

EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DALAM PERBANDINGAN *PRE* DAN *POST*-IPAL UNTUK MENDETEKSI ADANYA BAKTERI *Salmonella sp.* DAN *Shigella sp.* DI RUMAH SAKIT TIPE C MALANG

Wafa Wardah Adawiyah, 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 air rumah sakit berpotensi mengandung bakteri patogen enterik seperti *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* yang dapat membahayakan kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang efektif untuk menurunkan jumlah bakteri tersebut.

Metode: Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium dengan pendekatan *in vitro* menggunakan sampel air limbah pre dan post-IPAL dari rumah sakit tipe C di Malang. Identifikasi bakteri dilakukan melalui kultur pada media *Salmonella Shigella Agar* (SSA), pewarnaan Gram, serta uji biokimia Indol, *Methyl Red*, *Voges-Proskauer*, Citrate (IMViC) dan *Triple Sugar Iron* (TSI). Analisis data dilakukan menggunakan uji *Wilcoxon Signed-Rank Test*.

Hasil dan Pembahasan: Rerata jumlah *Salmonella sp.* pada pre-IPAL sebesar $1,89 \times 10^1$ CFU/mL dan tidak ditemukan pada post-IPAL ($p = 0,0017$). Sementara itu, *Shigella sp.* mengalami penurunan dari $2,01 \times 10^3$ CFU/mL menjadi $3,23 \times 10^2$ CFU/mL ($p = 0,008$). Efektivitas IPAL dalam mengeliminasi *Salmonella sp.* mencapai 100%, sedangkan terhadap *Shigella sp.* sebesar 83,92%. Hasil ini menunjukkan bahwa IPAL efektif mengeliminasi *Salmonella sp.*, namun belum optimal terhadap *Shigella sp.* yang diduga dipengaruhi oleh ketidaktepatan dosis desinfektan, waktu kontak yang tidak memadai, dan kualitas air limbah yang menghambat proses disinfeksi.

Simpulan: IPAL mampu menurunkan jumlah bakteri patogen *Salmonella sp.*, namun belum efektif secara optimal dalam mengeliminasi *Shigella sp.* sehingga belum memenuhi baku mutu mikrobiologis.

Kata Kunci: IPAL, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, air limbah rumah sakit, efektivitas IPAL

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

Jl. MT Haryono 193 Malang, Jawa Timur Indonesia 65144

EFFECTIVENESS OF HOSPITAL WASTEWATER (HWW) IN REDUCING *Salmonella sp.* AND *Shigella sp.* IN PRE AND POST-TREATMENT EFFLUENTS OF A TYPE C HOSPITAL IN MALANG

Wafa Wardah Adawiyah, 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 may contain enteric pathogenic bacteria such as *Salmonella sp.* and *Shigella sp.*, posing risks to public health and the environment. Therefore, an effective wastewater treatment plant is required to reduce these bacteria.

Methods: This study used an *in vitro* experimental laboratory design with pre and post HWW samples from a type C hospital in Malang. Bacterial identification was performed using *Salmonella Shigella Agar* (SSA), Gram staining, and biochemical tests (IMViC and TSI). Data were analyzed using the *Wilcoxon Signed-Rank Test*.

Results and Discussion: The mean count of *Salmonella sp.* in pre-HWW samples was 1.89×10^1 CFU/mL and was not detected in post-HWW samples ($p = 0.017$). Meanwhile, *Shigella sp.* decreased from 2.01×10^3 CFU/mL to 3.23×10^2 CFU/mL ($p = 0.008$). The effectiveness of HWW reached 100% for *Salmonella sp.* and 83.92% for *Shigella sp.* These findings indicate that the HWW was effective in eliminating *Salmonella sp.*, but less effective against *Shigella sp.*, likely due to suboptimal disinfectant dosing, insufficient contact time, and wastewater characteristics that hinder the disinfection process.

