

EVALUASI INTEGRATIF TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI : KAJIAN KOAGULASI, ELEKTROKOAGULASI, SISTEM, HYBRID, DAN ANALISIS KAPABILITAS PROSES DALAM MENURUNKAN BEBAN PENCEMARAN

Mirnawati^{1*}Nafach Olya Warasky², Nor Latifah³,

Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Alamat: Jl. Gubernue Sarkawi, Handil Bakti, Kalimantan Selatan

Mw3803554@gmail.com, nafach.olya.w@gmail.com ,Nor_latifah@umbjm.ac.id

abstract

Pharmaceutical wastewater contains a variety of hazardous substances, including complex organic compounds, heavy metals, and other toxic materials that pose serious environmental and health risks if improperly treated. The review of three scientific journal examines a hybrid treatment system combining coagulation, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), electrocoagulation, and ultrafiltration, wich successfully reduced TSS,COD,BOD, nitrogen and phenol levels by nore than 90%. The second journal focuses on the use of electrocoagulation with Fe-Fe electrodes under varying voltages and reaction times, achieving COD reduction efficiency of up to 84.95% along with significant reductions in turbidity and color. The third jurnal applies a statistical quality control approach using process capability indices (Cp and Cpk) to evaluate the stability of wastewater treatment operations. It was found that the values of Cpk for pH and TSS were below the industry standart (Cpk < 1.33), indicating that the treatment process still lacks consistency. This review emphasizes the importance of integrating technical treatment methods with data-driven quality control tools to ensure the development of efficient, compliant, and enviromentally sustainable wastewater treatment systems in the pharmaceutical sector

Keywords : *Pharmaceutical Wastewater, Electrocoagulation,Hybrid Treatment System, Process Capability Index (Cpk), Wastewater Treatment Efficiency*

Abstrak

Limbah cair industri farmasi mengandung berbagai zat kimia berbahaya seperti senyawa organik kompleks, logam berat, serta senyawa toksik lainnya yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia jika tidak di olah dengan benar. Penelitian dalam tiga jurnal yang dikaji menunjukkan pendekatan berbeda dalam menangani permasalahan tersebut. Jurnal pertama mengkaji penerapan sistem hybrid yang menggabungkan proses koagulasi, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), elektrokoagulasi, dan ultrafiltrasi, yang terbukti mampu menurunkan kandungan TSS, COD, BOD, nitrogen, dan fenol hingga lebihdari 90%. Jurnal kedua fokus pada metode elektrokoagulasi dengan elektroda besi (Fe-Fe) dan variasi tegangan serta waktu proses, yang menghasilkan efisiensi

Article history

Received: Juli 2025

Reviewed: Juli 2025

Published: Juli 2025

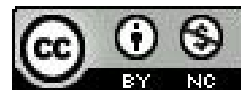
Plagirism checker no 234

Doi : prefix doi :

10.8734/Nutricia.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Nutricia



This work is licensed under a [creative commons attribution-noncommercial 4.0 international license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

pengurangan COD sebesar 84,95%, serta penurunan warna dan kekeruhan yang signifikan. Sementara itu, jurnal ketiga menggunakan pendekatan evaluasi mutu proses Cp dan yang menunjukkan bahwa proses masih belum sepenuhnya stabil karena Cpk pH dan TSS berada di bawah standar industri ($Cpk < 1,33$). Kajian ini menegaskan pentingnya integrasi antara pendekatan teknis dan kontrol kualitas berbasis data statistik untuk menghasilkan sistem pengolahan limbah farmasi yang efektif, efisien, dan sesuai dengan baku mutu lingkungan. Hasil-hasil ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan sistem pengolahan limbah yang lebih berkelanjutan di masa depan.

