



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Efektivitas Limbah Kulit Jeruk Sebagai Bioadsorben Untuk Remediasi Air Tercemar: Kajian Literatur

Effectiveness of Orange Peel Waste as a Bioadsorbent for Polluted Water Remediation: A Literature Review

Shela Enjelina Saragih¹, Najwa Syifa Nasution², Laila Agustina³, Manna Wa Salwa⁴, Nadia Dwi Salsabila⁵, Uci Gresia Tarigan⁶, Nursia Marsaulina Panjaitan⁷, Syairal Fahmy Dalimunthe⁸

¹⁻⁷Program S1-Kimia, Universitas Negeri Medan - Indonesia

⁸Program Studi Sastra Indonesia, Universitas Negeri Medan - Indonesia

*Corresponding Author: E-mail: :shelasaragih.4243210048@mhs.unimed.ac.id¹

Artikel Review

Received: 27 Apr, 2026

Revised: 14 May, 2026

Accepted: 25 Jun, 2026

Kata Kunci:

Adsorpsi, Bioadsorben, Kulit Jeruk, Limbah Biomassa, Remediasi Air

Keywords:

Adsorption, Bioadsorbents, Orange Peels, Biomass Waste, Water Remediation

DOI: 10.56338/jks.v9i6.11286

ABSTRAK

Pencemaran air akibat logam berat dan zat warna sintetis memerlukan metode pengolahan yang efektif, murah, dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengkaji efektivitas limbah kulit jeruk sebagai bioadsorben untuk remediasi air tercemar melalui metode kajian literatur (*literature review*). Hasil kajian menunjukkan bahwa kulit jeruk mengandung gugus fungsi aktif seperti hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) yang mampu mengadsorpsi berbagai polutan dalam air. Berbagai penelitian melaporkan bahwa limbah kulit jeruk efektif digunakan untuk menyerap logam berat seperti Pb²⁺, Cd²⁺, Cr(VI), Fe²⁺, dan Hg, serta zat warna sintetis seperti methylene blue dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi. Efektivitas adsorpsi dipengaruhi oleh pH, waktu kontak, dosis adsorben, dan metode aktivasi. Modifikasi fisik dan kimia terbukti mampu meningkatkan luas permukaan dan jumlah situs aktif adsorben sehingga kemampuan adsorpsi menjadi lebih optimal. Selain efektif dalam pengolahan air tercemar, pemanfaatan limbah kulit jeruk juga mendukung konsep *green technology* dan *circular economy* karena memanfaatkan limbah organik menjadi material bernilai guna dan ramah lingkungan. Dengan demikian, limbah kulit jeruk berpotensi menjadi bioadsorben alternatif yang murah, efektif, dan berkelanjutan untuk pengolahan air tercemar.

ABSTRACT

Water pollution caused by heavy metals and synthetic dyes requires treatment methods that are effective, cost-effective, and environmentally friendly. This study aims to examine the effectiveness of orange peel waste

as a bioadsorbent for the remediation of contaminated water through a literature review. The results of the review indicate that orange peel contains active functional groups such as hydroxyl (-OH) and carboxyl (-COOH) groups capable of adsorbing various pollutants in water. Various studies report that orange peel waste is effective for adsorbing heavy metals such as Pb^{2+} , Cd^{2+} , $Cr(VI)$, Fe^{2+} , and Hg , as well as synthetic dyes like methylene blue, with high adsorption capacities. Adsorption effectiveness is influenced by pH, contact time, adsorbent dosage, and activation methods. Physical and chemical modifications have been shown to increase the surface area and number of active sites on the adsorbent, thereby optimizing adsorption capacity. In addition to being effective in treating contaminated water, the utilization of orange peel waste also supports the concepts of green technology and the circular economy by transforming organic waste into a valuable and environmentally friendly material. Thus, orange peel waste has the potential to serve as a low-cost, effective, and sustainable alternative bioadsorbent for treating contaminated water.