Conclusion: The IPAL system was effective in reducing bacterial levels but was not fully effective in eliminating *Shigella sp.*, indicating that microbiological standards have not been fully achieved.

Keywords: wastewater treatment, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, hospital wastewater, effectiveness of hospital wastewater

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

Jl. MT Haryono 193 Malang, Jawa Timur Indonesia 65144

PENDAHULUAN

Waterborne diseases masih menjadi salah satu tantangan utama kesehatan masyarakat di dunia. *American Society for Microbiology* (2025) melaporkan bahwa lebih dari 3,5 juta kematian setiap tahun berkaitan dengan patogen yang ditularkan melalui air, sementara sekitar satu dari tiga penduduk dunia belum memiliki akses terhadap air minum yang aman (1). Salah satu sumber yang berpotensi berkontribusi terhadap pencemaran air oleh mikroorganisme patogen adalah air limbah rumah sakit yang tidak diolah secara memadai sebelum dibuang ke lingkungan. Air limbah rumah sakit dihasilkan dari berbagai aktivitas pelayanan kesehatan dan mengandung beragam mikroorganisme, termasuk bakteri patogen enteric seperti *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Shigella spp.*, *Klebsiella spp.*, *Vibrio cholerae*, hingga *Pseudomonas spp.* (2,3). Limbah ini berisiko tinggi terhadap kesehatan dan lingkungan karena bersifat infeksius serta mengandung zat toksik dan residu obat-obatan (4). Oleh karena itu, pengolahan air limbah yang efektif menjadi kebutuhan penting untuk mencegah pencemaran dan penularan penyakit.

Rumah sakit diwajibkan memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berfungsi mengolah limbah sebelum dibuang ke lingkungan (5). Selain itu, sesuai peraturan yang berlaku, hasil olahan IPAL harus memenuhi baku mutu, yaitu tidak ditemukannya bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada sampel post IPAL (6, 7). *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* merupakan bakteri basil Gram-negatif yang bersifat anaerob fakultatif, tidak membentuk spora, serta umumnya tidak memfermentasi laktosa sehingga dapat dibedakan dari bakteri lain dalam kelompok *Enterobacteriaceae*. *Salmonella sp.* bersifat motil dan dapat menghasilkan H_2S , sedangkan *Shigella sp.* bersifat non-motil dengan koloni kecil, halus, dan tidak berwarna pada media selektif seperti *Salmonella Shigella Agar* (8).

Pada kenyataannya, meskipun Sebagian besar bakteri dapat dihilangkan dalam proses pengolahan limbah, masih ada kemungkinan kecil bakteri tersebut ditemukan hasil pengolahan, yang menunjukkan adanya ketidakefektifan sistem IPAL. Keberadaan bakteri pada post IPAL bisa disebabkan oleh faktor teknis dan operasional, seperti dosis desinfektan yang tidak mencukupi, waktu kontak yang kurang, serta kualitas air limbah yang tinggi, selain itu bisa juga disebabkan oleh mekanisme respons stress bakteri yang menyebabkan bakteri tersebut resisten (9, 10). Klorin sebagai disinfektan membutuhkan waktu kontak sekitar 30 menit untuk membunuh bakteri seperti *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.*, sehingga jika kondisi ini tidak terpenuhi, bakteri masih dapat bertahan dan ditemukan di post IPAL (10).

Namun demikian, terdapat kesenjangan signifikan dalam literatur mengenai performa IPAL pada skala fasilitas kesehatan yang berbeda.

