

# HUBUNGAN JUMLAH PASIEN MASUK RUMAH SAKIT PADA PERUBAHAN NILAI PARAMETER KUALITAS AIR LIMBAH PRE IPAL DAN POST IPAL DI RUMAH SAKIT TIPE C KOTA MALANG

Asyifa Rizki Putra Desmadi, Citra Destya Rahma Putri\*, Raden Muhammad Hardadi Airlangga\*\*#

\*Fakultas Kedokteran Universitas Islam Malang, \*\*Pusat Studi Integrasi Kedokteran Islam, Bioinformatika dan Obat Tradisional Indonesia (PSIKIBiOTI)

## ABSTRAK

**Pendahuluan:** Limbah cair rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemaran air yang memerlukan pengolahan melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Peningkatan jumlah pasien diduga meningkatkan beban pencemar yang dapat memengaruhi kualitas air limbah.

**Metode:** Penelitian observasional analitik dengan pendekatan komparatif dan korelasional menggunakan sampel air limbah Pre IPAL dan Post IPAL selama Februari 2026 di rumah sakit tipe C Kota Malang. Parameter yang diperiksa meliputi BOD, COD, TSS, MPN koliform, dan pH sesuai SNI. Analisis menggunakan Paired Sample t-test, Wilcoxon Signed-Rank Test, dan korelasi Spearman.

**Hasil dan Pembahasan:** BOD, COD, TSS, dan MPN koliform menurun signifikan dengan efisiensi berturut-turut 71,14%; 71,15%; 82,04%; dan 77,93% ( $p < 0,05$ ). Jumlah pasien berhubungan signifikan dengan BOD Pre IPAL ( $r_s = 0,767$ ;  $p = 0,016$ ), tetapi tidak dengan parameter Post IPAL maupun removal efficiency. Pada data sekunder satu tahun, jumlah pasien berhubungan dengan BOD dan COD Post IPAL. Hasil ini menunjukkan IPAL masih mampu mempertahankan efektivitas pengolahan pada variasi beban pasien selama periode pengamatan.

**Simpulan:** IPAL rumah sakit efektif memperbaiki kualitas air limbah. Jumlah pasien berhubungan dengan BOD Pre IPAL pada data primer serta BOD dan COD Post IPAL pada data sekunder.

**Kata Kunci:** IPAL, kualitas air limbah, BOD, COD, jumlah pasien

#Penulis Korespondensi : Raden Muhammad Hardadi Airlangga (wisudawardana@gmail.com)

Jl. MT Haryono 193 Malang, Jawa Timur Indonesia 65144

# RELATIONSHIP BETWEEN THE NUMBER OF HOSPITAL ADMISSIONS AND CHANGES IN WASTEWATER QUALITY PARAMETERS AT THE PRE-WWTP AND POST-WWTP OF A TYPE C HOSPITAL IN MALANG CITY

Asyifa Rizki Putra Desmadi, Citra Destya Rahma Putri\*, Raden Muhammad Hardadi Airlangga\*\*#

\*Faculty of Medicine, Islamic University of Malang, \*\*Center for the Integration of Islamic Medicine, Bioinformatics, and Indonesian Traditional Medicine (CIIMBITM)

## ABSTRACT

**Background:** Hospital wastewater is a potential source of water pollution requiring treatment through a wastewater treatment plant (WWTP). Increasing hospital admissions may increase pollutant loading and affect wastewater quality.

**Methods:** An analytical observational study with comparative and correlational approaches was conducted using pre- and post-WWTP wastewater samples collected during February 2026. BOD, COD, TSS, MPN coliform, and pH were analyzed according to Indonesian National Standards (SNI). Data were analyzed using the Paired Sample t-test, Wilcoxon Signed-Rank Test, and Spearman's correlation.

**Results and Discussion:** BOD, COD, TSS, and MPN coliform decreased significantly with removal efficiencies of 71.14%, 71.15%, 82.04%, and 77.93%, respectively ( $p < 0.05$ ). Hospital admissions were significantly associated only with Pre-WWTP BOD ( $r_s = 0.767$ ;  $p = 0.016$ ), but not with Post-WWTP parameters or removal efficiency. One-year secondary data showed significant correlations with Post-WWTP BOD and COD. These findings indicate that the WWTP maintained effective treatment performance despite variations in patient load.

