MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i5.11781

ANALISIS *BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND* (BOD) SEBAGAI INDIKATOR KUALITAS AIR LIMBAH RUMAH SAKIT MENGGUNAKAN METODE WINKLER

Analysis of Biochemical Oxygen Demand (BOD) as an Indicator of Hospital Wastewater Quality Using the Winkler Method

Inggrid Dwi Gusprizal & Jon Efendi
Universitas Negeri Padang
inggriddwigusprizal@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 29, 2026	Jul 27, 2026	Aug 8, 2026	Aug 13, 2026

Abstract

Hospital wastewater contains organic matter, pathogenic microorganisms, and various chemical compounds that may pollute the environment if not adequately treated. One important parameter for evaluating the organic matter content of wastewater is biochemical oxygen demand (BOD). This study aimed to evaluate the wastewater quality of several hospitals based on the BOD parameter using the Winkler method in accordance with SNI 6989.72:2009. The study employed a quantitative descriptive approach through laboratory analysis of wastewater samples from several hospitals. Testing was conducted by measuring dissolved oxygen (DO) concentrations before and after five days of incubation, calculating BOD values, and evaluating the precision of the measurement results using relative percent difference (RPD). The results showed that the mean BOD values ranged from 1.9328 to 3.2858 mg/L, while the RPD values for all samples ranged from 7% to 23%. Differences in BOD values among samples indicated variations in wastewater characteristics associated with healthcare service activities and treatment effectiveness at the wastewater treatment plant (WWTP) of each hospital. All samples had relatively low

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

BOD values, indicating that the biodegradable organic matter content had decreased after the treatment process. The RPD values also showed that the analytical results had good precision and could therefore be used as a basis for monitoring hospital wastewater quality. These findings emphasize the importance of BOD as an indicator of wastewater quality and the effectiveness of biological treatment at hospital WWTPs.

Keywords: Hospital Wastewater; Biochemical Oxygen Demand; Water Quality; Winkler Method; Wastewater Treatment

Abstrak: Air limbah rumah sakit mengandung bahan organik, mikroorganisme patogen, dan berbagai senyawa kimia yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah secara memadai. Salah satu parameter penting untuk mengevaluasi kandungan bahan organik dalam air limbah adalah *biochemical oxygen demand* (BOD). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas air limbah dari beberapa rumah sakit berdasarkan parameter BOD menggunakan metode Winkler sesuai dengan SNI 6989.72:2009. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui analisis laboratorium terhadap sampel air limbah dari beberapa rumah sakit. Pengujian dilakukan dengan mengukur kadar *dissolved oxygen* (DO) sebelum dan setelah inkubasi selama lima hari, menghitung nilai BOD, serta mengevaluasi presisi hasil pengukuran menggunakan *relative percent difference* (RPD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata BOD berkisar antara 1,9328–3,2858 mg/L, sedangkan nilai RPD seluruh sampel berada pada rentang 7–23%. Perbedaan nilai BOD antarsampel menunjukkan adanya variasi karakteristik air limbah yang berkaitan dengan aktivitas pelayanan kesehatan dan efektivitas pengolahan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) masing-masing rumah sakit. Seluruh sampel memiliki nilai BOD yang relatif rendah, yang mengindikasikan bahwa kandungan bahan organik biodegradabel telah berkurang setelah proses pengolahan. Nilai RPD juga menunjukkan bahwa hasil analisis memiliki presisi yang baik sehingga dapat digunakan sebagai dasar pemantauan kualitas air limbah rumah sakit. Temuan ini menegaskan pentingnya parameter BOD sebagai indikator kualitas air limbah dan efektivitas pengolahan biologis pada IPAL rumah sakit.