Sebagian besar penelitian saat ini lebih banyak berfokus pada rumah sakit rujukan utama (Tipe A atau B) dengan infrastruktur canggih, sementara data mengenai efektivitas reduksi patogen pada rumah sakit Tipe C yang seringkali menghadapi keterbatasan lahan, anggaran operasional, dan teknologi yang lebih sederhana masih sangat minim (11, 12). Di Indonesia, pemantauan rutin umumnya hanya terpaku pada parameter fisik-kimia dan indikator umum seperti Total Coliform, sehingga dinamika penurunan jumlah bakteri spesifik *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* dari pre ke post-IPAL belum terdokumentasi secara detail di tingkat regional, khususnya pada fasilitas kesehatan di Kota Malang (11,13).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan dan perubahan jumlah bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada air limbah rumah sakit pre dan post IPAL. Evaluasi ini menjadi penting untuk mengetahui sejauh mana IPAL mampu memenuhi baku mutu yang ditetapkan serta identifikasi permasalahan pada sistem pengolahan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar evaluasi untuk meningkatkan kinerja IPAL dan melindungi kesehatan masyarakat serta lingkungan.

METODE PELAKSANAAN

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium dengan pendekatan *in vitro*. Penelitian dilakukan dengan melakukan kultur bakteri dari sampel air limbah rumah sakit.. Sampel yang digunakan yaitu air limbah pre dan post-IPAL yang diperoleh dari salah satu rumah sakit tipe c Kota Malang. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pusat Riset Kedokteran Universitas Islam Malang (LPRK UNISMA). Penelitian mulai dilaksanakan pada bulan Januari - Februari 2026. Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan kelayakan etik dalam surat No. 79/KEPK/RSI-U/XI/2025

Subyek/Sampel Penelitian

Sampel dalam penelitian ini berupa air limbah rumah sakit yang diambil dari dua titik, yaitu sebelum proses pengolahan di IPAL (*ground tank*) dan setelah melalui proses IPAL (bak indikator). Adapun populasi penelitian adalah koloni bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* yang terdapat pada air limbah tersebut. Pengulangan sampel dilakukan sebanyak 9 kali.

Kultur Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* dari sampel Air Limbah

Sampel air yang diperoleh diencerkan terlebih dahulu sebelum dikultur pada media *Salmonella Shigella Agar* dengan tujuan memperoleh konsentrasi bakteri yang sesuai untuk perhitungan. Sampel air limbah diencerkan bertahap menggunakan larutan *saline* steril menjadi beberapa tingkat pengenceran, yaitu 10^0 , 10^{-1} , dan 10^{-2} , agar jumlah bakteri yang tumbuh dapat dihitung dengan lebih akurat (14). Tiga tingkat pengenceran yang

diperoleh kemudian diinokulasikan masing-masing pada media *Salmonella Shigella Agar*, lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, kemudian dilakukan identifikasi koloni yang tumbuh dan perhitungan *total plate count* (TPC). Koloni yang tumbuh kemudian dianalisa berdasarkan penampilan koloni, dengan bakteri *Salmonella sp.* memiliki koloni dengan pusat hitam karena menghasilkan H₂S, datar, dan pinggirannya tampak bening, sedangkan bakteri *Shigella sp.* memiliki ciri koloni kecil, halus, tampak pucat, bening karena *lactose-negative*.

Perhitungan Koloni Bakteri pada Sampel Air Limbah

Perhitungan koloni bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* yang didapat pada sampel air limbah dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$n \text{ (CFU/mL)}$$

$$= \frac{\Sigma \text{ Koloni}}{\text{Kekuatan Pengenceran (L)} \times \text{Volume yang digunakan untuk Kultur}}$$

Cawan petri bakteri dinyatakan layak dianalisis apabila jumlah koloni berada pada rentang 30–300 koloni. Seluruh hasil perhitungan dicatat dan prosedur dilakukan sebanyak dua kali pada setiap sesi dengan total tiga hari pengambilan sampel (14).