Kata Kunci : *Limbah Cair Farmasi, Elektrokoagulasi, Sistem Pengolahan Hybrid, Indeks Kapabilitas Proses (Cpk), Efisiensi Pengolahan Limbah*

A. PENDAHULUAN

Perkembangan industri farmasi di Indonesia dan dunia mengalami peningkatan signifikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan produk obat-obatan dan pelayanan kesehatan. Namun, di balik peran strategisnya dalam meningkatkan kualitas hidup, industri farmasi juga menjadi salah satu kontributor utama limbah cair industri yang bersifat kompleks dan berbahaya. Limbah cair yang dihasilkan mengandung berbagai jenis senyawa organik aktif (seperti antibiotik, hormon, analgesik), zat kimia sintesis, logam berat, serta padatan tersuspensi dan terlarut (TSS dan TDS) dalam konsentrasi tinggi. Zat sintesis ini bersifat toksik, persisten, dan berpotensi mengganggu sistem ekologis perairan bahkan dalam konsentrasi sangat kecil.

Masalah menjadi lebih kompleks karena sebagian besar senyawa kimia dalam limbah farmasi bersifat resisten terhadap degradasi biologis konvensional. Beberapa senyawa aktif farmasi juga dapat menyebabkan gangguan hormonal pada biota air, resistensi antibiotik pada mikroorganisme, dan perubahan struktur komunitas mikroba alami.

B. METODE PENELITIAN

Pengolahan limbah cair industri farmasi memerlukan pendekatan yang tepat karena limbah tersebut mengandung zat organik kompleks, senyawa aktif farmasi, logam berat, dan partikel tersuspensi yang sulit diuraikan secara alami. Oleh karena itu, pemilihan teknologi

pengolahan harus mempertimbangkan karakteristik limbah serta efisiensi reduksi parameter pencemaran seperti Total Suspended Solid (TSS), Total Dissolved Solid (TDS), Chemical Oxygen Demand (COD), dan pH

1.Elektokoagulasi

Elektrokoagulasi adalah proses pengolahan limbah dengan memanfaatkan arus listrik untuk melarutkan elektroda (biasanya besi atau aluminium) yang berfungsi sebagai koagulasi, Non logam yang terbentuk akan bereaksi dengan kontaminan dan membentuk flok yang mudah dipisahkan. Menurut jurnal Erlinda Ningsih dkk., penggunaan elektroda Fe-Fe mampu menurunkan TSS, dan TDS, dan COD secara signifikan lebih dari 80% dalam kondisi arus listrik dan waktu optimum. Proses ini juga ramah lingkungan karena tidak membutuhkan bahan kimia tambahan.

2.Sistem Hybrid Koagulasi- MBBR-Elektrokoagulasi - Ultrafiltrasi

Sistem hybrid menggabungkan beberapa proses pengolahan untuk meningkatkan efisiensi. Kombinasi koagulasi dan Moving Bed Reactor (MBBR) memanfaatkan media biofilm untuk menguraikan senyawa organik, sedangkan elektokoagulasi dan ultrafiltrasi bertugas menghilangkan partikel tersuspensi dan mikroorganismenya.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan limbah dari industri farmasi merupakan aspek penting yang harus diperhatikan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam kajian ini, dilakukan analisis terhadap berbagai metode pengelolaan limbah, termasuk koagulasi, elektrokogulasi dan sistem hybrid, untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam mengurangi beban pencemaran.

Tinjauan Penelitian Terdahulu

Setelah dilakukan kajian literatur yang telah dilakukan, didapatkan hasil dari berbagai sumber artikel mengenai metode dalam pengelolaan limbah industri farmasi yang akan ditampilkan pada Tabel 1.