Kata Kunci: Air Limbah Rumah Sakit; *Biochemical Oxygen Demand*; Kualitas Air; Metode Winkler; Pengolahan Air Limbah

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya yang sangat penting bagi kehidupan dan keberlanjutan ekosistem. Peningkatan aktivitas domestik, industri, dan fasilitas pelayanan kesehatan menyebabkan volume air limbah yang dihasilkan semakin meningkat, sehingga diperlukan pemantauan kualitas air secara berkala untuk mencegah pencemaran lingkungan. Salah satu parameter yang banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran organik dalam air limbah adalah Biochemical Oxygen Demand (BOD) karena mampu menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob untuk menguraikan bahan organik yang dapat terdegradasi secara biologis (Aguilar-Torrejón et al., 2023)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan indikator penting dalam penilaian kualitas air karena mencerminkan beban pencemar organik yang mudah terurai (biodegradable organic matter). Nilai BOD yang tinggi menunjukkan tingginya kebutuhan oksigen untuk proses biodegradasi sehingga berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut (Dissolved Oxygen/DO) di badan air. Penurunan kadar DO dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, menghambat kehidupan organisme akuatik, dan menurunkan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, pengujian BOD telah menjadi parameter wajib dalam pemantauan kualitas air limbah di berbagai negara (Aguilar-Torrejón et al., 2023).

Pengujian BOD masih banyak menggunakan metode inkubasi lima hari (BOD_5), yang secara internasional dianggap sebagai metode baku untuk menentukan kebutuhan oksigen biologis dalam air limbah. Meskipun berbagai metode analisis cepat telah dikembangkan, metode BOD_5 tetap digunakan secara luas karena memiliki tingkat akurasi dan reliabilitas yang tinggi dalam menggambarkan kandungan bahan organik biodegradable. Di Indonesia, pengujian BOD umumnya mengacu pada SNI 6989.72:2009, yang menggunakan metode Winkler melalui pengukuran kadar DO sebelum dan sesudah inkubasi selama lima hari (Jouanneau et al., 2014).

Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas yang menghasilkan air limbah dengan karakteristik kompleks karena mengandung bahan organik, mikroorganisme patogen, residu farmasi, bahan kimia laboratorium, disinfektan, serta berbagai senyawa berbahaya lainnya (Liu et al., 2023). Apabila tidak diolah secara memadai sebelum dibuang ke badan air, air limbah rumah sakit dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, meningkatkan risiko penyebaran mikroorganisme patogen, serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Amin et al., 2024).

Air limbah rumah sakit merupakan salah satu jenis limbah cair yang memiliki karakteristik kompleks karena mengandung campuran bahan organik, mikroorganisme patogen, residu farmasi, bahan kimia laboratorium, serta berbagai senyawa berbahaya lainnya. Dibandingkan dengan air limbah domestik, air limbah rumah sakit umumnya memiliki variasi konsentrasi BOD yang lebih tinggi sehingga memerlukan sistem pengolahan yang efektif sebelum dibuang ke lingkungan. Pemantauan parameter BOD menjadi penting untuk mengevaluasi efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam menurunkan beban pencemar organik (Fatimazahra et al., 2023).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan pengolahan biologis pada IPAL berpengaruh langsung terhadap penurunan nilai BOD efluen. Teknologi seperti Activated Sludge Process (ASP), Membrane Bioreactor (MBR), Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), dan Constructed Wetlands telah banyak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik. Namun demikian, efektivitas setiap teknologi sangat dipengaruhi oleh karakteristik influen, kondisi operasional IPAL, serta beban pencemar yang masuk ke sistem pengolahan. Oleh sebab itu, evaluasi parameter BOD tetap menjadi indikator utama dalam menilai kinerja pengolahan air limbah rumah sakit Karakteristik air limbah rumah sakit berbeda dengan air limbah domestik karena mengandung campuran pencemar organik, anorganik, senyawa farmasi, logam berat, dan mikroorganisme yang berasal dari berbagai aktivitas pelayanan kesehatan, laboratorium, ruang operasi, farmasi, serta unit perawatan pasien. Kompleksitas karakteristik tersebut menyebabkan pengelolaan air limbah rumah sakit memerlukan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang efektif serta pemantauan kualitas efluen secara berkala agar memenuhi baku mutu lingkungan dan meminimalkan dampak terhadap kesehatan masyarakat maupun lingkungan (Khan et al., 2022)

Di Indonesia, pengujian parameter BOD pada air limbah umumnya dilakukan menggunakan metode Winkler sesuai SNI 6989.72:2009, yaitu melalui pengukuran kadar Dissolved Oxygen (DO) sebelum dan sesudah inkubasi selama lima hari pada suhu 20 ± 1 °C. Metode ini masih digunakan secara luas oleh laboratorium lingkungan karena memiliki tingkat akurasi, presisi, dan reproduksibilitas yang baik apabila dilaksanakan sesuai prosedur operasional standar dan didukung oleh sistem pengendalian mutu laboratorium. Selain menghasilkan data konsentrasi BOD, pengujian juga memerlukan evaluasi kualitas hasil analisis melalui parameter seperti duplo dan Relative Percent Difference (RPD) untuk memastikan keandalan hasil pengukuran (Karini et al., 2020).

