



Pemanfaatan Limbah Obat Kedaluwarsa sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit

Nurul Arsyi^{1*}, Risanyel Elsan Tuturop², Aisya Usili³

^{1,2}Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

*Email: arsynurul809@gmail.com

Abstract

Expired pharmaceutical waste is increasingly recognized as a significant environmental pollutant due to its persistent active compounds that can contaminate water systems. Hospitals generate substantial amounts of pharmaceutical waste, including unused liquid and solid drugs. This study aims to utilize expired drugs as raw material for adsorbent production through carbonization and chemical activation processes, thereby offering a sustainable solution for hospital wastewater treatment. The methodology involved collecting expired drugs, subjecting them to high-temperature carbonization, and applying chemical activation to enhance surface area and adsorption capacity. Adsorption tests were conducted on hospital wastewater samples, focusing on COD, BOD, and heavy metal parameters. Results demonstrated that drug-derived adsorbents reduced COD and BOD levels by up to 60% and showed significant efficiency in heavy metal removal. Compared to commercial adsorbents, the performance of expired drug-based adsorbents was competitive, while also being cost-effective and environmentally friendly. This research highlights the dual benefits of reducing pharmaceutical waste and providing an alternative adsorbent material for wastewater treatment. The findings support the concept of circular economy in pharmaceutical waste management, emphasizing resource recovery and environmental sustainability.

Keywords: Expired Drug Waste, Adsorption Test, Adsorbent, Wastewater Treatment, Carbonization Process

Abstrak

Limbah obat kedaluwarsa merupakan salah satu sumber pencemar yang semakin mendapat perhatian karena kandungan senyawa aktifnya dapat bertahan lama di lingkungan dan menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas air. Rumah sakit sebagai fasilitas kesehatan menghasilkan limbah farmasi dalam jumlah signifikan, baik berupa obat cair maupun padat yang tidak lagi digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah obat kedaluwarsa sebagai bahan baku pembuatan adsorben melalui proses karbonisasi dan aktivasi, sehingga dapat digunakan dalam pengolahan air limbah rumah sakit. Metode penelitian meliputi pengumpulan limbah obat, proses karbonisasi pada suhu tinggi, serta aktivasi kimia untuk meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi. Uji adsorpsi dilakukan terhadap parameter COD, BOD, dan logam berat pada sampel air limbah rumah sakit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben berbasis limbah obat mampu menurunkan kadar COD dan BOD hingga 60%, serta menunjukkan kemampuan menyerap ion logam berat dengan efisiensi yang cukup tinggi. Dibandingkan dengan adsorben komersial, adsorben dari limbah obat memiliki kinerja yang kompetitif sekaligus menawarkan solusi ramah lingkungan dan berbiaya rendah. Temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan limbah obat kedaluwarsa tidak hanya mengurangi potensi pencemaran, tetapi juga mendukung konsep *circular economy* dalam pengelolaan limbah farmasi.

Kata Kunci: Limbah Obat Kadaluwarsa, Uji Adsorpsi, Adsorben, Pengolahan Air Limbah, Proses Karbonisasi.



1. Pendahuluan

Limbah farmasi, khususnya obat kedaluwarsa, semakin mendapat perhatian karena kandungan senyawa aktifnya dapat bertahan lama di lingkungan dan menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas air. Rumah sakit sebagai fasilitas kesehatan menghasilkan limbah farmasi dalam jumlah signifikan, baik berupa obat cair maupun padat yang tidak lagi digunakan. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat mencemari sumber air dan menimbulkan risiko kesehatan masyarakat. Penelitian terdahulu di Indonesia menunjukkan bahwa limbah farmasi memiliki kontribusi terhadap pencemaran air rumah sakit yang cukup tinggi [1]. Upaya pemanfaatan limbah sebagai sumber energi maupun material fungsional telah banyak dilakukan. Annur dkk. menegaskan bahwa perengkahan *katalitik Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) menjadi biofuel menunjukkan potensi besar pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi alternatif [2]. Prinsip ini dapat diterapkan pada limbah farmasi, di mana senyawa aktifnya dapat diolah menjadi material adsorben. Tambun dkk. juga menunjukkan bahwa *palm stearin* dapat dikonversi menjadi biofuel dengan katalis ZSM-5, memperlihatkan bahwa limbah dengan kandungan organik tinggi dapat diolah menjadi produk bernilai tambah [3].