**Conclusion:** The WWTP effectively improved wastewater quality. Hospital admissions were associated with Pre-WWTP BOD in the primary dataset and with Post-WWTP BOD and COD in the secondary dataset.

**Keywords:** wastewater treatment plant, wastewater quality, BOD, COD, hospital admissions

\*Corresponding author : Raden Muhammad Hardadi Airlangga (wisudawardana@gmail.com)

Jl. MT Haryono 193 Malang, Jawa Timur Indonesia 65144

## PENDAHULUAN

Pencemaran air masih menjadi salah satu permasalahan lingkungan global. Salah satu sumber pencemar yang berpotensi mencemari badan air adalah limbah cair rumah sakit yang mengandung bahan organik, mikroorganisme patogen, bahan kimia, serta residu farmasi sehingga memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan (17,27,39,42). Rumah sakit diwajibkan mengolah limbah cair melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) agar memenuhi baku mutu sesuai peraturan yang berlaku (20,22,24,41).

Kinerja IPAL dipengaruhi oleh karakteristik dan besarnya beban pencemar (pollutant loading) yang masuk ke sistem pengolahan. Peningkatan jumlah pasien berpotensi meningkatkan volume air limbah serta beban organik yang dihasilkan sehingga dapat memengaruhi kualitas air limbah sebelum maupun setelah proses pengolahan (1,7,16,37). Oleh karena itu, evaluasi kualitas air limbah perlu dilakukan tidak hanya pada hasil akhir pengolahan (effluent), tetapi juga dengan mempertimbangkan variasi beban operasional rumah sakit.

Sebagian besar penelitian mengenai limbah cair rumah sakit berfokus pada efektivitas IPAL dalam menurunkan parameter kualitas air limbah atau menghilangkan kontaminan tertentu (13,27,40). Sementara itu, penelitian yang mengevaluasi hubungan jumlah pasien dengan perubahan kualitas air limbah, khususnya pada rumah sakit tipe C, masih terbatas. Padahal, rumah sakit tipe C memiliki kapasitas pelayanan dan sistem pengolahan limbah yang berbeda dibandingkan rumah sakit tipe A maupun B sehingga memerlukan evaluasi tersendiri (21,31).

Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan jumlah pasien masuk rumah sakit dengan perubahan parameter kualitas air limbah pada titik Pre IPAL dan Post IPAL, serta mengevaluasi efektivitas IPAL dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS, MPN koliform, dan pH. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar evaluasi kinerja IPAL serta perencanaan kapasitas pengolahan limbah sesuai beban pelayanan rumah sakit.

## METODE PELAKSANAAN

### Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan pendekatan komparatif dan korelasional. Sampel berupa air limbah Pre IPAL dan Post IPAL diperoleh dari salah satu rumah sakit tipe C di Kota Malang. Pemeriksaan kualitas air limbah dilakukan di Laboratorium Pusat Riset Kedokteran Universitas Islam Malang (LPRK UNISMA) pada bulan Februari 2026. Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Kesehatan Rumah Sakit Islam Universitas Islam Malang Nomor 79/KEPK/RSI-U/XI/2025.

### Subyek/Sampel Penelitian

Populasi penelitian adalah seluruh air limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit. Sampel

penelitian berupa air limbah yang diambil dari dua titik pengambilan, yaitu Pre IPAL (influent) dan Post IPAL (effluent) menggunakan metode grab sampling. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 9 kali, sehingga diperoleh 18 sampel yang terdiri atas 9 sampel Pre IPAL dan 9 sampel Post IPAL. Data jumlah pasien masuk rumah sakit diperoleh dari data administrasi rumah sakit pada periode pengambilan sampel.