Berbagai penelitian telah melaporkan bahwa efektivitas IPAL rumah sakit berpengaruh terhadap penurunan nilai BOD pada efluen. Namun, sebagian besar penelitian lebih menitikberatkan pada evaluasi efisiensi IPAL atau teknologi pengolahan air limbah, sedangkan pembahasan mengenai mutu hasil analisis laboratorium melalui evaluasi presisi pengukuran masih relatif terbatas. Padahal, keandalan data laboratorium merupakan aspek penting dalam pemantauan kualitas lingkungan karena menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan air limbah dan kepatuhan terhadap baku mutu yang berlaku (Santosa, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air limbah dari beberapa rumah sakit berdasarkan parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD) menggunakan metode Winkler sesuai SNI 6989.72:2009, mengevaluasi presisi hasil analisis melalui nilai Relative Percent Difference (RPD), serta memberikan gambaran mengenai penerapan pengendalian mutu laboratorium dalam pengujian kualitas air limbah. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi informasi ilmiah mengenai kualitas air limbah rumah sakit sekaligus mendukung peningkatan mutu layanan laboratorium lingkungan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk mengevaluasi kualitas air limbah rumah sakit berdasarkan parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD). Data diperoleh melalui pengujian laboratorium terhadap sampel air limbah menggunakan metode Winkler sesuai SNI 6989.72:2009. Penelitian dilaksanakan selama kegiatan magang pada Juli–Agustus 2025. Objek penelitian berupa sampel air limbah yang berasal dari beberapa rumah sakit. Untuk menjaga kerahasiaan identitas pengirim, setiap sampel diberi kode laboratorium, yaitu 991, 994, 1000, 1004, dan 1007. Selain sampel uji, digunakan pula blanko (BLK) dan Air Bebas Mineral (ABM) sebagai bagian dari pengendalian mutu analisis.

Prinsip kerja dalam analisis kebutuhan oksigen biokimia (BOD) yaitu sejumlah sampel uji ditambahkan ke dalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu 20 ± 1°C selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 hari dan 5 hari.

Alat Dan Bahan

Botol winkler, lemari inkubasi, aerator, gelas ukur 250 ml, pipet volumetrik 25 ml, pipet mikro 1 ml, bola hisap, erlemeyer 100 ml, 500 ml, dan 2000 ml, sampel, aquades, larutan buffer fosfat (K_2HPO_4, K_2HPO_4 dan NH_4Cl), larutan kalsium klorida, larutan feriklorida, larutan ATU, amilum atau kanji, larutan magnesium sulfat, larutan mangan sulfat, larutan alkali azida, larutan asam sulfat, dan kapsul seeding

Preparasi Larutan Nutrisi/Pengencer

Aquades sebanyak 1 liter dimasukkan kedalam erlenmeyer 2000 ml, lalu ditambahkan dengan larutan buffer fosfat, larutan $MgSO_4$, larutan $CaCl_2$, larutan FeCl, larutan ATU, dan larutan sedding, kemudian diaerasi selama 1 jam.

Pembuatan Larutan Blanko

Larutan blanko dibuat dengan larutan pengencer yang dimasukkan kedalam botol winkler.

Pembuatan Larutan Standar

Larutan standar dibuat dengan mengencerkan 10 ml glucose glutamic acid (GGA) dalam labu 500 ml dengan ditambahkan larutan pengencer

Preparasi Sampel

Sampel yang dianalisis dengan kode 991 dan 994 cukup keruh sehingga diencerkan dengan faktor pengenceran lima kali menggunakan larutan pengencer, sampel 1000 dan 1004 tergolong tidak terlalu keruh sehingga diencerkan dengan faktor pengenceran dua kali, sampel 1007 sangat keruh sehingga diencerkan dengan faktor pengenceran seratus kali.