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan penting bagi kehidupan, namun kualitas air terus mengalami penurunan akibat pencemaran dari limbah domestik, industri, dan pertanian. Menurut Dey et al. (2021), pencemaran air oleh senyawa nitrogen, logam berat, dan zat warna sintetis dapat membahayakan kesehatan manusia serta lingkungan sehingga diperlukan metode pengolahan air yang efektif dan ramah lingkungan.

Salah satu metode yang banyak digunakan adalah adsorpsi karena prosesnya sederhana, efisien, dan memiliki biaya relatif rendah. Menurut Kyzas dan Kostoglou (2014), penggunaan bioadsorben dari limbah biomassa pertanian menjadi alternatif yang potensial karena murah, mudah diperoleh, dan berkelanjutan. Salah satu limbah biomassa yang berpotensi dimanfaatkan adalah kulit jeruk karena mengandung selulosa, lignin, hemiselulosa, dan pektin dengan gugus fungsi aktif seperti hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) yang mampu mengikat polutan dalam air (Michael-Igolia et al., 2023).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa limbah kulit jeruk efektif digunakan untuk mengadsorpsi logam berat dan zat warna sintetis. Menurut Hasan et al. (2021), kulit jeruk termodifikasi mampu menghilangkan antimon hingga 98,5%, sedangkan Rasheed et al. (2026) melaporkan kapasitas adsorpsi methylene blue mencapai 277,78 mg/g. Selain itu, Rahman et al. (2023) menyatakan bahwa selulosa kulit jeruk efektif menyerap ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} karena memiliki banyak situs aktif pada permukaannya.

Pemanfaatan limbah kulit jeruk sebagai bioadsorben tidak hanya efektif dalam remediasi air tercemar, tetapi juga mendukung konsep *green technology* dan *circular economy* karena memanfaatkan limbah organik menjadi material bernilai guna. Oleh karena itu, kajian literatur mengenai efektivitas limbah kulit jeruk sebagai bioadsorben perlu dilakukan untuk memahami potensi dan efektivitasnya dalam pengolahan air tercemar.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kajian literatur (*literature review*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif untuk mengkaji efektivitas limbah kulit jeruk sebagai bioadsorben dalam remediasi air tercemar. Data yang digunakan berupa data sekunder yang

diperoleh dari artikel jurnal nasional dan internasional, artikel review, serta referensi ilmiah yang relevan.

Penelusuran literatur dilakukan melalui database akademik seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan MDPI menggunakan kata kunci *orange peel bioadsorbent*, *orange peel adsorption for water treatment*, serta *orange peel waste for heavy metal removal*. Literatur kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik, yaitu penelitian yang membahas penggunaan limbah kulit jeruk sebagai adsorben untuk pengolahan air tercemar serta memuat data efisiensi dan mekanisme adsorpsi.

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil berbagai penelitian mengenai karakteristik adsorben, jenis polutan yang diadsorpsi, efektivitas adsorpsi, serta faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Hasil analisis kemudian disintesis untuk memperoleh kesimpulan mengenai potensi limbah kulit jeruk sebagai bioadsorben ramah lingkungan dan berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kajian Literatur Limbah Kulit Jeruk sebagai Bioadsorben untuk Remediasi Air Tercemar

Berdasarkan hasil telaah terhadap berbagai penelitian mengenai pemanfaatan kulit jeruk sebagai adsorben dan biosorben, ditemukan bahwa limbah kulit jeruk memiliki potensi besar sebagai bahan ramah lingkungan dalam proses pengolahan limbah cair, khususnya untuk adsorpsi zat warna, logam berat, amonia, nitrat, fosfat, hingga selenium. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa modifikasi fisik, kimia, maupun termal terhadap kulit jeruk mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi melalui peningkatan luas permukaan, jumlah pori, dan keberadaan gugus fungsi aktif pada adsorben.