### Pemeriksaan Parameter Kualitas Air Limbah

Parameter yang dianalisis meliputi Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), Most Probable Number (MPN) koliform, dan pH. Pemeriksaan dilakukan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu BOD menggunakan metode Winkler (SNI 6989.72:2009), COD menggunakan metode refluks tertutup (SNI 6989.2:2009), TSS menggunakan metode gravimetri (SNI 06-6989.27-2005), MPN koliform menggunakan metode multiple tube fermentation (SNI 06-4158-1996), serta pH menggunakan metode elektrometri (SNI 06-6989.11-2004).

### Perhitungan Efektivitas IPAL

Efektivitas IPAL dalam menurunkan kadar masing-masing parameter dihitung menggunakan persamaan:

*Efektivitas (%)*

$$= \frac{\text{Kadar Pre IPAL} - \text{Kadar Post IPAL}}{\text{Kadar Pre IPAL}} \times 100\%$$

Perhitungan dilakukan untuk setiap parameter kualitas air limbah, yaitu BOD, COD, TSS, dan MPN koliform.

### Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan IBM SPSS Statistics versi 27. Uji normalitas dilakukan menggunakan Shapiro-Wilk. Perbedaan nilai parameter kualitas air limbah antara Pre IPAL dan Post IPAL dianalisis menggunakan Paired Sample t-test untuk data berdistribusi normal dan Wilcoxon Signed-Rank Test untuk data yang tidak berdistribusi normal. Hubungan antara jumlah pasien masuk rumah sakit dengan parameter kualitas air limbah dianalisis menggunakan uji korelasi Spearman Rank dengan tingkat kemaknaan  $p < 0,05$ .

## HASIL DAN ANALISA DATA

Sebanyak 18 sampel air limbah dianalisis, terdiri atas 9 sampel Pre IPAL dan 9 sampel Post IPAL. Parameter yang diperiksa meliputi Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), Most Probable Number (MPN) koliform, dan pH. Selain itu, dilakukan analisis hubungan jumlah pasien masuk rumah sakit dengan kualitas air limbah menggunakan data primer selama periode penelitian serta data sekunder selama satu tahun.

**Tabel 1. Perbandingan Parameter Kualitas Air Limbah antara Pre IPAL dan Post IPAL**

| Parameter                 | Pre IPAL (Rerata $\pm$ SD)      | Post IPAL (Rerata $\pm$ SD)      | Efektivitas Penurunan (%) |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| BOD (mg/L)                | 3,16 $\pm$ 1,37 <sup>a</sup>    | 1,16 $\pm$ 1,63 <sup>b</sup>     | 71,14                     |
| COD (mg/L)                | 112,82 $\pm$ 12,06 <sup>a</sup> | 32,37 $\pm$ 4,87 <sup>b</sup>    | 71,15                     |
| TSS (mg/L)                | 70,36 $\pm$ 47,41 <sup>a</sup>  | 12,50 $\pm$ 14,59 <sup>b</sup>   | 82,04                     |
| MPN koliform (MPN/100 mL) | >1100 <sup>a</sup>              | 242,80 $\pm$ 370,36 <sup>b</sup> | 77,93                     |
| pH                        | 7,27 $\pm$ 0,33 <sup>a</sup>    | 7,66 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup>     | —                         |

**Keterangan:** Nilai disajikan sebagai rerata  $\pm$  simpangan baku (SD). Huruf superskrip yang berbeda (<sup>a</sup>, <sup>b</sup>) pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang bermakna ( $p < 0,05$ ). Efektivitas penurunan dihitung berdasarkan persentase penurunan nilai parameter dari Pre IPAL ke Post IPAL. Parameter pH tidak dihitung efektivitas penurunannya karena tujuan pengolahan adalah mempertahankan pH dalam kisaran baku mutu, bukan menurunkan nilainya.