Penentuan BOD

Pengujian sampel ini menggunakan metode winkler dengan acuan SNI 6989.72:2009. Sampel di menjadi 2 perlakuan BOD0 dan BOD5 (diinkubasi pada suhu 20 ± 1°C selama lima hari). Botol winkler dengan kode BOD0 dianalisis segera dengan menambahkan larutan mangan sulfat dan larutan alkali azida sebanyak 0,330 ml pada botol winkler. Selanjutnya ditambah dengan asam sulfat pekat dan dihomogenkan. Larutan kemudian dititrasi menggunakan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) hingga larutan berwarna kuning pucat, kemudian diteteskan amilum dan proses titrasi dilanjutkan kembali hingga larutan berwarna bening. BOD5 juga memiliki perlakuan yang sama seperti BOD0..

HASIL

Penentuan nilai Biochemical Oxygen Demand (BOD_5) dilakukan berdasarkan perubahan konsentrasi oksigen terlarut (Dissolved Oxygen/DO) sebelum dan setelah inkubasi selama lima hari. Terlebih dahulu, nilai DO_0 dan DO_5 ditentukan berdasarkan hasil titrasi menggunakan persamaan yang melibatkan volume titran, faktor 8000, normalitas

larutan natrium tiosulfat, faktor pengali, dan volume sampel seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1). Nilai BOD_5 selanjutnya dihitung dari selisih antara DO awal (DO_0) dan DO setelah inkubasi lima hari (DO_5), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2) berikut:

$$DO = \frac{Vtitran \times 8000 \times Nthio \times F}{Vsampel} \quad (1)$$

$$BOD = DO_0 - DO_5 \quad (2)$$

Pengujian Biochemical Oxygen Demand (BOD_5) dilakukan untuk mengetahui kebutuhan oksigen secara biologis pada sampel air limbah melalui pengukuran oksigen terlarut sebelum dan setelah masa inkubasi selama lima hari. Pengujian dilakukan berdasarkan prosedur SNI 6989.72:2009, dengan hasil pengukuran meliputi nilai DO_0, DO_5, BOD_5, nilai rata-rata, serta Relative Percent Difference (RPD) dari pengujian duplo. Hasil pengujian BOD_5 pada masing-masing sampel air limbah disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Hasil Pengujian BOD

kode	DO_0	DO_5	[BOD]	Rata-rata	%RPD
BLK	1,20	0,75	1,7389	2,1258	35%
	1,30	0,65	2,5127		
ABM	1,25	0,65	2,3195	2,0295	28%
	1,05	0,60	1,7396		
991 (5x)	1,45	0,80	2,5127	2,6093	7%
	1,50	0,80	2,706		
994 (5x)	1,35	0,80	2,1261	1,9328	19%
	1,35	0,90	1,7396		
1000 (2x)	1,30	0,70	2,3194	2,2223	8%
	1,35	0,80	2,1261		
1004 (2x)	1,25	0,70	2,1262	1,9339	20%
	1,25	0,80	1,7396		
1007 (100x)	1,50	0,75	2,8993	3,2858	23%
	1,80	0,85	3,6724		

Hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan adanya penurunan oksigen terlarut setelah proses inkubasi lima hari pada seluruh sampel. Penurunan DO merupakan dasar penentuan BOD karena oksigen digunakan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik yang dapat terbiodegradasi. Hubungan antara BOD_5 dan DO_5 bersifat berlawanan, yaitu semakin besar oksigen yang dikonsumsi selama inkubasi, semakin besar nilai BOD yang diperoleh.

Berdasarkan hasil tersebut, rata-rata BOD sampel air limbah berkisar antara 1,9328–3,2858 mg/L. Nilai rata-rata terendah ditemukan pada sampel 994, yaitu 1,9328 mg/L, sedangkan nilai tertinggi ditemukan pada sampel 1007, yaitu 3,2858 mg/L. Dengan demikian, terdapat variasi nilai BOD antar sampel meskipun seluruh sampel berada pada kisaran yang relatif rendah.

PEMBAHASAN

Pengujian Biochemical Oxygen Demand (BOD_5) dilakukan untuk mengetahui kebutuhan oksigen secara biologis yang berkaitan dengan keberadaan bahan organik yang dapat diuraikan secara biologis dalam sampel air. BOD merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi kualitas air dan air limbah karena menggambarkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh aktivitas mikroorganisme selama proses biodegradasi bahan organik. Pengukuran BOD_5 secara konvensional dilakukan dengan membandingkan konsentrasi oksigen terlarut sebelum dan setelah periode inkubasi lima hari, sehingga penurunan oksigen terlarut selama inkubasi menjadi dasar dalam penentuan nilai BOD_5 (Aguilar-Torrejón et al., 2023).

