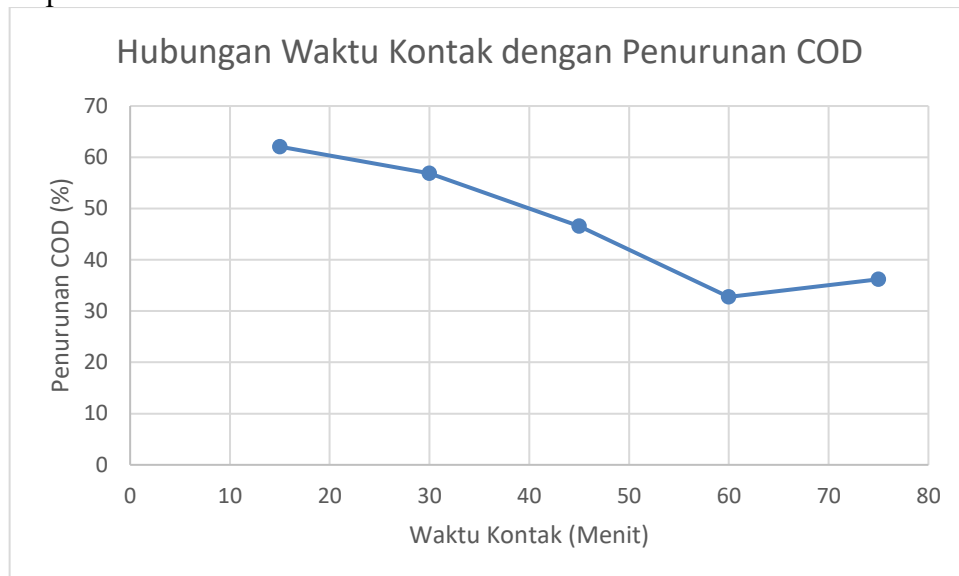
Gambar 1. Arang Hasil Aktivasi Menggunakan HCl 0,4 M
Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan COD Limbah Laundry

Hasil pengukuran kadar COD limbah laundry setelah proses adsorpsi menggunakan arang aktif kulit jambu mete pada berbagai variasi waktu kontak disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengaruh waktu kontak terhadap penurunan kadar COD

Waktu Kontak (menit)	Kadar COD (mg/L)	Penurunan COD (%)
Sampel awal	2320	-
15	880	62,07
30	1000	56,90
45	1240	46,55
60	1560	32,76
75	1480	36,21

Berdasarkan Tabel 1. terlihat bahwa perlakuan adsorpsi menggunakan arang aktif kulit jambu mete mampu menurunkan kadar COD limbah laundry pada seluruh variasi waktu kontak yang digunakan. Perubahan kadar COD dan efisiensi penurunan COD pada setiap waktu kontak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara Waktu Kontak dengan Penurunan COD

Berdasarkan gambar 2 hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak 15 menit menghasilkan kadar COD terendah dan efisiensi penurunan COD tertinggi dibandingkan variasi waktu kontak lainnya.

Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan COD Limbah Laundry Menggunakan Arang Aktif Kulit Jambu Mete

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang aktif kulit jambu mete mampu menurunkan kadar COD limbah laundry. Penurunan COD terjadi karena adanya proses adsorpsi senyawa organik yang terkandung dalam limbah laundry ke permukaan arang aktif. Limbah laundry umumnya mengandung deterjen, surfaktan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS), minyak, lemak, dan senyawa organik lainnya yang berkontribusi terhadap tingginya nilai COD (Puspita & Mirwan, 2021). Senyawa-senyawa tersebut dapat terikat pada pori dan situs aktif adsorben sehingga konsentrasinya dalam larutan berkurang (Hartal et al., 2023; Pinarti et al., 2025; Pratiwi et al., 2023)

Berdasarkan Gambar 2, penurunan COD paling efektif terjadi pada waktu kontak 15 menit. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada tahap awal adsorpsi masih tersedia banyak situs aktif pada permukaan adsorben sehingga proses penyerapan berlangsung cepat. Pada kondisi tersebut laju adsorpsi lebih besar dibandingkan laju desorpsi sehingga lebih banyak senyawa organik yang terikat pada permukaan arang aktif (Desfitri et al., 2024; Lazim et al., 2020; Ornella et al., 2023). Menurut Lempang et al. (2011), keberadaan situs aktif yang masih kosong menyebabkan adsorben memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi pada tahap awal proses adsorpsi.