Berdasarkan **Tabel 1**, seluruh parameter kualitas air limbah menunjukkan perubahan setelah melalui proses pengolahan di IPAL. Rerata nilai BOD menurun dari 3,16  $\pm$  1,37 mg/L menjadi 1,16  $\pm$  1,63 mg/L dengan efektivitas penurunan sebesar 71,14%. Rerata nilai COD menurun dari 112,82  $\pm$  12,06 mg/L menjadi 32,37  $\pm$  4,87 mg/L dengan efektivitas penurunan sebesar 71,15%. Parameter TSS mengalami penurunan dari 70,36  $\pm$  47,41 mg/L menjadi 12,50  $\pm$  14,59 mg/L dengan efektivitas penurunan sebesar 82,04%, sedangkan rerata MPN koliform menurun dari >1100 MPN/100 mL menjadi 242,80  $\pm$  370,36 MPN/100 mL dengan efektivitas penurunan sebesar 77,93%. Nilai pH mengalami sedikit peningkatan dari 7,27  $\pm$  0,33 menjadi 7,66  $\pm$  0,07 dan tetap berada dalam rentang baku mutu. Seluruh parameter menunjukkan perbedaan yang bermakna antara nilai Pre IPAL dan Post IPAL ( $p < 0,05$ ).

**Tabel 2. Hubungan Jumlah Pasien dengan Parameter Kualitas Air Limbah Berdasarkan Data Primer**

| Parameter    | Pre IPAL $r_s$      | Post IPAL $r_s$     | Removal Efficiency $r_s$ |
|--------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| BOD          | 0,767 <sup>a</sup>  | 0,378 <sup>b</sup>  | -0,464 <sup>b</sup>      |
| COD          | -0,333 <sup>b</sup> | -0,133 <sup>b</sup> | -0,071 <sup>b</sup>      |
| TSS          | -0,133 <sup>b</sup> | -0,060 <sup>b</sup> | -0,593 <sup>b</sup>      |
| MPN koliform | —                   | 0,092 <sup>b</sup>  | -0,018 <sup>b</sup>      |
| pH           | -0,300 <sup>b</sup> | 0,100 <sup>b</sup>  | —                        |

**Keterangan:**  $r_s$  = koefisien korelasi Spearman. Huruf superskrip yang berbeda (<sup>a</sup>, <sup>b</sup>) menunjukkan signifikansi statistik, yaitu <sup>a</sup> = hubungan bermakna ( $p < 0,05$ ) dan <sup>b</sup> = tidak bermakna ( $p > 0,05$ ). Analisis korelasi MPN koliform pada Pre IPAL tidak dapat dilakukan karena seluruh sampel memiliki nilai yang sama (>1100 MPN/100 mL), sedangkan parameter pH tidak dianalisis terhadap removal efficiency karena tidak dihitung nilai efektivitas penurunannya.

Berdasarkan **Tabel 2**, analisis data primer menunjukkan bahwa jumlah pasien memiliki hubungan positif yang kuat dan bermakna dengan kadar BOD pada Pre IPAL ( $r_s = 0,767$ ;  $p < 0,05$ ). Sebaliknya, tidak ditemukan hubungan yang bermakna antara jumlah pasien dengan parameter COD, TSS, MPN koliform, maupun pH pada titik Pre IPAL maupun Post IPAL. Analisis terhadap removal efficiency juga menunjukkan tidak terdapat hubungan yang bermakna antara jumlah pasien dengan efektivitas penurunan BOD, COD, TSS, maupun MPN koliform ( $p > 0,05$ ). Meskipun beberapa parameter menunjukkan arah korelasi negatif, seluruh hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik.

## Hubungan Jumlah Pasien dengan Parameter Kualitas Air Limbah Berdasarkan Data Sekunder

**Tabel 3. Hubungan Jumlah Pasien dengan Parameter Kualitas Air Limbah Berdasarkan Data Sekunder**

| Parameter    | Koefisien Korelasi ( $r_s$ ) |
|--------------|------------------------------|
| BOD          | 0,636 <sup>a</sup>           |
| COD          | 0,657 <sup>a</sup>           |
| TSS          | 0,042 <sup>b</sup>           |
| MPN koliform | 0,249 <sup>b</sup>           |
| pH           | -0,424 <sup>b</sup>          |

**Keterangan:**  $r_s$  = koefisien korelasi Spearman. Huruf superskrip yang berbeda (<sup>a</sup>, <sup>b</sup>) menunjukkan signifikansi statistik, yaitu <sup>a</sup> = hubungan bermakna ( $p < 0,05$ ) dan <sup>b</sup> = tidak bermakna ( $p > 0,05$ ). Analisis dilakukan menggunakan data sekunder kualitas air limbah Post IPAL dan jumlah pasien bulanan selama periode Januari 2025–Januari 2026.