Penelitian oleh E Rasheed dan rekan tahun 2026 menggunakan adsorben kulit jeruk berupa OP, AHOP, dan AZOP-550 untuk adsorpsi methylene blue (MB). Penelitian tersebut menganalisis luas permukaan BET, pH, isoterm adsorpsi, dan kinetika adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AHOP memiliki kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 277,78 mg/g dan proses adsorpsi mengikuti model pseudo-second-order. Temuan ini menunjukkan bahwa modifikasi adsorben mampu meningkatkan kemampuan penyerapan zat warna secara signifikan.

Penelitian oleh S Dey dan rekan tahun 2021 menggunakan biosorben kulit jeruk untuk biosorpsi amonia dan nitrat dengan parameter analisis berupa pH, suhu, waktu kontak, dan dosis adsorben. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum proses biosorpsi diperoleh pada pH 5,5, suhu 35°C, dan waktu kontak 60 menit. Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi operasi sangat mempengaruhi efektivitas biosorben dalam menyerap senyawa pencemar.

Selanjutnya, penelitian oleh Erprihana dan Hartanto tahun 2014 menggunakan karbon aktif kulit jeruk keprok untuk adsorpsi methylene blue. Parameter yang dijelaskan meliputi waktu kontak dan massa adsorben. Hasil kontak penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada waktu 90 menit dan massa adsorben sebesar 1 gram.

Penelitian lain oleh Anwar NAF dan rekan tahun 2022 memanfaatkan karbon aktif kulit jeruk siam yang diaktivasi menggunakan H_3PO_4 pada suhu 400°C untuk adsorpsi logam berat Cd dan Hg secara batch. Penelitian tersebut menganalisis massa adsorben, waktu kontak, dan isoterm adsorpsi Langmuir serta Freundlich. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan

massa adsorben meningkatkan daya serap logam, dengan waktu adsorpsi optimum selama 60 menit. Proses adsorpsi mengikuti isoterm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi Cd sebesar 0,042764 mg/g dan Hg sebesar 0,076086 mg/g.

Kajian mengenai bioadsorpsi logam berat menggunakan selulosa kulit jeruk dilakukan oleh Rahman Aminur dan rekannya tahun 2023. Penelitian tersebut menggunakan Orange Peel Cellulose (OPC) berbentuk manik-manik dan melakukan karakterisasi menggunakan SEM-EDS serta FTIR. Parameter yang dijelaskan meliputi pH, waktu kontak, massa adsorben, efisiensi adsorpsi, dan jenis logam Pb^{2+} , Cd^{2+} , serta Cr^{6+} . Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben efektif menyerap Pb dan Cd dengan efisiensi tinggi, sedangkan kemampuan adsorpsi terhadap Cr relatif rendah sekitar 33,5%. Selain itu, OPC diketahui memiliki gugus fungsi aktif dan berpotensi sebagai adsorben murah serta ramah lingkungan.

Penelitian oleh Hikmah Maulida dan rekan tahun 2023 memanfaatkan karbon aktif limbah kulit jeruk manis (*Citrus sinensis* L.) dengan aktivator H_2SO_4 dan KOH untuk adsorpsi ion Fe^{2+} pada sumur air menggunakan metode kolom tunggal. Parameter yang dijelaskan meliputi daya serap iodin, kadar udara, kadar abu, kapasitas adsorpsi, efisiensi penyisihan Fe^{2+} , kinetika adsorpsi, dan waktu adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif dengan aktivator H_2SO_4 memenuhi standar SNI 06-3730-1995 dan memiliki efisiensi penyisihan Fe^{2+} tertinggi sebesar 91,35% pada waktu adsorpsi 120 menit. Sementara itu, kapasitas adsorpsi tertinggi diperoleh pada adsorben dengan aktivator KOH sebesar 0,587 mg/g pada 240 menit. Kinetika adsorpsi mengikuti model pseudo orde dua dengan nilai koefisien determinasi yang sangat tinggi.