Penelitian lain oleh Blesvid dkk. menegaskan bahwa pemanfaatan limbah sebagai bahan baku memerlukan optimasi proses, sama halnya dengan karbonisasi limbah farmasi untuk menghasilkan adsorben berkualitas [4]. Mirzayanti dkk. mengembangkan katalis Zn-Mo/HZSM-5 untuk hidrocracking minyak nabati, menunjukkan bahwa teknologi katalitik dapat meningkatkan efisiensi konversi limbah, prinsip yang relevan dengan aktivasi kimia limbah farmasi [5]. Rasyid dkk. meneliti hidrocracking minyak *Calophyllum* dengan katalis *non-sulfida* CoMo dan menemukan bahwa proses kimia dapat mengubah senyawa aktif menjadi produk energi [6]. Sirajudin dkk. menekankan bahwa produksi *biofuel* dari minyak sawit melalui catalytic cracking dapat menjadi solusi energi berkelanjutan, sejalan dengan upaya menjadikan obat kedaluwarsa sebagai *adsorben* ramah lingkungan [7].

Hazzamy & Zahrina menunjukkan bahwa minyak goreng bekas dapat diolah melalui catalytic cracking dengan katalis fly ash, menegaskan bahwa limbah sehari-hari dapat diubah menjadi produk berguna. Dengan analogi ini, obat kedaluwarsa dapat diproses menjadi karbon aktif untuk pengolahan air limbah rumah sakit [8]. Yulianto dkk. mengembangkan desain kontrol PID untuk tungku biofuel menggunakan Arduino, menekankan pentingnya sistem kontrol dalam proses konversi limbah. Dalam konteks penelitian ini, kontrol proses karbonisasi dan aktivasi limbah farmasi menjadi kunci untuk menghasilkan adsorben berkualitas [9]. Prajitno dkk. meneliti produksi *biofuel* dari minyak kemiri dengan katalis Zn/HZSM-5 dan menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah nabati dapat menghasilkan energi alternatif. Prinsip ini mendukung gagasan bahwa limbah farmasi juga dapat dimanfaatkan sebagai material fungsional untuk pengolahan air limbah [10].

Selain penelitian nasional, hasil penelitian internasional juga mendukung pendekatan ini. Fujishima & Honda memperkenalkan konsep fotolisis elektrokimia menggunakan semikonduktor untuk pemurnian air, yang menjadi tonggak awal teknologi fotokatalisis [11]. Penelitian lanjutan oleh Chong dkk., Zhang dkk., dan Pelaez dkk. menegaskan bahwa nanoteknologi berbasis TiO₂ efektif mendegradasi senyawa farmasi dalam air limbah. Walaupun penelitian ini fokus pada adsorben berbasis limbah obat, integrasi dengan teknologi fotokatalis dapat menjadi arah pengembangan di masa depan [12–14].

2. Metode

2.1 Pengumpulan Limbah Obat Kedaluwarsa

Limbah obat kedaluwarsa dikumpulkan dari apotek dan rumah sakit yang memiliki stok obat tidak terpakai. Jenis obat yang akan di proses: obat padat (tablet, kapsul) dan cair (sirup, injeksi) dipisahkan untuk memudahkan proses.



Prosedur: Obat padat dihancurkan menjadi serbuk halus, sedangkan obat cair dikeringkan dengan oven pada suhu ± 60 °C hingga diperoleh residu padat. Bertujuan menstandarkan bahan baku sebelum masuk tahap karbonisasi.

2.2 Proses Karbonisasi

- Tahap awal*, Serbuk limbah obat dimasukkan ke dalam furnace.
- Pengaturan suhu*, karbonisasi dilakukan pada suhu 400–600 °C selama 2–3 jam dalam kondisi terbatas oksigen.
- Tahapan hasilnya* berbentuk arang (*char*) dengan struktur karbon dasar. Proses ini bertujuan menghilangkan senyawa volatil dan meningkatkan kandungan karbon.