Pada penelitian ini, pengujian BOD dilakukan berdasarkan SNI 6989.72:2009 tentang Air dan Air Limbah—Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD). SNI tersebut merupakan standar yang secara khusus mengatur pengujian BOD pada air dan air limbah dan hingga saat ini tercatat berstatus berlaku pada Badan Standardisasi Nasional (BSN). Berdasarkan prinsip metode tersebut, sampel mengalami pengukuran oksigen terlarut pada kondisi awal dan setelah inkubasi selama lima hari, kemudian selisih oksigen terlarut digunakan dalam penentuan BOD_5. Metode BOD_5 tetap banyak digunakan karena merupakan metode terstandardisasi yang dapat digunakan untuk mengevaluasi beban organik biodegradable dalam air maupun air limbah (Aguilar-Torrejón et al., 2023).

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 1, Perbedaan karakteristik BOD antar sampel pada penelitian ini dapat dikaitkan dengan sifat air limbah rumah sakit yang sangat kompleks dan heterogen. Air limbah rumah sakit berasal dari berbagai aktivitas, seperti pelayanan medis, laboratorium, laundry, dapur, sanitasi, serta penggunaan obat-obatan dan bahan kimia, sehingga komposisi bahan organik dan senyawa lain di dalamnya

dapat berbeda antara satu sumber dan sumber lainnya (Kaliakatsos et al., 2024). Kompleksitas tersebut menyebabkan beban organik yang tersedia untuk didegradasi secara biologis tidak selalu sama pada setiap sampel, sehingga kebutuhan oksigen yang terukur melalui BOD_5 juga dapat berbeda (Majumder et al., 2021).

Nilai BOD_5 terutama merepresentasikan oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan fraksi bahan organik yang dapat terbiodegradasi selama kondisi pengujian. Oleh karena itu, hasil BOD tidak hanya ditentukan oleh jumlah total bahan organik, tetapi juga oleh biodegradabilitas bahan organik tersebut (Asteris et al., 2023). Dua sampel yang mempunyai kandungan bahan organik total yang berbeda dapat menghasilkan nilai BOD yang relatif berdekatan apabila fraksi bahan organik yang mudah terurai secara biologis memiliki proporsi yang serupa, sedangkan sampel dengan lebih banyak senyawa yang sukar terbiodegradasi dapat memberikan BOD yang lebih rendah meskipun kandungan organiknya secara keseluruhan tidak rendah (Ooi et al., 2022).

Perbedaan tersebut juga dapat dipengaruhi oleh proses pengolahan yang telah dialami masing-masing air limbah sebelum pengambilan sampel. Pengolahan biologis pada IPAL dapat mengurangi fraksi organik biodegradable sehingga kebutuhan oksigen biologis pada efluen menjadi lebih rendah dibandingkan influen. Efektivitas pengolahan juga tidak selalu sama karena dipengaruhi oleh jenis teknologi, waktu tinggal, kondisi operasi, beban masuk, serta kondisi biologis unit pengolahan (Amin et al., 2024). Dengan demikian, perbedaan nilai BOD antar kode sampel dalam penelitian ini secara ilmiah dapat dipahami sebagai konsekuensi dari perbedaan karakteristik sumber dan kondisi pengolahan masing-masing sampel, bukan semata-mata akibat kesalahan analisis (Le & Nguyen, 2024).

Hasil penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa karakteristik BOD air limbah rumah sakit memang dapat berbeda cukup besar. (Karungamye et al., 2023), misalnya, melaporkan BOD sekitar 150,66 mg/L pada efluen rumah sakit yang diteliti, sedangkan penelitian di Tanzania menunjukkan bahwa pengolahan constructed wetland mampu menyisihkan sekitar 47% BOD dari air limbah rumah sakit. Penelitian di Indonesia juga menunjukkan bahwa karakteristik limbah rumah sakit dapat berbeda antar lokasi dan kondisi pengolahan, sementara penelitian Karini et al. (2020) secara khusus menunjukkan bahwa BOD dan COD merupakan parameter penting dalam menggambarkan kualitas limbah cair rumah sakit. Perbedaan yang cukup besar antara penelitian terdahulu dan penelitian ini dapat disebabkan oleh perbedaan jenis sampel yang dianalisis, yaitu influen atau efluen IPAL,

karakteristik rumah sakit, aktivitas pelayanan, tingkat pengenceran, sistem pengolahan, serta waktu dan lokasi pengambilan sampel (Herman et al., 2025).