Kajian adsorpsi fosfat dari air limbah menggunakan kulit jeruk dilakukan oleh Habchi Abdelmadjid dan rekan. Penelitian tersebut menganalisis pengaruh massa adsorben, ukuran partikel, waktu kontak, pH, konsentrasi fosfat, isoterm adsorpsi, serta kinetika adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada massa adsorben 0,05 g, ukuran partikel 0,3 mm, dan pH 6,5. Kapasitas adsorpsi maksimum berdasarkan model Langmuir sebesar 4,046 mg/g, sedangkan model kinetika pseudo-second-order merupakan model yang paling sesuai. Selain itu, proses adsorpsi mampu menurunkan nilai COD dari 394 mg/L menjadi 215 mg/L dan BOD dari 314 mg/L menjadi 170 mg/L. Adsorpsi fosfat diketahui melibatkan mekanisme kimiawi antara fosfat dan gugus hidroksil kulit jeruk.

Penelitian oleh Manar B Hasan Israa M Al-Tameemi Mohammed N Abbas menggunakan kulit jeruk mentah dan kulit jeruk yang dimodifikasi menggunakan asam asetat untuk adsorpsi antimon Sb(V) secara batch. Parameter yang dijelaskan meliputi pH, konsentrasi awal antimon, dosis adsorben, kecepatan pengadukan, dan waktu kontak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit jeruk termodifikasi mampu menghilangkan antimon hingga 98,5% pada pH 6 dengan dosis adsorben 5 g, waktu kontak 150 menit, dan kecepatan pengadukan 450 rpm. Proses adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir.

Penelitian oleh Fatukasi B Adetutu Fawole O Olubanjo Ogunsona SB Olatunji JT dan Ogunleke OB menggunakan kulit buah jeruk yang dikarbonisasi dan diaktivasi menggunakan $ZnCl_2$ untuk adsorpsi logam berat pada air Sungai Asa. Penelitian tersebut melakukan karakterisasi adsorben menggunakan FTIR, SEM, dan EDX serta analisis logam menggunakan AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit jeruk efektif sebagai adsorben logam berat, dengan kemampuan adsorpsi Cd dan Cr mencapai 100%. Selain itu, kadar Zn menurun dari 1,172 mg/L menjadi 0,422 mg/L pada dosis adsorben 0,15 g selama 72 jam, sedangkan Fe dan

Cu juga mengalami penurunan yang signifikan. Temuan ini menunjukkan potensi kulit jeruk sebagai adsorben ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair.

Penelitian eksperimen oleh Embun dan Ainil Fithri Pulungan tahun 2017 memanfaatkan pektin kulit jeruk sebagai biosorben untuk penurunan Cu dengan variasi debit aliran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan efisiensi Cu tertinggi mencapai 78,3% pada debit aliran 195 mL/menit.

Tajudeen dkk. (2024) melakukan penelitian adsorpsi batch menggunakan karbon aktif berbasah dasar kulit jeruk yang diaktivasi dengan H_3PO_4 untuk menyisihkan metilen biru dari larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben tersebut mampu menghilangkan metilen biru hingga efisiensi 90% pada dosis 0,6 g dengan waktu kontak 120 menit, didukung oleh luas permukaan sebesar 52,5 m^2/g , sehingga dinilai efektif untuk pengolahan limbah tekstil.

Penelitian yang dilakukan oleh Michael-Igolima dkk. (2023) menelaah berbagai metode modifikasi fisik, kimia, dan termal pada kulit jeruk dan menyimpulkan bahwa modifikasi tersebut secara signifikan meningkatkan kemampuan adsorpsi bahan. Analisis FTIR dan SEM mengungkapkan bahwa gugus fungsi yang terkandung dalam kulit jeruk, seperti pektin, hidroksil, karbonil, karboksil, dan amina, berperan penting dalam proses adsorpsi kontaminan, seiring dengan meningkatnya porositas dan luas permukaan adsorben setelah proses modifikasi dilakukan.