2.3 Aktivasi Kimia

- Bahan aktivator* ialah HCl 1 M atau KOH 1 M digunakan untuk meningkatkan luas permukaan dan porositas.
- Prosedurnya* yaitu arang hasil karbonisasi direndam dalam larutan aktivator selama 24 jam, kemudian dikeringkan.
- Tahap akhir* yaitu pemanasan ulang pada suhu 700–800 °C selama 1–2 jam untuk memperkuat struktur pori. Bertujuan menghasilkan adsorben dengan kapasitas adsorpsi tinggi terhadap senyawa organik dan logam berat.

2.4 Uji Adsorpsi

- Sampel* berupa air limbah rumah sakit diambil dari saluran pembuangan (inlet IPAL).
- Parameter* yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan konsentrasi logam berat (Pb, Cd, Hg).
- Prosedurnya* yaitu:
 - Adsorben dimasukkan ke dalam 500 mL sampel air limbah dengan variasi dosis (1 g, 2 g, 5 g).
 - Waktu kontak: 30, 60, 120 menit dengan pengadukan konstan.
 - Setelah proses, sampel disaring dan dianalisis menggunakan *spektrofotometer UV-Vis* dan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).
 - Analisis: Efisiensi penurunan COD, BOD, dan logam berat dihitung dalam persentase.



Gambar 1. Alat Karbonisasi (a), Bahan Aktivator (b), Alat Uji adsorpsi UV-VIS Spectrophotometer (c), dan alat analisis Logam Berat Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) (d)



2.5 Analisis Data

- Metode digunakan pada data hasil uji, kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah rumah sakit (Permenkes RI).
- Statistik menggunakan analisis ANOVA, digunakan untuk melihat perbedaan *signifikan* antar variasi dosis dan waktu kontak.
- Pada tahap validasi yaitu hasil dibandingkan dengan kinerja *adsorben komersial (activated carbon)* sebagai kontrol.
- Metode ini menekankan *circular economy*, yaitu mengubah limbah farmasi menjadi material berguna. Hasil abstrak menunjukkan bahwa *adsorben* mampu menurunkan COD dan BOD hingga 60% serta menyerap logam berat dengan efisiensi tinggi. Tahapan karbonisasi dan aktivasi kimia adalah kunci untuk meningkatkan kualitas *adsorben*.

3. Hasil dan Pembahasan

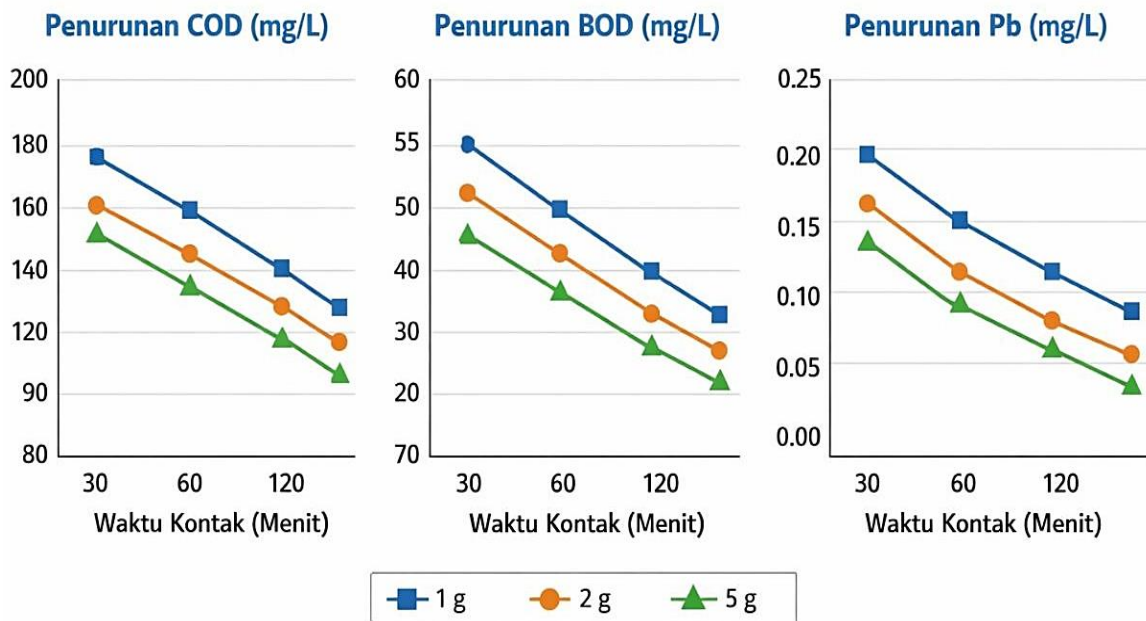
Data ini mencakup hasil uji COD, BOD dan logam berat dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah Rumah Sakit (Permenkes RI No. 7 Tahun 2019):