Uji Bakteri Gram Negatif *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* Menggunakan Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram dilakukan dengan meneteskan satu tetes NaCl pada kaca objek, kemudian koloni bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* dari media SSA diambil dan diratakan di atasnya, lalu difiksasi menggunakan panas bunsen. Preparat yang telah difiksasi diberi kristal violet selama 2 menit dan dibilas dengan air mengalir, dilanjutkan dengan penambahan lugol selama 1 menit. Setelah itu, preparat dicuci dan diberi alkohol 96% selama 10 detik untuk proses dekolorisasi, kemudian dibilas kembali. Selanjutnya, preparat diberi pewarna safranin selama 30–60 detik, dicuci, dikeringkan, ditetesi minyak imersi, dan diamati menggunakan mikroskop trinokuler dengan perbesaran 1000x, koloni bakteri gram negatif akan menunjukkan warna merah (15).

Uji Identifikasi Biokimia Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* Menggunakan IMViC dan TSI

Identifikasi bakteri dilakukan melalui serangkaian uji biokimia IMViC (Indol, *Methyl Red*, *Voges-Proskauer*, dan Citrate) serta uji *Triple Sugar Iron* (TSI) untuk mengetahui karakteristik metabolik bakteri. Uji Indol dilakukan dengan menginokulasikan koloni bakteri ke dalam media Indol, diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, kemudian ditambahkan reagen *Kovac's*, di mana hasil positif ditandai dengan terbentuknya cincin merah pada permukaan media. Uji *Methyl Red* (MR) dan *Voges-Proskauer* (VP) menggunakan media MR-VP yang diinkubasi selama 48 jam, dengan hasil MR positif ditunjukkan oleh perubahan warna

menjadi merah akibat fermentasi asam, sedangkan uji VP positif ditandai dengan terbentuknya warna merah muda setelah penambahan reagen. Uji sitrat dilakukan menggunakan media *Simmons citrate* untuk menilai kemampuan bakteri memanfaatkan sitrat sebagai sumber karbon, dengan hasil positif ditandai perubahan warna media dari hijau menjadi biru (16).

Selain itu, uji TSI digunakan sebagai media diferensial untuk menilai kemampuan fermentasi gula (glukosa, laktosa, dan sukrosa), produksi gas, serta pembentukan hidrogen sulfida (H₂S). Prosedur dilakukan dengan metode gores dan tusuk pada media agar miring, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24–48 jam. Interpretasi hasil didasarkan pada perubahan warna media, di mana kombinasi *slant* alkali dan *butt* asam (K/A) menunjukkan fermentasi glukosa, pembentukan gas ditandai adanya retakan atau gelembung, serta produksi H₂S ditunjukkan dengan terbentuknya endapan hitam (16).

Evaluasi Efektivitas Eliminasi Bakteri pada IPAL Rumah Sakit

Rumus yang digunakan sebagai perhitungan efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam menghilangkan atau menurunkan bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* sebagai berikut :

$$\frac{\text{Rerata Bakteri Pre IPAL} - \text{Rerata Bakteri Post IPAL}}{\text{Total Bakteri Pre IPAL}} \times 100$$

Metode Analisa Data

Analisa Data menggunakan *IBM SPSS statistics 27 for windows*. Data yang didapat dari hasil kultur bakteri dan perhitungan TPC dianalisa menggunakan metode *Wilcoxon Signed-Rank Test* dengan membandingkan jumlah koloni yang didapat dari kedua sampel, karena data tidak terdistribusi normal.

HASIL DAN ANALISA DATA

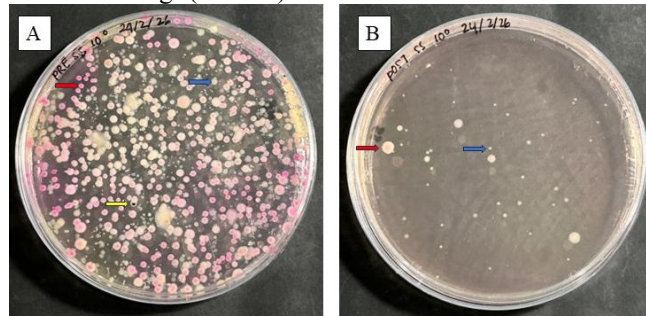
Hasil Kultur dan Perhitungan Koloni Bakteri dari Sampel Air Limbah