Penulis, Tahun, Judul	Metode	Masalah & Penyebab	Hasil Analisis
-----------------------	--------	--------------------	----------------

(Ardhianto et al., 2024) “Evaluasi Integratif Teknologi Pengolahan Limbah Farmasi”	Sistem Hybrid (Koagulasi, MBBR, Elektrokoagulasi, ultrafiltrasi)	Masalah : Tingginya beban pencemaran. Penyebab : Senyawa organik kompleks dan logam berat.	Penurunan TSS, COD, dan BOD lebih dari 90%.
(Erlinda Ningsih et al., 2023) “Pengolahan Limbah Industri Farmasi Menggunakan Metode Elektrokoagulasi”	Elektrokoagulasi dengan elektroda Fe-Fe	Masalah : Tingginya konsentrasi COD. Penyebab : Variasi waktu dan arus Listrik tidak optimal	Pengurangan CD mencapai 84,95%.
(Rimantho dan Athiyah., 2019) “Analisis Kapabilitas Proses untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah di Industri Farmasi”	Analisis Kapabilitas Proses	Masalah : Tidak stabilnya kualitas pengolahan. Penyebab : Tidak menjalankan SOP dengan benar.	Nilai Cpk untuk Ph dan TSS di bawah 1,33.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dari ketiga jurnal, dapat disimpulkan bahwa pengolahan limbah cair industri farmasi memerlukan pendekatan yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga mampu menjamin stabilitas dan konsistensi kualitas hasil pengolahan. Jurnal pertama oleh Ardhianto *et al*, menunjukkan bahwa sistem hybrid yang menggabungkan koagulasi, dan ultrafiltrasi memberukan efesiensi pengolahan yang sangat tinggi terhadap berbagai parameter pencemar (TSS, COD, NH₃-N, dan mikroorganisme), dengan tingkat penurunan di atas 90%.

Jurnal kedua oleh Erlinda Ningsih *et al* menunjukkan bahwa metode elektrokoagulasi dengan elektroda Fe-Fe mampu menjadi alternatif yang praktis dan ekonomis, dengan efesiensi penurunan COD sebesar

84,95% dan penurunan warna serta kekeruhan yang signifikan. Metode ini sangat cocok untuk digunakan di industri skala kecil hingga menengah.

Sementara itu, jurnal ketiga oleh Rimanto dan Athiyah menekankan pentingnya analisis kapabilitas proses melalui perhitungan nilai Cp dan Cpk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun sistem pengolahan sudah berjalan, konsistensinya masih kurang karena nilai Cpk masih dibawah standar ($Cpk < 1,33$), terutama pada parameter pH dan TSS. Ini menunjukkan pentingnya kontrol mutu dan monitoring proses secara berkala.

Ketiga jurnal saling melengkapi: dari segi efektivitas teknis, efisiensi biaya operasional, hingga evaluasi kualitas secara statistik. Integrasi antara teknologi pengolahan dan evaluasi kapabilitas proses merupakan strategi ideal untuk menciptakan sistem pengolahan limbah farmasi yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga berkelanjutan dan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

E. DAFTAR PUSTAKA

Hidayati, S.N. (2016). Pengaruh Pendekatan Keras dan Lunak Pemimpin Organisasi terhadap Kepuasan Kerja dan Potensi Mogok Kerja Karyawan. *Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, dan Entrepreneurship*, 5(2), 57-66. <http://dx.doi.org/10.30588/SOSHUMDIK.v5i2.164>.

Risdwiyanto, A. & Kurniyati, Y. (2015). Strategi Pemasaran Perguruan Tinggi Swasta di Kabupaten Sleman Yogyakarta Berbasis Rangsangan Pemasaran. *Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, dan Entrepreneurship*, 5(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.30588/SOSHUMDIK.v5i1.142>.

Bator, R. J., Bryan, A. D., & Schultz, P. W. (2011). Who Gives a Hoot?: Intercept Surveys of Litterers and Disposers. *Environment and Behavior*, 43(3), 295-315. <https://doi.org/10.1177/0013916509356884>.

Norsyaheera, A.W., Lailatul, F.A.H., Shahid, S.A.M., & Maon, S.N. (2016). The Relationship Between Marketing Mix and Customer Loyalty in Hijab Industry: The Mediating Effect of Customer Satisfaction. In *Procedia Economics and Finance* (Vol. 37, pp. 366-371). Elsevier B.V.