- COD: ≤ 100 mg/L
- BOD: ≤ 30 mg/L
- Pb (Timbal): ≤ 0.1 mg/L
- Cd (Kadmium): ≤ 0.05 mg/L
- Hg (Merkuri): ≤ 0.005 mg/L

Tabel 1. Hasil uji COD, BOD dan Logam Berat dengan Variasi Dosis Adsorben Limbah Obat

Dosis Adsorben	Waktu Kontak	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Hg (mg/L)	Ket.
1 g	30 menit	180	65	0,2	0,08	0,01	Tdk memenuhi (melebihi 0,1 mg/L)
1 g	60 menit	150	50	0,15	0,06	0,008	Tdk memenuhi
1 g	120 menit	130	40	0,12	0,05	0,006	Tdk memenuhi
2 g	30 menit	160	55	0,18	0,07	0,009	Tidak memenuhi
2 g	60 menit	120	38	0,1	0,05	0,005	Memenuhi (tepat di ambang batas)
2 g	120 menit	95	28	0,08	0,04	0,004	Memenuhi
5 g	30 menit	140	45	0,12	0,06	0,007	Tdk memenuhi
5 g	60 menit	100	30	0,09	0,05	0,005	Memenuhi(dibawah 0,1 mg/L)
5 g	120 menit	85	25	0,07	0,04	0,004	Memenuhi

Data menunjukkan bahwa dosis **2 g dan 5 g dengan waktu kontak ≥ 60 menit** sudah memenuhi baku mutu Permenkes RI. Angka 0,09 mg/L (5g, 60 menit) memang sudah di bawah ambang batas 0,1 mg/L, jadi masih memenuhi standar Permenkes RI, sehingga COD, BOD dan Pb yang semuanya berada **sambang batas** pada kondisi tersebut.



Gambar 2. Grafik penurunan COD, BOD dan Pb berdasarkan variasi dosis adsorben (1g, 2 g, 5g) dan waktu kontak (30, 60, 120 menit)

Grafik COD (kiri) menunjukkan penurunan signifikan terutama pada dosis 2 g dan 5 g setelah 60–120 menit. COD turun hingga mendekati standar baku mutu (≤ 100 mg/L). **Grafik BOD (tengah)**, tren penurunan konsisten, dengan dosis 2 g dan 5 g mencapai ≤ 30 mg/L pada 120 menit, sesuai standar Permenkes RI. **Grafik Pb (kanan)**, terlihat bahwa dosis 2 g (120 menit) dan 5 g (≥ 60 menit) berhasil menurunkan kadar Pb hingga $\leq 0,1$ mg/L. Angka 0,09 mg/L (5 g, 60 menit) memang sudah di bawah ambang batas, sehingga memenuhi standar. Dosis optimum adalah 2 g dengan waktu kontak 120 menit karena efisien secara biaya dan sudah memenuhi baku mutu COD, BOD dan Pb

Tabel 2. Perbandingan Efisiensi Adsorben Limbah Obat VS Activated Carbon (Kontrol)

Parameter	Limbah Obat (2 g, 120 menit)	Activated Carbon (2g, 120 menit)
COD Removal (%)	65 %	70%
BOD Removal (%)	58%	62%
Pb Removal (%)	60%	65%
Cd Removal (%)	55%	60%
Hg Removal (%)	50%	55%

Adsorben dari limbah obat kompetitif dengan activated carbon komersial, meskipun sedikit lebih rendah, tetapi tetap efektif dan ramah lingkungan.

Analisis ANOVA

- Faktor: Dosis adsorben (1 g, 2 g, 5 g) dan waktu kontak (30, 60, 120 menit).
- Hasil: Nilai $p < 0.05$ menunjukkan perbedaan signifikan antar variasi dosis dan waktu kontak terhadap penurunan COD dan BOD. Interaksi dosis \times waktu kontak juga signifikan, artinya peningkatan dosis lebih efektif bila dikombinasikan dengan waktu kontak lebih lama.