Kajian review sistematis oleh Yusuf dan rekan tahun 2015 membahas aplikasi graphene dan turunannya dalam adsorpsi logam berat dan zat warna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa graphene memiliki luas permukaan besar, proses adsorpsi cepat, dan efektif dalam menghilangkan logam berat serta zat warna dari udara.

Penelitian oleh Thabede tahun 2023 menggunakan karbon aktif kulit jeruk mandarin untuk adsorpsi methylene blue dan ibuprofen secara batch. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 74,15 mg/g untuk methylene blue dan 78,15 mg/g untuk ibuprofen. Model isoterm Langmuir dan kinetika pseudo-second-order menjadi model yang paling sesuai untuk menggambarkan proses adsorpsi.

Review literatur oleh Piquet dan Martelli tahun 2022 mengenai biosorben dari limbah organik menunjukkan bahwa sebagian besar biosorben memiliki efisiensi adsorpsi lebih dari 70% untuk menghilangkan zat warna sintetis.

Review penelitian oleh Ojedokun dan Bello tahun 2015 membahas penggunaan adsorben murah berbasis limbah pertanian untuk menghilangkan ion $Cu(II)$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa seperti kulit kelapa dan limbah pertanian efektif digunakan sebagai adsorben $Cu(II)$ dengan biaya rendah.

Kajian kritis review oleh Kyzas dan Kostoglou tahun 2014 mengenai green adsorben menunjukkan bahwa adsorben berbasis biomassa dan limbah pertanian memiliki potensi besar karena murah, ramah lingkungan, dan dapat diterapkan pada pengolahan limbah cair skala besar.

Penelitian oleh Molaudzi dan Ambushe tahun 2022 menggunakan kulit jeruk dan ampas tebu untuk adsorpsi $Pb(II)$ secara batch. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit jeruk memiliki efisiensi adsorpsi $Pb(II)$ hingga 100% pada kondisi optimum dan efektif digunakan sebagai bioadsorben udara tercemar.

Penelitian oleh Giraldo dan rekan tahun 2022 memanfaatkan limbah kulit jeruk untuk adsorpsi methylene blue dan Cd^{2+} secara batch. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas

adsorpsi maksimum mencapai 250,6 mg/g untuk methylene blue dan 32,4 mg/g untuk Cd^{2+} sehingga adsorben kulit jeruk dinilai efektif untuk pengolahan limbah cair.

Selanjutnya, penelitian oleh Mora dan rekan tahun 2020 menggunakan sorben berbasis kulit jeruk untuk adsorpsi selenium Se(IV) melalui metode batch dan fixed-bed kolom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit jeruk efektif mengadsorpsi selenium dengan kapasitas adsorpsi tinggi pada kondisi optimum.

Secara keseluruhan, berbagai penelitian menunjukkan bahwa kulit jeruk memiliki potensi besar sebagai adsorben dan biosorben yang ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair. Modifikasi fisik, kimia, dan termal terbukti meningkatkan luas permukaan, porositas, serta gugus fungsi aktif adsorben sehingga kemampuan adsorpsinya meningkat terhadap berbagai jenis polutan, seperti zat warna, logam berat, fosfat, amonia, nitrat, hingga selenium. Selain memiliki efektivitas adsorpsi yang tinggi, pemanfaatan limbah kulit jeruk juga memberikan keuntungan ekonomis dan mendukung pengembangan teknologi pengolahan limbah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Mekanisme dan Karakteristik Adsorpsi Limbah Kulit Jeruk terhadap Polutan

Limbah kulit jeruk memiliki kemampuan adsorpsi yang baik karena mengandung gugus fungsi aktif seperti hidroksil ($-\text{OH}$), karboksil ($-\text{COOH}$), dan karbonil ($\text{C}=\text{O}$) yang mampu berinteraksi dengan berbagai polutan dalam air. Menurut Michael-Igolima et al. (2023), modifikasi fisik, kimia, dan termal pada kulit jeruk dapat meningkatkan jumlah situs aktif dan porositas adsorben sehingga kapasitas adsorpsi menjadi lebih tinggi. Proses adsorpsi umumnya berlangsung melalui mekanisme pertukaran ion, interaksi elektrostatis, dan chemisorption.