Efektivitas adsorpsi yang tinggi pada waktu kontak 15 menit juga menunjukkan bahwa proses interaksi antara adsorben dan adsorbat berlangsung relatif cepat. Ukuran partikel arang aktif yang lolos ayakan 100 mesh memungkinkan luas permukaan kontak menjadi lebih besar sehingga mempercepat perpindahan molekul pencemar menuju permukaan adsorben. Kondisi tersebut menyebabkan proses difusi zat organik ke dalam pori adsorben berlangsung lebih

efektif pada awal proses adsorpsi (Syauqiah et al., 2011). Setelah mencapai waktu kontak optimum tersebut, laju adsorpsi cenderung menurun karena hampir seluruh pori dan situs aktif pada permukaan karbon telah tertutup oleh molekul polutan (Irmanto & Suyata, 2010).

Setelah waktu kontak 15 menit, kadar COD cenderung meningkat kembali hingga waktu kontak 60 menit. Fenomena ini mengindikasikan bahwa sebagian besar situs aktif adsorben mulai terisi oleh adsorbat sehingga kapasitas adsorpsi menurun. Ketika pori dan permukaan adsorben semakin jenuh, kemampuan adsorben untuk mengikat senyawa organik menjadi berkurang. Selain itu, dapat terjadi proses desorpsi, yaitu pelepasan kembali molekul yang sebelumnya telah terikat pada permukaan adsorben ke dalam larutan (Damayanti et al., 2023). Akibatnya konsentrasi senyawa organik dalam limbah meningkat kembali yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai COD. Kondisi jenuh ini menunjukkan bahwa interaksi antar molekul adsorbat yang terserap mulai melampaui kekuatan ikatan pada situs aktif, sehingga memicu lepasnya kembali polutan ke dalam media cair (Budianto et al., 2023; Irmanto & Suyata, 2009; Milawati et al., 2024; Nurhayati et al., 2020)

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Damayanti et al. (2023) yang melaporkan bahwa peningkatan waktu kontak tidak selalu menghasilkan efisiensi adsorpsi yang lebih tinggi. Setelah mencapai kondisi optimum, adsorben akan mengalami kejenuhan sehingga kemampuan adsorpsinya menurun. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Rizky dan Silalahi (2022) dalam Damayanti et al. (2023), dimana efektivitas adsorpsi meningkat hingga mencapai waktu optimum kemudian mengalami penurunan akibat berkurangnya situs aktif yang tersedia. Pada waktu kontak 75 menit terjadi sedikit penurunan kembali kadar COD dibandingkan waktu kontak 60 menit. Kondisi ini diduga disebabkan oleh adanya redistribusi adsorbat pada permukaan adsorben sehingga sebagian molekul organik kembali terikat pada pori arang aktif. Namun demikian, kemampuan adsorpsi yang terjadi tidak lagi sebesar pada awal proses karena sebagian besar situs aktif telah mengalami kejenuhan (Damayanti et al., 2023).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa waktu kontak optimum adsorpsi arang aktif kulit jambu mete terhadap limbah laundry diperoleh pada 15 menit dengan efisiensi penurunan COD sebesar 62,07%. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan penelitian Ngana et al. (2022) yang menggunakan arang eceng gondok dengan efisiensi penurunan COD sebesar 38,70%. Hasil ini menunjukkan bahwa arang aktif kulit jambu mete memiliki potensi yang baik sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan bahan organik dalam limbah laundry. Kemampuan adsorpsi tersebut dipengaruhi oleh struktur pori dan luas permukaan adsorben yang terbentuk selama proses karbonisasi dan aktivasi kimia menggunakan HCl.

