

PERANCANGAN REUSE AIR LIMBAH INDUSTRI FARMASI MENGGUNAKAN OZONASI KATALITIK

Rame

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Jl. Ki Mangunsarkoro No. 6, Semarang 50241, Indonesia

Email: rame@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Reuse air limbah industri dapat meningkatkan efisiensi operasi industri dan mencegah dampak pencemaran industri ke lingkungan. Industri farmasi memerlukan model reuse air limbah yang mudah, murah, dan efisien. Penelitian merancang model reuse air limbah dengan verifikasi berdasarkan kinerja, kelayakan, penerapan, dan keberlanjutan. Rekomendasi model reuse air limbah industri farmasi menggunakan pendekatan ozonasi katalitik dapat mengurangi timbunan lumpur, menurunkan biaya operasi dan biaya perawatan, serta mencegah pencemaran lingkungan.

Kata kunci: perancangan, reuse, air limbah farmasi, ozonasi katalitik

ABSTRACT

The reuse of industrial wastewater can improve the efficiency of industrial operations and prevent the impact of industrial pollution on the environment. The pharmaceutical industry needs a wastewater reuse model that is easy, inexpensive, and efficient. Research designed the wastewater reuse model with verification based on performance, feasibility, applicability, and sustainability. The recommendation of the pharmaceutical industry's wastewater reuse model using catalytic ozonation approaches can reduce mud accumulation, lower operating costs and maintenance costs, and prevent environmental pollution.

Keyword: design, reuse, pharmaceutical wastewater, catalytic ozonation

PENDAHULUAN

Industri farmasi merupakan tulang punggung kegiatan layanan pengobatan dalam mendukung Kesehatan masyarakat. Pertumbuhan produksi farmasi selaras dengan bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia. Dalam rangka mengurangi ketergantungan impor produk farmasi, Pemerintah saat ini mendorong industri nasional dalam penyediaan bahan baku industri farmasi.

Proses produksi industri farmasi menghasilkan produk farmasi dan limbah yang harus dikelola dengan baik. Limbah dapat berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan pada perairan, tanah, dan udara [1]. Limbah cair merupakan masalah utama dalam pengelolaan lingkungan pada industri farmasi [2].

Pengolahan air limbah industri farmasi menggunakan proses biologi terhambat oleh air limbah yang bersifat toksik. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan teknologi peningkatan kualitas

air limbah industri farmasi. Pemanfaatan koagulan alami berbasis biji asam jawa [3], biokoagulan kitosan dari limbah cangkang sumpil [4], jamur tiram putih [5], fotokatalis TiO₂/arang aktif [6], pendekatan metode AHP [7], penerapan Green Supply Chain Management [8]. Hybrid AOP menggunakan anoda Ti/PtIr dan katoda micropori carbon cloth menghasilkan total mineralisasi 100 % rifampicin, namun membutuhkan waktu hampir 24 jam pada skala laboratorium dan menggunakan bahan kimia pendukung berupa garam, asam sulfat, dan ferrous sulfat [9]. Degradasi 93% Ibuprofen diperoleh dengan ozonasi selama 4 jam dan total mineralisasi 100 % Ibuprofen dihasilkan melalui ozonasi katalitik menggunakan katalis H-Beta-25 zeolit [10].

Hasil penelitian ozonasi katalitik dalam degradasi cemaran pada air limbah industri telah banyak dipublikasikan [11]. Berbagai katalis telah dimanfaatkan dalam ozonasi katalitik untuk degradasi cemaran dalam air limbah industri farmasi, yaitu zero valent iron nanoparticles [12], Solar photocatalytic ozonation [13], cerium/activated carbon [14],

Titanium-doped mesoporous γ -Al₂O₃ [15], TiO₂ nanoflower (TiO₂-NF) [16], MgO nanoparticle [17], Fe-based catalysts [18] [19], batu gunung [20].