Hasil kultur sampel air limbah pada media *Salmonella Shigella Agar* (SSA) menunjukkan pertumbuhan koloni yang diduga sebagai *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada sampel pre-IPAL, sedangkan pada sampel post-IPAL hanya ditemukan koloni yang diduga sebagai *Shigella sp.* Hasil kultur pada media SSA ditampilkan pada **Gambar 1**. Karakteristik morfologi koloni yang diamati meliputi warna, bentuk, ukuran, elevasi, tepi koloni, serta kemampuan menghasilkan hidrogen sulfida (H₂S), sebagaimana disajikan pada **Tabel 1**.

Jumlah koloni yang tumbuh selanjutnya dihitung menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dan dikonversi ke dalam satuan CFU/mL untuk memperkirakan jumlah bakteri pada sampel air limbah. Hasil perhitungan menunjukkan rerata jumlah *Salmonella sp.* pada pre-IPAL sebesar 1,89 × 10¹ CFU/mL dan tidak terdeteksi pada post-IPAL,

sedangkan rerata *Shigella sp.* menurun dari $2,01 \times 10^3$ CFU/mL menjadi $3,23 \times 10^2$ CFU/mL setelah proses pengolahan. Seluruh hasil perhitungan TPC disajikan pada **Tabel 2**. Selanjutnya, data ditransformasikan ke dalam bentuk $\log_{10}(\text{CFU}+1)$

untuk mengakomodasi keberadaan nilai nol pada data. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan *Wilcoxon Signed-Rank Test* karena data berpasangan tidak memenuhi asumsi distribusi normal.



Gambar 1. Hasil Kultur Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada media SS Agar

Keterangan : Gambar A merupakan hasil kultur koloni bakteri pada sampel pre-IPAL; Gambar B merupakan hasil kultur koloni bakteri pada sampel post-IPAL; Panah berwarna kuning menunjukkan koloni bakteri *Salmonella sp.*; Panah berwarna biru menunjukkan koloni bakteri *Shigella sp.*; Panah berwarna merah menunjukkan koloni bakteri *Eschericia coli*.

Tabel 1. Karakteristik Morfologi Koloni Presumtif *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.*

Media	Tipe Koloni	Bentuk	Elevasi	Tepi	Diameter Koloni
<i>Salmonella Shigella Agar (SSA)</i>	Colourless dengan pusat hitam (produksi H_2S)	Bulat (circular)	Cembung rendah (low convex)	Rata/utuh (entire)	$\pm 2-4$ mm
	Transluscent tidak berinti, tampak kecil, halus, dan datar	Bulat (circular)	Datar hingga sedikit cembung (flat to low convex)	Rata/utuh (entire)	$\pm 1-2$ mm

Tabel 2. Hasil Perhitungan Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.*

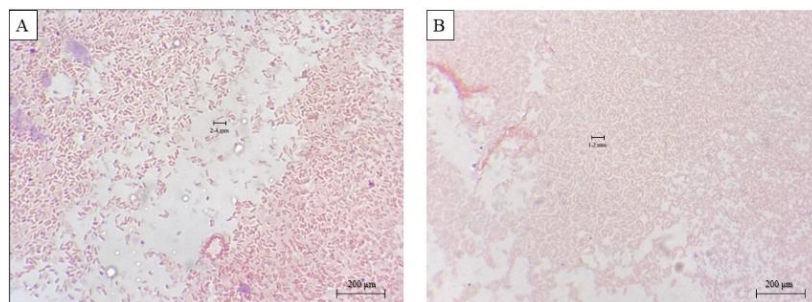
Koloni	Rerata Pre IPAL	Rerata Post IPAL	Signifikansi (p-value)	Efektivitas Eliminasi
	Rerata CFU/mL $\pm$ SD (n=9)	Rerata CFU/mL $\pm$ SD (n=9)		
<i>Salmonella sp.</i>	$1,89 \times 10^1 \pm 0,63$	$0,00 \pm 0,00$	0,017	100%
<i>Shigella sp.</i>	$2,01 \times 10^3 \pm 0,47$	$3,23 \times 10^2 \pm 1,29$	0,008	83,92%