Berdasarkan Tabel 3, analisis data sekunder menunjukkan bahwa jumlah pasien memiliki hubungan positif yang bermakna dengan kadar BOD ( $r_s = 0,636$ ;  $p < 0,05$ ) dan COD ( $r_s = 0,657$ ;  $p < 0,05$ ). Sebaliknya, hubungan antara jumlah pasien dengan parameter TSS ( $r_s = 0,042$ ), MPN koliform ( $r_s = 0,249$ ), dan pH ( $r_s = -0,424$ ) tidak menunjukkan signifikansi statistik ( $p > 0,05$ ). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah pasien cenderung diikuti oleh peningkatan kadar BOD dan COD pada air limbah Post IPAL, sedangkan perubahan pada parameter TSS, MPN koliform, dan pH tidak berkaitan secara bermakna dengan jumlah pasien.

## PEMBAHASAN

### Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terhadap Parameter Kualitas Air Limbah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh parameter kualitas air limbah mengalami perubahan yang bermakna setelah melalui proses pengolahan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Penurunan terjadi pada parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), dan Most Probable Number (MPN) koliform, sedangkan nilai pH mengalami sedikit peningkatan namun tetap berada dalam kisaran baku mutu yang ditetapkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan yang diterapkan pada IPAL rumah sakit mampu menurunkan beban pencemar organik, padatan tersuspensi, serta kontaminasi mikrobiologis sebelum air limbah dibuang ke badan air.

Efektivitas penurunan tertinggi diperoleh pada parameter TSS (82,04%), diikuti oleh MPN koliform (77,93%), COD (71,15%), dan BOD (71,14%). Tingginya efisiensi penyisihan TSS menunjukkan bahwa unit pengolahan fisik, seperti sedimentasi, mampu menghilangkan sebagian besar partikel tersuspensi dari air limbah. Penurunan TSS juga berkontribusi terhadap peningkatan efektivitas proses biologis dan desinfeksi karena berkurangnya partikel yang dapat melindungi mikroorganisme maupun bahan organik dari proses pengolahan berikutnya (37). Pengurangan padatan tersuspensi juga berperan dalam meningkatkan penetrasi oksigen dan efisiensi degradasi biologis pada unit pengolahan sekunder (9).

Penurunan kadar BOD dan COD menunjukkan bahwa proses pengolahan biologis pada IPAL mampu mengurangi kandungan bahan organik biodegradable maupun non-biodegradable dalam air limbah. Pada sistem IPAL rumah sakit, proses ini umumnya berlangsung melalui Activated Sludge Process (ASP), di mana mikroorganisme memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi sehingga menurunkan kebutuhan oksigen biologis maupun kimiawi. Literatur menyebutkan bahwa sistem lumpur aktif yang dioperasikan secara optimal mampu menurunkan BOD dan COD hingga lebih dari 70–90%, bergantung pada karakteristik limbah, waktu tinggal hidrolis, aerasi, dan kondisi operasional instalasi (37,39). Efektivitas BOD dan COD pada penelitian ini berada dalam kisaran

tersebut sehingga menunjukkan bahwa proses biologis pada IPAL berjalan dengan baik.

Penurunan MPN koliform sebesar 77,93% menunjukkan bahwa proses pengolahan juga mampu mengurangi kontaminasi bakteri indikator fekal. Penurunan ini merupakan hasil kombinasi proses sedimentasi, degradasi biologis, serta desinfeksi pada tahap akhir pengolahan. Meskipun demikian, efisiensi penyisihan bakteri dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti waktu kontak desinfektan, konsentrasi bahan organik, kadar TSS, dan kondisi hidrolis IPAL. Kandungan bahan organik dan padatan tersuspensi yang masih tinggi dapat meningkatkan chlorine demand dan mengurangi efektivitas proses desinfeksi terhadap mikroorganisme indikator (6,37,41).