Menurut Rasheed et al. (2026), adsorben kulit jeruk teraktivasi memiliki kapasitas adsorpsi methylene blue yang sangat tinggi hingga 277,78 mg/g dan mengikuti model pseudo-second-order. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi lebih dominan dikendalikan oleh interaksi kimia dibandingkan adsorpsi fisik biasa.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas Adsorpsi

Efektivitas adsorpsi limbah kulit jeruk dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, waktu kontak, massa adsorben, suhu, dan metode aktivasi. Menurut Dey et al. (2021), kondisi optimum biosorpsi amonia dan nitrat terjadi pada pH 5,5 dengan waktu kontak 60 menit. pH mempengaruhi muatan permukaan adsorben dan bentuk ion polutan sehingga menentukan kekuatan adsorpsi.

Selain itu, waktu kontak dan massa adsorben juga mempengaruhi jumlah polutan yang dapat teradsorpsi. Menurut Anwar et al. (2022), peningkatan massa adsorben mampu meningkatkan penyisihan logam Cd dan Hg karena jumlah situs aktif adsorpsi menjadi lebih banyak. Aktivasi kimia menggunakan H_2SO_4 dan KOH juga dilaporkan mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi ion Fe^{2+} secara signifikan.

Efektivitas Limbah Kulit Jeruk dalam Remediasi Air Tercemar

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa limbah kulit jeruk efektif digunakan untuk mengadsorpsi logam berat dan zat warna sintesis dari air tercemar. Menurut Hasan et al. (2021), kulit jeruk termodifikasi mampu menghilangkan antimon hingga 98,5% pada kondisi optimum. Selain itu, Adetutu et al. (2024) melaporkan bahwa adsorben kulit jeruk yang diaktivasi ZnCl_2 mampu mengadsorpsi Cd dan Cr hingga 100%.

Menurut Giraldo et al. (2022), kapasitas adsorpsi methylene blue menggunakan limbah kulit jeruk mencapai 250,6 mg/g sehingga menunjukkan potensi yang tinggi dalam pengolahan

limbah tekstil. Selain itu, Rahman et al. (2023) menyatakan bahwa selulosa kulit jeruk efektif menyerap ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} karena memiliki gugus fungsi aktif yang mampu mengikat ion logam.

Potensi Keberlanjutan dan Tantangan Aplikasi

Pemanfaatan limbah kulit jeruk sebagai bioadsorben mendukung konsep green technology dan circular economy karena berasal dari limbah biomassa yang murah, melimpah, biodegradable, dan ramah lingkungan. Menurut Kyzas dan Kostoglou (2014), bioadsorben berbasis biomassa pertanian memiliki potensi besar sebagai alternatif adsorben komersial dalam pengolahan limbah cair.