[https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30138-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30138-1).

Armand, F. (2003). Social Marketing Models for Product-Based Reproductive Health Programs: A Comparative Analysis. *Occasional Paper Series*. Washington, DC. Retrieved from www.cmsproject.com.

Belair, A. R. (2003). Shopping for Your Self: When Marketing becomes a Social Problem. *Dissertation*. Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.

Lindawati (2015). Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Ekonomi dan Kesejahteraan Rumah Tangga Petani Usahatani Terpadu Padi-Sapi di Provinsi Jawa Barat. Institut Pertanian Bogor. Retrieved from <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/85350>.

Kotler, P., & Lee, N. R. (2009). *Up and Out of Poverty: The Social Marketing Solution*. New Jersey: Pearson Education, Inc.

LPPSP. (2016). *Statistik Indonesia 2016*. Badan Pusat Statistik, 676. Jakarta. Diakses dari <https://www.LPPSP.go.id/index.php/publikasi/326>.

Risdwiyanto, A. (2016). Tas Kresek Berbayar, Ubah Perilaku Belanja? *Kedaulatan Rakyat*, 22 Februari, 12.

Chain, P. (1997). Same or Different?: A Comparison of the Beliefs Australian and Chinese University Students Hold about Learning's Proceedings of AARE Conference. Swinburne University. Available at: <http://www.swin.edu.au/aare/97pap/CHAN97058.html>, diakses tanggal 27 Mei 2000.

StatSoft, Inc. (1997). Electronic Statistic Textbook. Tulsa OK., StatSoft Online. Available at: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>, diakses tanggal 27 Mei 2000.

Ardhianto D, Rahayu ES, Setyowati R. Sistem Pengolahan Air Limbah Hybrid (Koagulasi– MBBR– Elektrokoagulasi–Ultrafiltrasi) Industri Farmasi Non-Beta-Laktam. *J Teknik Lingkungan*. 2025;31(2):115–25.

Ningsih E, Supriyanto, Haryanto A. Pengolahan Limbah Cair Industri Farmasi Menggunakan Elektrokoagulasi dengan Elektroda Fe–Fe. *J Teknik Kimia*. 2019;13(1):24–30.

Rimantho D, Athiyah N. Analisis Kapabilitas Proses untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah pada Industri Farmasi. *J Rekayasa dan Manajemen Lingkungan*. 2019;13(2):85–92.

Smollen JS, Aletaha D, McInnes IB. Rheumatoid Arthritis. *Lancet*. 2016;388(10055):2023–38.

Gao W, Liang H, Ma J, Han M, Chen Z, Han Z, et al. Membrane fouling control in ultrafiltration technology for drinking water production: A review. *Desalination*. 2011;272(1–3):1–8.

Holt PK, Barton GW, Mitchell CA. The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*. 2005;59(3):355–67.

Morillo JA, Usero J, Rosado D. Evaluation of the urban wastewater treatment plants (WWTPs) efficiency through the occurrence of pharmaceuticals in effluents: A case study. *Sci Total Environ*. 2014;487:703–9.

Rani S, Sharma P, Gupta VK. Electrocoagulation and advanced oxidation processes for removal of pharmaceutical residues from wastewater: A review. *Environ Chem Lett*. 2020;18(5):1467–84.

Basha CA, Selvakumar K, Ramesh ST, Kumari KS. Electrochemical treatment of hospital wastewater using an activated carbon electrode. *J Hazard Mater*. 2010;180 (1–3):169–75.

Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2003.

Zhang C, Qiao Q, Xu W, Qian Y, Zhu W. Performance evaluation and modeling of a hybrid MBBR–

constructed wetland system for pharmaceutical wastewater treatment. J Environ Manage. 2020;254:109801.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association; 2017.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup; 2014.

Ali I, Gupta VK. Advances in water treatment by adsorption technology. Nat Protocols. 2006;1(6):2661–7.

Spellman FR. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2008.