Berbeda dengan parameter lainnya, nilai pH mengalami sedikit peningkatan setelah proses pengolahan, namun tetap berada dalam kisaran baku mutu air limbah domestik, yaitu pH 6–9 sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68 Tahun 2016 (24). Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan tidak bertujuan menurunkan nilai pH, melainkan mempertahankan kondisi yang stabil agar mendukung aktivitas mikroorganisme pada proses biologis sekaligus menghasilkan effluen yang memenuhi persyaratan lingkungan (24,37).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa IPAL rumah sakit tipe C mampu menurunkan konsentrasi parameter pencemar secara signifikan sehingga menghasilkan kualitas effluen yang lebih baik dibandingkan influennya. Temuan ini sejalan dengan penelitian Husnina dkk. yang melaporkan bahwa IPAL rumah sakit mampu menurunkan parameter BOD, COD, dan TSS secara efektif hingga memenuhi baku mutu apabila sistem pengolahan dioperasikan secara optimal (13). Hasil serupa juga dilaporkan oleh Widiastuti dkk. yang menyatakan bahwa evaluasi operasional IPAL secara berkala berperan penting dalam mempertahankan efisiensi penyisihan parameter pencemar dan menjaga kualitas effluen rumah sakit (40).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) rumah sakit tipe C mampu menurunkan kadar BOD, COD, TSS, dan MPN koliform secara signifikan, dengan efektivitas penurunan berturut-turut sebesar 71,14%, 71,15%, 82,04%, dan 77,93%, sedangkan nilai pH tetap berada dalam kisaran baku mutu. Analisis data

primer menunjukkan bahwa jumlah pasien memiliki hubungan positif yang bermakna dengan kadar BOD pada Pre IPAL, namun tidak berhubungan secara signifikan dengan parameter lainnya maupun terhadap removal efficiency IPAL. Sementara itu, analisis data sekunder menunjukkan bahwa jumlah pasien memiliki hubungan positif yang bermakna dengan kadar BOD dan COD pada Post IPAL, tetapi tidak menunjukkan hubungan yang bermakna dengan parameter TSS, MPN koliform, dan pH. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa IPAL rumah sakit telah berfungsi secara efektif dalam menurunkan beban pencemar air limbah, meskipun peningkatan jumlah pasien masih berpotensi memengaruhi beberapa parameter kualitas air limbah, khususnya BOD dan COD.

## SARAN

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah sampel data primer yang relatif sedikit serta belum mengevaluasi faktor operasional IPAL, seperti hydraulic retention time (HRT), sludge retention time (SRT), rasio food to microorganism (F/M), debit air limbah, dan karakteristik lumpur aktif yang berpotensi memengaruhi efisiensi pengolahan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan periode pengamatan yang lebih panjang dengan jumlah sampel yang lebih besar, serta menambahkan evaluasi terhadap parameter operasional IPAL agar faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas pengolahan dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Bagi pihak rumah sakit, pemantauan kualitas air limbah secara berkala, evaluasi kapasitas IPAL terhadap fluktuasi jumlah pasien, serta optimalisasi operasional unit pengolahan perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk menjaga kualitas efluen agar tetap memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ikatan Orang Tua Mahasiswa (IOM) atas dukungan pendanaan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih turut disampaikan kepada dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang konstruktif sehingga artikel ini dapat disusun dengan lebih baik.