Keterangan : Perhitungan menggunakan uji statistic *Wilcoxon Signed-Rank Test*

Uji Pewarnaan Gram

Koloni bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* yang diperoleh dari media *Salmonella Shigella Agar* selanjutnya dianalisis berdasarkan karakteristik warna yang terbentuk dengan

melakukan pewarnaan gram untuk determinasi jenis bakteri gram positif dan negatif, Dimana bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* merupakan jenis bakteri gram negatif dan menunjukkan hasil warna merah pada pewarnaan gram, terlihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil Determinasi Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.*

Keterangan : Hasil uji diamati menggunakan perbesaran 1000x dengan bantuan minyak emersi; determinasi menggunakan pewarnaan Gram dilakukan untuk memastikan bakteri yang didapat dari koloni yang dikultur pada media kultur merupakan bakteri ; A. *Salmonella sp.* dan B. *Shigella sp.* yang termasuk dalam bakteri gram negatif berbentuk basil.

Uji Identifikasi Biokimia Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp* Menggunakan IMVIC dan TSI

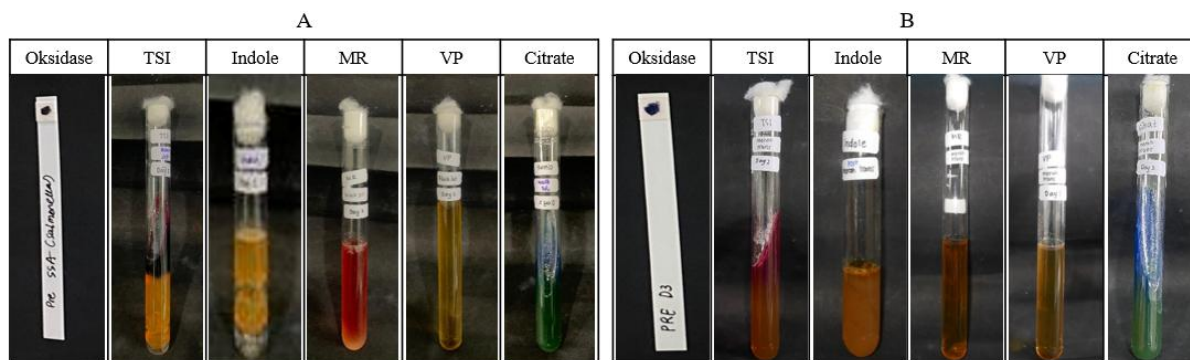
Identifikasi bakteri lebih lanjut dilakukan melalui serangkaian uji biokimia, yaitu uji *Triple Sugar Iron* (TSI) dan uji IMVIC (Indol, Methyl Red, Voges-Proskauer, dan Citrate). Uji ini bertujuan untuk mengonfirmasi karakteristik metabolik

bakteri serta membedakan antar spesies dalam kelompok *Enterobacteriaceae*. Hasil pengujian TSI memberikan informasi mengenai kemampuan fermentasi gula, produksi gas, dan pembentukan hidrogen sulfida (H_2S), sedangkan uji IMVIC digunakan untuk mengetahui profil biokimia spesifik masing-masing bakteri. Data hasil pengujian tersebut disajikan pada **Tabel 3** beserta gambar hasil pada **Gambar 3**.