Namun hingga saat ini belum ada penerapan teknologi ozonasi katalitik dalam reuse air limbah industri farmasi di Indonesia. Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan simulasi dalam perancangan reuse air limbah industri farmasi. Simulasi merupakan pendekatan teknologi yang ramah lingkungan karena dihasilkan minimasi pemakaian sumber daya dan pengurangan timbulan limbah. Tujuan penelitian adalah mendapatkan model reuse air limbah industri farmasi dengan menggunakan pendekatan simulasi berbasis teknologi ozonasi katalitik di Indonesia.

METODE

Penelitian secara simulasi dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama adalah penentuan karakteristik air limbah farmasi di Indonesia dari literatur. Dilanjutkan tahap

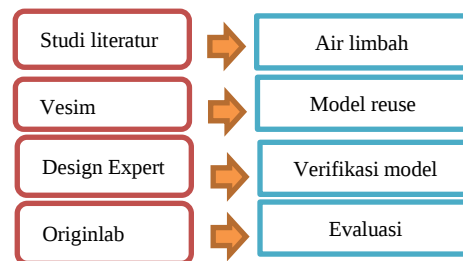
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik air limbah industri farmasi di Indonesia diperoleh dari literatur yang ditunjukkan pada Tabel 1. Parameter COD, TSS dan kekeruhan dari literatur digunakan sebagai parameter input tahap simulasi. Parameter COD menunjukkan fluktuasi konsentrasi yang relatif besar dengan gap lebih dari 50%. Nilai COD tertinggi dipilih sebagai input untuk tahap berikutnya. Model untuk nilai COD tinggi dapat mengatasi masalah total mineralisasi COD rendah. Nilai COD digunakan sebagai aspek kritis dalam perancangan model reuse. Sebagian besar literatur menggunakan nilai COD dalam penentuan efisiensi degradasi.

Tabel 1. Karakteristik air limbah farmasi di Indonesia

No.	Parameter	Nilai
1	COD	1200 mg/L [9]; 451,8 mg/L [4]
2	TSS	219 [4]
3	Kekeruhan	61,9 NTU [4]

kedua yaitu perancangan model reuse air limbah farmasi menggunakan software Vesim berdasarkan teknologi ozonasi katalitik. Kemudian tahap ketiga adalah verifikasi model menggunakan program Design Expert 12 untuk mengetahui kondisi optimum proses reuse berdasarkan data literatur. Selanjutnya tahap keempat adalah evaluasi kinerja, kelayakan, dan penerapan, serta keberlanjutan model menggunakan Originlab 2020. Skema tahapan kegiatan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema tahapan penelitian.

Beberapa publikasi pemanfaatan ozonasi katalitik dalam degradasi cemaran air limbah farmasi ditunjukkan pada Tabel 2. Empat jenis katalis digunakan sebagai dasar simulasi karena memiliki data kondisi operasi ozonasi katalitik untuk diolah menjadi nilai Dosis O₃ (g/jam) dan mineralisasi COD (mg/L).

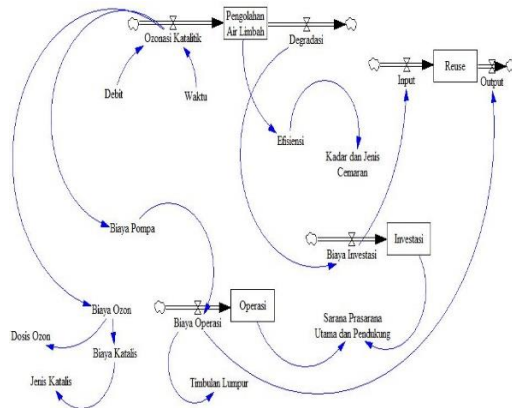
Analisis perhitungan dilakukan untuk mendapatkan nilai dari konsentrasi input mineralisasi, waktu reaksi katalitik, dosis O₃, biaya O₃, biaya pompa, biaya investasi, biaya operasi. Empat nilai hasil analisis digunakan sebagai input Design Expert yaitu COD, waktu mineralisasi, efisiensi, dan biaya operasi.