## DAFTAR RUJUKAN

1. Al Aukidy, M., Al Chalabi, S., & Verlicchi, P. (2018). Hospital Wastewater treatments adopted in Asia, Africa, and Australia. In P. Verlicchi (Ed.), *Hospital Wastewaters: The handbook of environmental chemistry* (Vol. 60, pp. 171 – 188). Springer. [https://doi.org/10.1007/698\\_2017\\_5](https://doi.org/10.1007/698_2017_5)
2. American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). APHA.
3. Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 6989.59:2008 Air dan air limbah—Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah. Badan Standardisasi Nasional.
4. Beltrami, E. M., Williams, I. T., Shapiro, C. N., & Chamberland, M. E. (2000). Risk and management of blood-borne infections in health care workers. *Clinical Microbiology Reviews*, 13(3), 385 – 407. <https://doi.org/10.1128/CMR.13.3.385>
5. Chartier, Y., Emmanuel, J., Pieper, U., Prüss, A., Rushbrook, P., Stringer, R., Townend, W., Wilburn, S., & Zghondi, R. (Eds.). (2014). *Safe management of wastes from health-care activities* (2nd ed.). World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/85349>
6. Diwan, V., Stålsby Lundborg, C., & Tamhankar, A. J. (2013). Seasonal and temporal variation in release of antibiotics in Hospital Wastewater: Estimation using continuous and grab sampling. *PLoS ONE*, 8(7), e68715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068715>
7. Escher, B. I., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J., & McArdell, C. S. (2011). Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from Hospital Wastewater. *Water Research*, 45(1), 75 – 92. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.019>
8. Fernandes, J., Ramísio, P. J., & Puga, H. (2024). A comprehensive review on various phases of wastewater technologies: Trends and future perspectives. *Eng*, 5(4), 2633 – 2661. <https://doi.org/10.3390/eng5040138>
9. Hannachi, A., Ghariani, F., Ghariani, N., Ouarda, A., & Djaafar, S. (2023). Review of hospital effluents: Special emphasis on characterization, impact, and treatment of pollutants and antibiotic resistance. *Water Quality Research Journal*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9923651/>

10. Harnisz, M., Korzeniewska, E., & Gołaś, I. (2015). Culture-dependent and culture-independent methods in evaluation of emission of Enterobacteriaceae from sewage to the air and surface water. *Water Research*, 47(11), 3732 – 3744. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.039>
11. Huijbers, P. M. C., Bobis Camacho, J., Hutinel, M., Larsson, D. G. J., & Flach, C.-F. (2023). Sampling considerations for wastewater surveillance of antibiotic resistance in fecal bacteria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4555. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054555>
12. Husnina, Z., Lusno, M. F. D., & Purwandari, R. (2022). Effectiveness of wastewater treatment plant and liquid waste quality in Dr. Soetomo General Hospital, Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(1). <https://doi.org/10.20473/jkl.v14i1.2022.1-8>
13. Ighalo, J. O., Adeniyi, A. G., & Adeniran, J. A. (2020). Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. In *Bioremediation and biotechnology*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_7)
14. Indonesian Environmental Scientists Association & Perhimpunan Rumah Sakit Seluruh Indonesia. (2020). Hasil survei jumlah limbah medis era COVID-19. <https://www.iesa.or.id/artikel/hasil-survey-jumlah-limbah-medis-era-covid-19/>
15. Irianto, H., Santosa, I., Sunardi, S., & Purnama, I. L. S. (2022). Risk assessment of Hospital Wastewater treatment plant operation: A case study of a class B hospital in Indonesia. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 12(4). <https://doi.org/10.18280/ijss.120406>
16. Janik-Karpinska, E., Brancaloni, R., Niemcewicz, M., Wojtas, W., Foco, M., Podogrocki, M., & Bijak, M. (2023). Healthcare waste—A serious problem for global health. *Healthcare*, 11(2), 242. <https://doi.org/10.3390/healthcare11020242>
17. Jin, X., Wang, J., Li, D., Wu, F., & Zhou, Q. (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 9(3), 197 – 209. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0710626>
18. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2004). Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1204/Menkes/SK/X/2004 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit.
19. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2019). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/111721>
20. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020a). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 3 Tahun 2020 tentang Klasifikasi dan Perizinan Rumah Sakit. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/155155>
21. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020b). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 18 Tahun 2020 tentang Pengelolaan Limbah Medis Fasilitas Pelayanan Kesehatan Berbasis Wilayah. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/135814>
22. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2015). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.56/Menlhk-Setjen/2015 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dari Fasilitas Pelayanan Kesehatan. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/322441>
23. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. <https://ppkl.menlhk.go.id/website/fileb>