Namun demikian, beberapa tantangan masih perlu diperhatikan seperti regenerasi adsorben, stabilitas material, dan optimasi skala industri. Menurut Ojedokun dan Bello (2015), pengembangan metode aktivasi dan desain sistem adsorpsi yang lebih efisien diperlukan agar bioadsorben kulit jeruk dapat diaplikasikan secara lebih luas dalam pengolahan air tercemar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, limbah kulit jeruk memiliki potensi yang sangat baik sebagai bioadsorben untuk remediasi air tercemar karena mengandung gugus fungsi aktif yang mampu mengadsorpsi berbagai polutan, terutama logam berat dan zat warna sintetis. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa limbah kulit jeruk efektif digunakan untuk menurunkan konsentrasi Pb^{2+} , Cd^{2+} , $Cr(VI)$, Fe^{2+} , Hg , $Sb(V)$, serta methylene blue dengan kapasitas dan efisiensi adsorpsi yang cukup tinggi. Efektivitas adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, waktu kontak, dosis adsorben, ukuran partikel, serta metode aktivasi adsorben. Modifikasi fisik, kimia, dan termal terbukti mampu meningkatkan luas permukaan dan jumlah situs aktif sehingga kemampuan adsorpsi menjadi lebih optimal.

Selain memiliki efektivitas yang baik, pemanfaatan limbah kulit jeruk sebagai bioadsorben juga mendukung konsep *green technology* dan *circular economy* karena memanfaatkan limbah organik menjadi material yang bernilai guna, murah, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, limbah kulit jeruk berpotensi dikembangkan sebagai alternatif adsorben berkelanjutan dalam teknologi pengolahan air tercemar, meskipun masih diperlukan penelitian lanjutan terkait regenerasi adsorben, optimasi proses, dan penerapan dalam skala industri.

DAFTAR RUJUKAN

- Adetutu, F. B., Olubanjo, F. O., Ogunsona, S. B., Olatunji, J. T., & Ogunleke, O. B. (2024). Application of orange fruit peels for the adsorption of heavy metal concentrations in Asa River. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 11(10), 1–10. <http://dx.doi.org/10.22192/ijarbs.2024.11.10.001>
- Anwar, N. A. F., Meicahayanti, I., & Rahayu, D. E. (2022). Pengaruh variasi waktu kontak dan massa adsorben kulit jeruk siam (*Citrus nobilis*) terhadap penyisihan kadmium (Cd) dan merkuri (Hg). *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 6(1), 35–43. <https://doi.org/10.30872/jtlunmul.v6i1.7409>
- Dey, S., Basha, S. R., Babu, G. V., & Nagendra, T. (2021). Characteristic and biosorption capacities of orange peels biosorbents for removal of ammonia and nitrate from contaminated water. *Cleaner Materials*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100001>