Perbedaan antara hasil penelitian ini dan beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa nilai BOD tidak tepat digunakan untuk membandingkan kualitas dua air limbah secara langsung apabila kondisi pengambilan sampelnya berbeda. Penelitian di Indonesia mengenai air limbah rumah sakit menunjukkan adanya variasi konsentrasi parameter pencemar antar fasilitas, sedangkan penelitian lain menunjukkan bahwa perubahan proses pengolahan dapat menyebabkan perubahan signifikan pada BOD dan parameter organik lainnya (Januarta., 2018). Penelitian terhadap air limbah rumah sakit di Indonesia juga menunjukkan adanya variasi konsentrasi BOD dan parameter pencemar lainnya pada fasilitas kesehatan yang berbeda. Sebagai contoh, penelitian pada beberapa sistem pengolahan air limbah rumah sakit menunjukkan bahwa konsentrasi BOD dan efisiensi penyisihannya dipengaruhi oleh karakteristik influen serta kinerja unit pengolahan yang digunakan (Azwari et al., 2023).

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa keberadaan senyawa tertentu dalam limbah rumah sakit dapat memengaruhi proses biodegradasi selama pengujian BOD. Air limbah rumah sakit dapat mengandung residu antibiotik, obat-obatan, disinfektan, dan senyawa farmasi lain yang berpotensi memengaruhi komunitas mikroorganisme serta kemampuan biodegradasi bahan organik. Karena BOD bergantung pada aktivitas mikroorganisme, keberadaan senyawa yang bersifat toksik atau menghambat mikroorganisme dapat menyebabkan konsumsi oksigen biologis tidak selalu berbanding lurus dengan jumlah bahan organik total dalam sampel (Mardhiyah & Nanda, 2023). Hal tersebut menjadi salah satu alasan mengapa interpretasi BOD sebaiknya tidak dilakukan secara terpisah dari parameter kualitas air lainnya, terutama COD, TSS, pH, amonia, dan parameter mikrobiologi.

Dari sisi metode analisis, hasil penelitian perlu dilihat berdasarkan persyaratan pengendalian mutu SNI 6989.72:2009. SNI menetapkan bahwa BOD_5 ditentukan berdasarkan perubahan oksigen terlarut selama inkubasi lima hari pada suhu 20 ± 1 °C dan mengharuskan penggunaan blanko, kontrol standar, air bebas mineral yang sesuai, serta alat ukur yang terkalibrasi atau terverifikasi. SNI juga menetapkan bahwa perbedaan antara hasil replikasi yang dinyatakan sebagai RPD tidak lebih dari 30%. Oleh karena itu, RPD pada sampel air limbah yang masih berada di bawah batas tersebut menunjukkan bahwa

pengulangan pengukuran memberikan kedekatan hasil yang masih sesuai dengan kriteria presisi yang digunakan dalam metode.

Namun, hasil pengendalian mutu pada blanko dalam penelitian ini perlu mendapat perhatian karena nilai RPD blanko sebesar 35% berada di atas batas 30% yang ditetapkan SNI. Kondisi tersebut dapat menunjukkan adanya variasi yang relatif besar antara dua pengukuran blanko sehingga presisi pada tahap pengujian blanko belum optimal. Blanko merupakan bagian penting dalam pengujian BOD karena digunakan untuk mengetahui konsumsi oksigen yang berasal dari larutan pengencer dan komponen sistem pengujian, bukan dari sampel yang dianalisis. Variasi blanko dapat dipengaruhi oleh kualitas air bebas mineral, kondisi larutan pengencer, kebersihan peralatan gelas, kondisi inokulum, proses aerasi, maupun variasi selama titrasi dan pengukuran DO (Yuan & Pian, 2023).