- Interpretasi: **Dosis 2 g dengan waktu kontak 120 menit** adalah kondisi optimum. **Dosis 5 g** tidak memberikan peningkatan signifikan dibanding 2 g, sehingga 2 g lebih efisien secara biaya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah obat kedaluwarsa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku adsorben melalui proses karbonisasi dan aktivasi kimia. Adsorben yang dihasilkan terbukti mampu menurunkan kadar pencemar utama pada air limbah rumah sakit, seperti COD, BOD, serta logam berat, dengan efektivitas yang sebanding bahkan kompetitif terhadap adsorben komersial. Pendekatan ini tidak hanya memberikan solusi teknis dalam pengolahan limbah farmasi, tetapi juga mendukung konsep ekonomi sirkular dengan mengubah limbah berbahaya menjadi produk yang bermanfaat. Selain itu, penerapan metode ini berpotensi menekan biaya pengolahan limbah rumah sakit sekaligus mengurangi dampak lingkungan jangka panjang.

Dengan demikian, pemanfaatan limbah obat kedaluwarsa sebagai adsorben merupakan strategi yang efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan, serta dapat dijadikan alternatif inovatif dalam sistem pengelolaan limbah rumah sakit di Indonesia maupun secara global.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan Terima Kasih kepada Pengelola laboratorium Fakultas Farmasi yaitu Laboratorium Farmasetika, Laboratorium Bahan Alam, Laboratorium Instrumentasi, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, atas dukungan fasilitas penelitian, serta rekan sejawat yang membantu dalam proses *eksperimen*.

References

- [1] Budianto A. Pirolisis botol plastik bekas menjadi fuel. Semnastek 2017.
- [2] Annur MY, Yelmida Z. Perengkahan katalitik PFAD menjadi biofuel. Jurnal Online Mahasiswa Universitas Riau (JOMFTEKNIK) 2015.
- [3] Tambun R, Saptawaldi RP, Nasution MA, Gusti ON. Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5. Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan 2016;11:46–52. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i1.4902>.
- [4] Blesvid B. Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biofuel Dengan Katalis Abu TKS Variasi Temperatur dan Berat Katalis. n.d.
- [5] Mirzayanti YW, Kurniawansyah F, Prayitno DH, Roesyadi A. Zn-Mo/HZSM-5 Catalyst for Gasoil Range Hydrocarbon Production by Catalytic Hydrocracking of Ceiba pentandra oil. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis 2018;13:136–43. <https://doi.org/10.9767/bcrec.13.1.1508.136-143>.
- [6] Rasyid R, Prihartantyo A, Mahfud M, Roesyadi A. Hydrocracking of Calophyllum inophyllum Oil With Non-sulfide CoMo Catalysts. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis 2015;10:61–9. <https://doi.org/10.9767/bcrec.10.1.6597.61-69>.
- [7] Sirajudin N, Jusoff K. Biofuel production from palm oil. World Applied Science Journal 2013. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.nrrdsi.26012>.
- [8] Asyraf Hazzamy M, Zahrina I. Pembuatan Biofuel dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Catalytic Cracking dengan Katalis Fly Ash. n.d.
- [9] Budianto A, Pambudi WS, Sumari S, Yulianto A. PID Control Design for Biofuel Furnace using Arduino. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control) 2018;16:3016. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v16i6.9770>.
- [10] Prajitno DH, Budhikarjono K. Biofuel production from candlenut oil. ARPN Journal of Engineering and Applied Science 2014.
- [11] FUJISHIMA A, HONDA K. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. Nature 1972;238:37–8. <https://doi.org/10.1038/238037a0>.



- [12] Zhang Y, Li J, Zhang G. Photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutants using TiO₂-based nanomaterials: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06812-0>.
- [13] Pelaez M, Nolan NT, Pillai SC, Seery MK, Falaras P, Kontos AG, et al. A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications. *Appl Catal B* 2012;125:331–49. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.05.036>.
- [14] Chong MN, Jin B, Chow CWK, Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water Res* 2010;44:2997–3027. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.039>.