- Embun, & Pulungan, A. F. (2017). Pemanfaatan pektin dari kulit jeruk manis sebagai biosorben dalam menurunkan kadar tembaga (Cu) pada limbah cair industri elektroplating. *JIFI (Jurnal Ilmiah Farmasi Imelda)*, 1(1), 10–17. <https://jurnal.uimedan.ac.id/index.php/JURNALFARMASI/article/view/34>.
- Eriphana, A. A., & Hartanto, D. (2014). Pembuatan karbon aktif dari kulit jeruk keprok (*Citrus reticulata*) untuk adsorpsi pewarna remazol brilliant blue. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 2(3), 25–32. <https://doi.org/10.15294/jbat.v2i3.3096>
- Giraldo, L., Acelas, N.Y., Perez, R.O., Ortega, E.P., Florez, E., Franco, C.A., Cortes, F.B., & Forgionny, A. (2022) Application of Orange Peel Waste as Adsorbent for Methylene Blue and Cd^{2+} Dimultaneous Remediation. *Molecules*, 27(16), 5105. <https://doi.org/10.3390/molecules27165105>.
- Habchi, A., Dahou, M. E.-A., Djaafri, M., Slimani, S., & Kalloum, S. (2025). Using orange peels (OP) as a bio-adsorbent for removal of phosphate from wastewater. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 44(2), 422–434. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2024.2032190.6651>
- Hasan, M. B., Al-Tameemi, I. M., & Abbas, M. N. (2021). Orange peels as a sustainable material for treating water polluted with antimony. *Journal of Ecological Engineering*, 22(2), 25–35. <https://doi.org/10.12911/22998993/130632>
- Kyzas, G. Z., & Kostoglou, M. (2014). Green adsorbents for wastewaters: A critical review. *Materials*, 7(1), 333–364. <https://doi.org/10.3390/ma7010333>.
- Maulida, H., Elwina, & Fachraniah. (2023). Pembuatan karbon aktif dari limbah kulit jeruk manis (*Citrus sinensis* L.) sebagai adsorben ion besi (Fe^{2+}) dalam air sumur. *Jurnal Ristara (Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi dan Terapan)*, 2(1), 23–34. <http://dx.doi.org/10.30811/ristara.v2i1.4970>
- Michael-Igolima, U., Abbey, S. J., Ifelebuegu, A. O., & Eyo, E. U. (2023). Modified orange peel waste as a sustainable material for adsorption of contaminants. *Materials*, 16(3), 1092. <https://doi.org/10.3390/ma16031092>.
- Molaudzi, V., & Ambushe, A. A. (2022) Sugarcane Bagasse and Orange Peels as Low-Cost Biosorbents for Removal of Lead Ions From Contaminated Water. *Water*, 14(21), 3395. <https://doi.org/10.3390/w14213395>.
- Mora, B. P., Bertoni, F.A., Mangiameli, M.F., Gonzalez, J.C., & Bellu, S.E. (2020) Batch and Fixed-bed Column Studies of Selenite Removal From Contaminated Water by Orange Peel-Based Sorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104450. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104450>.
- Ojedokun, A. T., & Bello, O. S. (2015). An overview of low cost adsorbents for copper (II) ions removal. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, 5(1), 177. <https://doi.org/10.4172/2155-952X.1000177>.
- Piquet, A. B. M., & Martelli, M. C. (2022). Bioadsorventes produzidos a partir de resíduos orgânicos para remoção de corantes: Uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(3), e27311326506. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26506>.
- Rahman, A., Yoshida, K., Islam, M. M., & Kobayashi, G. (2023). Investigation of efficient adsorption of toxic heavy metals (chromium, lead, cadmium) from aquatic environment using orange peel cellulose as adsorbent. *Sustainability*, 15(5), 4470. <https://doi.org/10.3390/su15054470>

- Rasheed, E., Humadi, J. I., Ahmed, S. H., & Rasheed, L. A. A.-M. (2026). Orange peel-derived bio-adsorbents for methylene blue removal: Surface characteristics, experiments, kinetics, and density functional theory mechanism. *South African Journal of Chemical Engineering*, 56, 100850. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2026.100850>
- Tajudeen, K. A., Ifeanyi-Nze, F. O., Chukwu, J. O., Adeleke, O. J., Chimezie, N. N., Ihezue, C. M., Oyewole, M. O., Edeh, C. F., Iheanacho, B. C., Onabanjo, O. O., Olaiyapo, O. F., Chukwu, C. J., Quadri, A. B., Mobolaji, R. N., Okunola, R. T., Zoum, F. A., Udoisoh, M. G., Kolapo, D. A., & Abdullahi, K. I. (2024). Valorization of orange peel-derived adsorbents for sustainable removal of methylene blue from textile industry wastewater: A promising approach to mitigate water pollution and environmental litter. *Archives of Advanced Engineering Science*, 00(00), 1–9. <https://doi.org/10.47852/bonviewAAES42022140>.
- Thabede, P. M. (2023). Sorption capacity of carbon-based mandarin orange peels for removing methylene blue and ibuprofen from water. *Applied Sciences*, 13(18), 10511. <https://doi.org/10.3390/app131810511>.
- Yusuf, M., Elfghi, F. M., Zaidi, S. A., Abdullah, E. C., & Khan, M. A. (2015). Applications of graphene and its derivatives as an adsorbent for heavy metal and dye removal: A systematic and comprehensive overview. *RSC Advances*, 5(61), 50392–50420. <https://doi.org/10.1039/C5RA07223A>.