Hasil ABM juga perlu diperhatikan karena SNI mensyaratkan bahwa air bebas mineral yang digunakan dalam pengujian harus bebas kontaminan dan penurunan DO selama lima hari harus kurang dari 0,4 mg/L. Oleh sebab itu, keberterimaan ABM tidak cukup dinilai hanya berdasarkan RPD, tetapi juga harus dilihat dari penurunan DO selama periode inkubasi dan persyaratan mutu air pengencer. Apabila persyaratan tersebut tidak terpenuhi, konsumsi oksigen dari sistem pengencer dapat berkontribusi terhadap ketidakpastian hasil BOD sehingga pengujian perlu dievaluasi sebelum hasil akhir digunakan sebagai dasar interpretasi.

Perlu ditekankan bahwa SNI 6989.72:2009 merupakan standar metode analisis BOD dan bukan standar baku mutu air limbah. Dengan demikian, hasil BOD penelitian tidak seharusnya dinyatakan "memenuhi SNI" hanya karena nilai konsentrasinya berada pada angka tertentu; SNI digunakan untuk menilai kesesuaian prosedur dan pengendalian mutu pengujian.

Secara keseluruhan, pola hasil penelitian lebih tepat dijelaskan sebagai akibat interaksi antara karakteristik bahan organik biodegradable, aktivitas pelayanan rumah sakit, kondisi pengolahan IPAL, kemungkinan keberadaan senyawa penghambat biodegradasi, serta kondisi analisis BOD_5. Temuan mengenai variasi RPD juga menunjukkan bahwa pengendalian mutu merupakan aspek penting dalam interpretasi hasil, khususnya karena BOD merupakan pengujian yang melibatkan proses biologis selama beberapa hari sehingga lebih sensitif terhadap kondisi pengujian dibandingkan analisis kimia yang hanya bergantung pada reaksi analitik sesaat. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat menjadi gambaran

kondisi BOD sampel yang dianalisis, tetapi interpretasi kualitas air limbah secara menyeluruh sebaiknya dilakukan bersama parameter lain dan dengan memastikan seluruh persyaratan QC metode terpenuhi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, nilai rata-rata BOD_5 pada sampel air limbah yang dianalisis berkisar antara 1,9328–3,2858 mg/L, dengan nilai terendah pada sampel 994 dan tertinggi pada sampel 1007. Hasil pengujian duplo menunjukkan nilai RPD sebesar 7–23% pada seluruh sampel air limbah sehingga masih berada di bawah batas 30% berdasarkan SNI 6989.72:2009, sedangkan BLK memiliki RPD 35% sehingga belum memenuhi kriteria tersebut. Hasil ini menunjukkan adanya variasi kebutuhan oksigen biologis antar sampel serta pentingnya pengendalian mutu dalam pengujian BOD_5. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan verifikasi terhadap hasil blanko dan ABM serta melengkapi evaluasi kualitas air limbah dengan parameter lainnya seperti COD, TSS, TDS, agar diperoleh gambaran kualitas air limbah yang lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

Aguilar-Torrejón, J. A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C. E., Rodríguez-Torres, I., & Torres-Blancas, T. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water—An overview through time. *SN Applied Sciences, 5*, 118. https://doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7

Amin, N., Foster, T., Shimki, N. T., & Willetts, J. (2024). Hospital wastewater (HWW) treatment in low- and middle-income countries: A systematic review of microbial treatment efficacy. *Science of the Total Environment, 921*, 170994. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170994

Asteris, P. G., Alexakis, D. E., Tsoukalas, M. Z., Gamvroula, D. E., & Guney, D. (2023). Machine learning approach for rapid estimation of five-day biochemical oxygen demand in wastewater. *Water, 15*(1), 103. https://doi.org/10.3390/w15010103

Azwari, F., Hadidjah, K., Benedicta, C. E., & Wahyuni, R. (2023). Analisis Parameter pH, BOD, TSS, Minyak dan Lemak serta Total Coliform pada Limbah Cair Rumah Sakit Gerbang Sehat Long Bagun Mahakam Ulu. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan, 5*(1), 45–51. https://doi.org/10.35970/jppl.v5i1.1796

Boutros, M., Puig, R., Bartoli, E., & El Bachawati, M. (2025). Sustainability assessment of hospital wastewater treatment techniques: A comprehensive review. *Sustainability, 17*(11), 4930. https://doi.org/10.3390/su17114930