Tabel 2. Ozonasi katalitik untuk degradasi air limbah farmasi

Katalis	Dosis O ₃ (g/jam)	Mineralisasi COD (mg/L)	Ref
MgO	0,108	7,5	[17]
Fe-H- β	0,36	11,00	[10]
PTG	0,3	5,65	[19]
nZVI	0,8	1.655,73	[12]

Perancangan model reuse air limbah farmasi menggunakan software Vensim

berdasarkan teknologi ozonasi katalitik. Sistem dinamika berdasarkan faktor-faktor pendorong dan penghambat reuse air limbah farmasi dibuat dalam bentuk umpan balik positif dan umpan balik negatif sehingga diperoleh konsep dengan gelung sebagian tertutup. Ozonasi katalitik. Model dibuat berdasarkan data literatur yang bersifat dinamis dan faktor sebab akibat. Model yang dihasilkan dari Vesim ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan model reuse dengan Vesim.

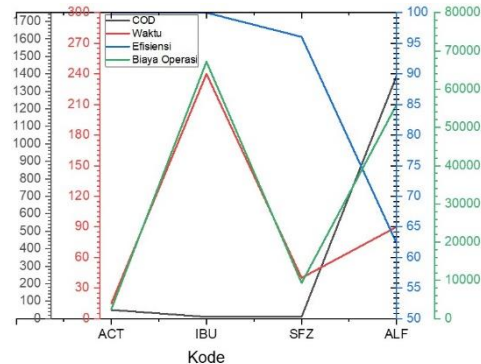
Rancangan model diverifikasi menggunakan Design Expert 12 terkait analisis multi faktor dengan empat parameter input sesuai hasil analisis perhitungan. Evaluasi dilakukan hanya berdasarkan bentuk kurva permukaan. Terdapat empat rekomendasi yang dipilih berdasarkan analisis grafis yang digunakan sebagai acuan analisis OriginPro.

OriginPro 2020 Trial dimanfaatkan untuk mengetahui kinerja, kelayakan, dan penerapan, serta keberlanjutan model berdasarkan analisis kurva permukaan. Data kondisi operasi terpilih dari Design Expert 12 digunakan sebagai dasar perhitungan penilaian. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil penilaian menggunakan skala rekomendasi, yaitu skala 1 adalah sangat rekomendasi, skala 2 adalah rekomendasi, skala 3 adalah tidak rekomendasi.

Tabel 3. Ozonasi katalitik untuk degradasi air limbah farmasi

Katalis	kinerja	aplikasi	Keberlan-jutan
MgO	1	1	1
Fe-H-Beta	1	3	2
PTG	2	1	1
nZVI	3	2	2

Evaluasi dan presentasi model dilakukan dengan menggunakan Origin Pro 2020 Trial. Hasil evaluasi tampak pada Gambar 3. Kode ACT adalah mineralisasi cemaran acetaminophen (ACT) menggunakan katalis MgO. Kode IBU adalah mineralisasi cemaran ibuprofen (IBU) menggunakan katalis Fe-H-Beta. Kode SFZ adalah mineralisasi cemaran Sulfasalazine dengan katalis PTG. Sedangkan kode ALF adalah mineralisasi air limbah farmasi dengan katalis nZVI.



Gambar 3. Hasil evaluasi model

ACT memiliki biaya operasi terendah yaitu Rp 2.520 / m³. SFZ memerlukan biaya lebih tinggi yaitu Rp 9.333 / m³. Sedangkan ALF an IBU tidak menjadi rekomendasi dari aspek biaya karena lebih besar daripada biaya IPAL terpasang yaitu, Rp 56.000 / m³ [12] dan Rp 67.200 / m³.