KESIMPULAN

Hasil penelitian eksperimental ini menyimpulkan bahwa pemanfaatan arang aktif dari kulit jambu mete terbukti secara signifikan efektif bertindak sebagai adsorben alternatif dalam menurunkan kadar *chemical oxygen demand* pada limbah cair usaha *laundry*. Inti temuan mengonfirmasi bahwa penyerapan molekul senyawa organik deterjen berlangsung paling optimal pada tahap awal durasi waktu kontak. Penambahan durasi pengadukan yang lebih lama justru memicu kejenuhan situs aktif biomassa sehingga terjadi proses *desorption* atau pelepasan kembali zat pencemar ke dalam larutan. Ukuran partikel adsorben yang halus sukses memperluas *surface area* interaksi fisik antara permukaan karbon dan adsorbat. Secara menyeluruh, penggunaan material sisa pertanian lokal ini sah bertindak sebagai instrumen pengolahan limbah ramah lingkungan yang sangat andal untuk menekan pencemaran ekosistem perairan.

Implikasi dari riset teknik kimia lingkungan ini memberikan solusi ekonomis bagi pelaku usaha *laundry* dalam mengolah limbah cair domestik sebelum dibuang ke saluran umum. Pemanfaatan limbah biomassa ini juga berpotensi mendukung program mitigasi pencemaran air secara berkelanjutan di tingkat lokal. Untuk agenda riset di masa depan, para peneliti selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi variasi konsentrasi larutan aktivator kimia serta optimasi suhu proses *pyrolysis*. Penyelidikan lanjutan juga sebaiknya menguji efektivitas adsorpsi pada parameter pencemar air lainnya, seperti *biological oxygen demand*, *total suspended solids*, dan kadar surfaktan anionik. Pendekatan komprehensif melalui uji kontinu skala *column study* sangat direkomendasikan untuk membongkar dinamika kapasitas penyerapan maksimal adsorben secara lebih presisi, akurat, terbuka, serta akuntabel nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 6989.15:2019 Air dan air limbah – Bagian 15: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara titrimetri*. Badan Standardisasi Nasional.
- Budianto, A., Pratiwi, A. G., Ningsih, S. A., & Kusdarini, E. (2023). Reduction of ammonia nitrogen and chemical oxygen demand of fertilizer industry liquid waste by coconut shell activated carbon in batch and continuous systems. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 156–164. <https://doi.org/10.12911/22998993/164759>
- Chairunisa, Z. N., & Fuadi, A. M. (2023). Efektivitas adsorben karbon aktif dari tempurung kelapa untuk pengolahan limbah cair pabrik tahu. *Inovasi Teknik Kimia*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1234/itk.v8i1.2023>
- Damayanti, A. P., Nury, D. F., Sufra, R., Deviany, Achmad, F., & Luthfi, M. Z. (2023). Uji efektivitas adsorben dari kulit durian terhadap kadar COD dan TSS pada limbah cair industri tahu. *Jurnal Chemurgy*, 9(2), 1–10. <https://doi.org/10.1234/chemurgy.v9i2.2023>
- Desfitri, E. R., Arifanda, A. Y., Yulianti, A., Paysmi, P., & Desmiarti, R. (2024). Studi efektivitas pemanfaatan arang aktif cangkang kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) sebagai adsorben pengurangan kadar amonia limbah cair tahu. *Eksergi*, 21(1), 24–35. <https://doi.org/10.31315/e.v21i1.10974>
- Fitrianingsih, G., Adzillah, W. N., & Ratnawati, K. (2025). Evaluasi efisiensi adsorpsi chemical oxygen demand dan fosfat pada limbah laundry menggunakan karbon aktif tempurung kelapa. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 16(2), 1–10. <https://doi.org/10.1234/jial.v16i2.2025>
- Hartal, O., Haddaji, C., Anouzla, A., Madinzi, A., & Souabi, S. (2023). Recent advances in physicochemical and biological techniques for the management of discharges loaded with surfactants. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 37(1), 1–10. <https://doi.org/10.15255/cabeq.2022.2071>
- Irmanto, I., & Suyata, S. (2009). Penurunan kadar amonia, nitrit, dan nitrat limbah cair industri tahu menggunakan arang aktif dari ampas kopi. *Molekul*, 4(2), 105–115. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2009.4.2.68>
- Irmanto, I., & Suyata, S. (2010). Optimasi penurunan nilai BOD, COD dan TSS limbah cair industri tapioka menggunakan arang aktif dari ampas kopi. *Molekul*, 5(1), 22–32. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2010.5.1.73>
- Lazim, Z. M., Hadibarata, T., Yusop, Z., Nazifa, T. H., Abdullah, N. H., Nuid, M., Atikah, N., Salim, N. A. A., Zainuddin, N. A., Ahmad, N., Almeida, S., Raposo, A., Almeida-