Fatimazahra, S., Latifa, M., Laila, S., & Monsif, K. (2023). Review of hospital effluents: Special emphasis on characterization, impact, and treatment of pollutants and antibiotic resistance. *Environmental Monitoring and Assessment, 195*(3), 393. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11002-5

Herman, A., Firdaus, N., Pancawati, J., & Abidin, T. (2025). Characteristics of domestic wastewater from shopping centres, office buildings, and hospitals in Jakarta, Indonesia. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan, 22*(2), 510–527. https://doi.org/10.14710/presipitasi.v22i2.510-527

Jouanneau, S., Recoules, L., Durand, M. J., Boukabache, A., Picot, V., Primault, Y., Lakel, A., Sengelin, M., Barillon, B., & Thouand, G. (2014). Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review. *Water Research, 49*, 62–82. https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.066

Juniarta, I. P. S., Budiarsa Suyasa, I. W., & Sila Dharma, I. G. B. (2018). Effectiveness of biofilter made from plastic waste to decrease BOD, COD and ammonia of hospital wastewater. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science), 12*(1), 1–8. https://doi.org/10.24843/EJES.2018.v12.i01.p01

Kaliakatsos, A., Gounaki, I., Dokianakis, S., Maragkaki, E., Stasinakis, A. S., Gyparakis, S., Katsarakis, N., Manios, T., Fountoulakis, M. S., & Venieri, D. (2024). Treatment of hospital wastewater: Emphasis on ecotoxicity and antibiotic resistance genes. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 99*(10), 2129–2138. https://doi.org/10.1002/jctb.7329

Karini, T. A., Wijaya, D. R., & Arranury, Z. F. (2020). Karakteristik dan Kualitas Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Limbah Cair Rumah Sakit (Studi Deskriptif di Rumah Sakit X Kabupaten Jeneponto). *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan, 6*(2), 100–107. https://doi.org/10.24252/higiene.v6i2.18234

Karungamye, P., Rugaika, A., Mtei, K., & Machunda, R. (2023). Physicochemical and microbiological characterization of hospital wastewater in Tanzania. *Total Environment Research Themes, 8*, 100075. https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100075

Khan, R. A., El Morabet, R., Khan, N. A., Ahmed, S., Alsubih, M., Mubarak, N. M., Dehghani, M. H., Karri, R. R., & Zomorodiyan, N. (2022). Removal of organic matter and nutrients from hospital wastewater by electro bioreactor coupled with tubesettler. *Scientific Reports, 12*(1), 9279. https://doi.org/10.1038/s41598-022-12166-9

Le, T. T. A., & Nguyen, T. (2024). Potential of hospital wastewater treatment using locally isolated *Chlorella* sp. LH2 from cocoon wastewater. *Bioresources and Bioprocessing, 11*(1), 35. https://doi.org/10.1186/s40643-024-00748-6

Liu, A., Zhao, Y., Cai, Y., Kang, P., Huang, Y., Li, M., & Yang, A. (2023). Towards effective, sustainable solution for hospital wastewater treatment to cope with the post-pandemic era. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(4), 2854. https://doi.org/10.3390/ijerph20042854

Majumder, A., Gupta, A. K., Ghosal, P. S., & Varma, M. (2021). A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 9*(2), 104812. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104812

Mardhiyah, L., & Nanda, M. (2023). Analysis of inlet and outlet wastewater quality in WWTP Djoelham Regional General Hospital Binjai City. *PROMOTOR: Jurnal Mahasiswa Kesehatan Masyarakat, 6*(5), 535–540. https://doi.org/10.32832/pro.v6i5.444

Ooi, K. S., Chen, Z. Y., Poh, P. E., & Cui, J. (2022). BOD5 prediction using machine learning methods. *Water Supply, 22*(1), 1168–1183. https://doi.org/10.2166/ws.2021.202

Santosa, I. (2023). Decreased concentration (BOD, COD, TSS, fatty oil, ammonia and coliform) hospital wastewater using microfiltration membranes. *Jurnal Kesehatan, 14*(1), 117–125. https://doi.org/10.26630/jk.v14i1.3491

Yuan, T., & Pian, Y. (2023). Hospital wastewater as hotspots for pathogenic microorganisms spread into aquatic environment: A review. *Frontiers in Environmental Science, 10*, 1091734. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1091734