Efisiensi mineralisasi ACT dan IBU mencapai 100% [10]. SFZ mencapai efisiensi mineralisasi 96,05% dalam 40 menit [19]. ALF memerlukan waktu 90 menit untuk menghasilkan efisiensi mineralisasi 62,3%. ACT dan IBU menjadi rekomendasi dari aspek efisiensi. Namun hanya ACT yang menjadi rekomendasi dari aspek waktu reaksi mineralisasi yaitu 15 menit [17].

Beberapa faktor menjadi pendorong pemilihan perancangan reuse air limbah industri farmasi menggunakan ozonasi katalitik diantaranya yaitu, air limbah industri

farmasi bersifat toksik menghambat pengelolaan lingkungan. Belum ada penerapan ozonasi katalitik dalam reuse air limbah industri farmasi di Indonesia. Peluang yang menarik untuk mengembangkan model reuse air limbah dengan pendekatan simulasi berbasis ozonasi katalitik di Indonesia. Faktor terakhir adalah perancangan berbasis simulasi akan menurunkan sumber daya dan residu / emisi dibandingkan dengan perancangan secara konvensional.

Model reuse menjadi alternatif yang ramah lingkungan dalam persiapan pembuatan prototipe reuse yang selanjutnya perlu divalidasi melalui uji coba eksperimen pada skala laboratorium dan skala industri.

SIMPULAN

Perancangan model reuse air limbah industri farmasi dapat dilakukan dengan pendekatan simulasi. Hasil simulasi menunjukkan rekomendasi model reuse air limbah industri farmasi menggunakan pendekatan ozonasi katalitik dapat menurunkan timbunan lumpur, biaya operasi dan biaya perawatan, serta mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Rekomendasi model reuse air limbah industri farmasi menggunakan pendekatan ozonasi katalitik dengan biaya operasi Rp 2.520/m³ dan waktu katalitik 15 menit. Model hasil simulasi memerlukan validasi uji skala laboratorium dan skala lapangan untuk mendapatkan kecukupan dan kelayakan untuk penerapan di industri farmasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Gomes, R. Costa, R. M. Quinta-Ferreira, and R. C. Martins, "Application of ozonation for pharmaceuticals and personal care products removal from water," *Sci. Total Environ.*, vol. 586, pp. 265–283, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.216.

[2] D. Rimantho and Athiyah, "Analisis Kapabilitas Proses Untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah di Industri Farmasi," *J. Teknol.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.24853/jurtek.11.1.1-8.

[3] D. D. Poerwanto, E. P. Hadisantoso, and S. Isnaini, "Pemanfaatan

Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Sebagai Koagulan Alami Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Farmasi," *al-Kimiya*, vol. 2, no. 1, pp. 24–29, 2015, doi: 10.15575/ak.v2i1.349.

[4] T. Kusuma, M. Hadiwidodo, and Purwono, "Studi Penurunan TSS, Turbidity dan COD Dengan Menggunakan Kitosan Dari Limbah Cangkang Sumpil (*Faunus Aster*) Sebagai Nano Biokoagulan Dalam Pengolahan Limbah Cair PT. PHAPROS Tbk Semarang," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2017.

[5] Y. Yusuf, Fitriani, and F. Yuniarti, "Potensi Jamur Tiram Putih (*Qtrametes Sp.*) Kaya Lakase Untuk Biomodifikasi Model Limbah Obat Industri Farmasi," in *Prosiding Kolokium Doktor dan Seminar Hasil Penelitian Hibah*, 2018, vol. 1, pp. 412–424.

[6] S. Fatmawati, F. . S. W. S, and U. R. E. M, "Penggunaan Kombinasi Fotokatalis TiO₂ Dan Arang Aktif Untuk Pengolahan Limbah Farmasi," *Inov. Tek. Kim.*, vol. 3, no. 2, pp. 41–47, 2017.

[7] D. Rimantho, "Analisis Risiko Potensi Kegagalan Proses Penjernihan Air Limbah Industri Farmasi Dengan Pendekatan Metode AHP," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 18, no. 1, pp. 79–86, 2019, doi: 10.23917/jiti.v18i1.7776.