- Gonzalez, M., Carrascosa, C., Inadera, H., Metz, C., Bisphenol, A., ... Bukhari, S. (2020). Bisphenol A removal by adsorption using waste biomass: Isotherm and kinetic studies. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(1), 8467–8481. <https://doi.org/10.33263/briac111.84678481>
- Lempang, M., Syafii, W., & Pari, G. (2011). Struktur dan komponen arang serta arang aktif tempurung kemiri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(3), 1–10. <https://doi.org/10.1234/jphh.v29i3.2011>
- Milawati, S., Adhitiyawarman, A., & Nusantara, R. W. (2024). Banana peel adsorbent to reduce the concentration of lead and cadmium metal pollution in landfill leachate. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 27(3), 110–120. <https://doi.org/10.14710/jksa.27.3.110-120>
- Ngana, M. N., Suwari, & Ola, P. D. (2022). Penurunan kadar kekeruhan, BOD, dan COD pada limbah laundry menggunakan biosorben arang eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Chem. Notes*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.1234/chemnotes.v4i2.2022>
- Nurhayati, I., Vigiani, S., & Majid, D. (2020). Penurunan kadar besi dan kromium limbah cair laboratorium teknik lingkungan dengan pengenceran, koagulasi dan adsorpsi. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 14(1), 74–85. <https://doi.org/10.24843/ejes.2020.v14.i01.p07>
- Ornella, A. C., Yulianti, N. L., & Aviantara, I. G. N. A. (2023). Pengaruh waktu kontak dan jenis arang aktif terhadap karakteristik buah alpukat mentega selama penyimpanan. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 12(1), 156–165. <https://doi.org/10.24843/jbeta.2024.v12.i01.p18>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. (2016). *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI*.
- Pinarti, I., Noorbilqis, F., Pratiwi, S. W., & Nurmallasari, R. (2025). Optimization of volume and mass of eggshell in removal of linear alkylbenzene sulfonate levels in laundry waste. *JURNAL PIJAR MIPA*, 20(3), 415–420. <https://doi.org/10.29303/jpm.v20i3.8205>
- Pratiwi, A. T., Widiatmono, B. R., & Wirosodarmo, R. (2023). Adsorpsi minyak dan timbal (Pb) pada air limbah bengkel mobil menggunakan bentonit dan cangkang telur ayam (*Gallus domesticus*) sebagai adsorben. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 125–131. <https://doi.org/10.14710/jil.22.1.125-131>
- Puspita, I. S., & Mirwan, M. (2021). Fitoremediasi limbah laundry menggunakan tanaman mengsiang (*Actinoscirpus grossus*) dan lembang (*Thypa angustifolia* L.). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.1234/jtl.v2i1.2021>
- Syauqiah, Mayang, A., & Hetty, A. K. (2011). Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Jurnal Info Teknik*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1234/jit.v12i1.2011>