- [ox/5/170314114854P.68%20BAKU%20MUTU%20LIMBAH%20DOMESTIK.pdf](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
24. Li, A., Friesen, M., Lavoué, J., Friesen, M. C., & Stewart, P. A. (2025). Ethylene oxide measurements from OSHA workplace investigations: Patterns in exposure by industry, occupation, and over time. *American Journal of Industrial Medicine*. <https://doi.org/10.1002/ajim.23710>
  25. Li, Y., et al. (2023). Global trends in the research and development of medical/pharmaceutical wastewater treatment over the half-century. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1184045>
  26. 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>
  27. Majumder, A., Singh, A., & Gupta, A. (2022). An assessment of Hospital Wastewater and biomedical waste generation, existing legislations, risk assessment, treatment processes, and scenario during COVID-19. *Journal of Environmental Management*, 308, 114609. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114609>
  28. Manickam, N., Amalraj, A., & Sangeetha, R. (2023). Dioxin emissions from bio-medical waste incineration: A systematic review on emission factors, inventories, trends and health risk studies. *Journal of Hazardous Materials*, 448, 130669. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130669>
  29. Murray, C. J. L., et al. (Antimicrobial Resistance Collaborators). (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: A systematic analysis. *The Lancet*, 399(10325), 629 – 655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
  30. Nararya, B. J., Anggraini, D., & Soeparman, S. (2021). Evaluasi kapasitas tampung IPAL RSUD Sidoarjo. *CivPro: Civil Engineering and Procurement Review*, 2(2).
  31. National Institute for Occupational Safety and Health. (2023). Ethylene oxide. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ethyleneoxide/default.html>
  32. Nkansah, M. A., Bempah, C. K., & Asante, K. A. (2016). Heavy metal contamination of soils around a hospital waste incinerator bottom ash dumps site. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(19), 19782 – 19791. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6959-3>
  33. Nursolihah, I., Sembiring, D. A., & Runggandini, S. A. (2023). The effect of collaboration between hospitals with BPJS Kesehatan on the number of hospital visits in Indonesia. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 6(2), 393 – 399.
  34. Prüss, A., Giroult, E., & Rushbrook, P. (Eds.). (1999). *Safe management of wastes from health-care activities* (1st ed.). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42175>
  35. Sustainability. (2025). Sustainability assessment of Hospital Wastewater treatment techniques: A comprehensive review. *Sustainability*, 17(11), 4930. <https://doi.org/10.3390/su17114930>
  36. Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
  37. Universitas Gadjah Mada. (2019). Pengelolaan limbah medis di Indonesia belum maksimal. <https://ugm.ac.id/id/berita/18264-pengelolaan-limbah-medis-di-indonesia-belum-maksimal/>
  38. Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., & Barceló, D. (2010). Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable

- treatment options. *Journal of Hydrology*, 389(3 – 4), 416 – 428.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.011>
39. Widiastuti, R., Damanhuri, E., & Wahyono, S. (2024). Planning evaluation of wastewater treatment system of Jakarta Islamic Hospital Sukapura Kelapa Gading. *West Science Interdisciplinary Studies*.  
<https://wsj.westsciences.com/index.php/wsis/article/view/1027>
  40. World Health Organization. (2014). Module 23: Management of healthcare wastewater. In *Health-care waste management training modules*. WHO Press.  
<https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-in-hcf/training-modules-in-health-care-waste-management/module-23---management-of-health-care-wastewater.pdf>
  41. World Health Organization. (2024). Health-care waste  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>
  42. World Health Organization Western Pacific Regional Office. (2016). Health care waste management [Fact sheet for Regional Forum on Health and Environment]. WHO Western Pacific Regional Office.  
[https://www.who.int/docs/default-source/wpro---documents/hac---regional-forum-\(2016\)/hcwmanagement-factsheet-rfhe.pdf](https://www.who.int/docs/default-source/wpro---documents/hac---regional-forum-(2016)/hcwmanagement-factsheet-rfhe.pdf)
  43. Zhang, S., Huang, J., Zhao, Z., Cao, Y., & Li, B. (2020). Hospital Wastewater as a reservoir for antibiotic resistance genes: A meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 8, 574968.  
<https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.574968>
  44. Zhu, L., et al. (2024). A review on the Prevalence and treatment of antibiotic resistance genes in Hospital Wastewater. *FEMS Microbiology Reviews*.  
<https://doi.org/10.1093/femsre/fuae028>