[8] D. Dermawan, R. Bahtiar, and F. F. Sofian, "Implementation of Green Supply Chain Management (GSCM) in the pharmaceutical industry in Indonesia: feasibility analysis and case studies," *J. Ilm. Farm.*, vol. 15, no. 2, pp. 80–86, 2018.

[9] A. Mukimin, H. Vistanty, and N. Zen, "Hybrid advanced oxidation process (HAOP) as highly efficient and powerful treatment for complete demineralization of antibiotics," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 241, no. January, p. 116728, 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2020.116728.

[10] S. Saeid *et al.*, "Advanced oxidation process for the removal of ibuprofen from aqueous solution: A non-catalytic and catalytic ozonation study in a semi-batch reactor," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 230, no. February, pp. 77–90, 2018, doi: 10.1016/j.apcatb.2018.02.021.

[11] J. Wang and H. Chen, "Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and

- perspective,” *Sci. Total Environ.*, vol. 704, p. 135249, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135249.
- [12] S. N. Malik, S. M. Khan, P. C. Ghosh, A. N. Vaidya, G. Kanade, and S. N. Mudliar, “Treatment of pharmaceutical industrial wastewater by nano-catalyzed ozonation in a semi-batch reactor for improved biodegradability,” *Sci. Total Environ.*, vol. 678, pp. 114–122, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.097.
- [13] G. Márquez, E. M. Rodríguez, F. J. Beltrán, and P. M. Álvarez, “Solar photocatalytic ozonation of a mixture of pharmaceutical compounds in water,” *Chemosphere*, vol. 113, pp. 71–78, 2014, doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.093.
- [14] J. Chen, Q. Dai, J. Wang, and J. Chen, “Ozonation catalyzed by cerium supported on activated carbon for the degradation of typical pharmaceutical wastewater,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 127, pp. 112–120, 2014, doi: 10.1016/j.seppur.2014.01.032.
- [15] J. Bing, C. Hu, and L. Zhang, “Enhanced mineralization of pharmaceuticals by surface oxidation over mesoporous γ -Ti-Al₂O₃ suspension with ozone,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 202, pp. 118–126, 2017, doi: 10.1016/j.apcatb.2016.09.019.
- [16] X. Li *et al.*, “Enhanced mechanisms of electrocatalytic-ozonation of ibuprofen using a TiO₂ nanoflower-coated porous titanium gas diffuser anode: Role of TiO₂ catalysts and electrochemical action in reactive oxygen species formation,” *Chem. Eng. J.*, vol. 389, no. December 2019, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2020.124411.
- [17] A. Mashayekh-Salehi, G. Moussavi, and K. Yaghmaeian, “Preparation, characterization and catalytic activity of a novel mesoporous nanocrystalline MgO nanoparticle for ozonation of acetaminophen as an emerging water contaminant,” *Chem. Eng. J.*, vol. 310, pp. 157–169, 2017, doi: 10.1016/j.cej.2016.10.096.
- [18] J. Wang and Z. Bai, “Fe-based catalysts for heterogeneous catalytic ozonation of emerging contaminants in water and wastewater,” *Chem. Eng. J.*, vol. 312, pp. 79–98, 2017, doi: 10.1016/j.cej.2016.11.118.
- [19] R. Pelalak, R. Alizadeh, and E. Gharehabani, “Enhanced heterogeneous catalytic ozonation of pharmaceutical pollutants using a novel nanostructure of iron-based mineral prepared via plasma technology: A comparative study,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 392, no. October 2019, p. 122269, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122269.
- [20] J. F. Gomes *et al.*, “Ecotoxicity variation through parabens degradation by single and catalytic ozonation using volcanic rock,” *Chem. Eng. J.*, vol. 360, no. November 2018, pp. 30–37, 2019, doi: 10.1016/j.cej.2018.11.194.