Tabel 3. Hasil Uji Biokimia Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.*

Uji	Koloni dengan Pusat Hitam	Koloni Kecil, Halus, Tampak Pucat dan Bening	Keterangan
Oksidase	(-)	(+)	(+) : Terjadi perubahan warna menjadi dark purple dalam $\leq 30s$ (-) : Tidak terjadi perubahan warna
Indole	(-), Gas (+)	(-)	(+) : Terbentuk cincin merah di permukaan media (-) : Tidak terbentuk cincin merah di permukaan media
Methyl Red (MR)	(+)	(-)	(+) : Media berubah menjadi warna merah stabil menunjukkan fermentasi asam kuat (-) : Tidak terjadi perubahan warna (kuning/oranye)
Voges-Proskauer (VP)	(-)	(-)	(+) : Terjadi perubahan menjadi warna merah (-) : Tidak terjadi perubahan warna merah
Citrate	(+)	(+)	(+) : Terjadi perubahan warna media dari hijau menjadi biru menunjukkan pemanfaatan sitrat (-) : Media tetap berwarna hijau
Triple Sugar Iron (TSI)	K/A, Gas (+), H_2S (+)	K/A	(+) : Ditandai reaksi K/A (slant merah /alkali dan butt kuning/asam) (-) : reaksi A/A (slant kuning, butt kuning, menandakan fermentasi laktosa/sukrosa) atau K/K (slant merah, butt merah/tidak berubah)
Interpretasi	<i>Salmonella sp.</i>	<i>Shigella sp.</i>	

Keterangan : Gas (+) menunjukkan produksi gas, sedangkan H_2S (+) menunjukkan produksi hidrogen sulfida oleh bakteri *Salmonella sp.*; K/A pada uji TSI menunjukkan reaksi alkali pada *slant* dan asam pada *butt* menandakan fermentasi glukosa.



Gambar 3. Hasil Uji Biokimia *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.*

Keterangan : MR = Uji *Methyl Red*; VP = Uji *Voges-Proskauer*; Gambar A = Hasil uji biokimia bakteri *Salmonella sp.*; Gambar B = Hasil uji biokimia bakteri *Shigella sp.*

PEMBAHASAN

Profil Koloni Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada Air Limbah Rumah Sakit

Identifikasi awal menggunakan media *Salmonella Shigella Agar* (SSA) menunjukkan adanya koloni yang diduga sebagai *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* Koloni *Salmonella sp.* ditandai dengan pusat berwarna hitam akibat pembentukan H_2S , sedangkan *Shigella sp.* membentuk koloni kecil, bening, dan tidak menghasilkan H_2S (8). Selain itu, ditemukan koloni berwarna merah muda yang mengindikasikan keberadaan bakteri fermenter laktosa, seperti *Escherichia coli*. Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bahwa kedua isolat merupakan bakteri Gram-negatif berbentuk basil, sedangkan uji oksidase memberikan hasil negatif yang sesuai dengan karakteristik famili *Enterobacteriaceae*.

Identifikasi selanjutnya diperkuat melalui uji *Indole*, *Methyl Red*, *Voges-proskauer*, dan *Citrate* (IMVIC) serta *Triple Sugar Iron* (TSI). Isolat yang diduga sebagai *Salmonella sp.* menunjukkan pola biokimia yang sesuai dengan karakteristik spesies, yaitu *indole* negatif, *methyl red* positif, *Voges-Proskauer* negatif, *citrate* positif, serta pola TSI K/A dengan produksi gas dan H_2S . Sementara itu, isolat yang diduga sebagai *Shigella sp.* menunjukkan pola *indole* negatif, *methyl red* negatif, *Voges-Proskauer* negatif, *citrate* positif, dan TSI K/A tanpa produksi gas maupun H_2S . Perbedaan pola IMVIC pada isolat *Shigella sp.* dibandingkan karakteristik referensi diduga berkaitan dengan variasi isolat lingkungan atau keterbatasan identifikasi biokimia konvensional, sehingga diperlukan uji konfirmasi lanjutan (9).

Sebaran Bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada Saluran Pembuangan Air Limbah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa air limbah pada saluran pre-IPAL masih terkontaminasi oleh *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* Rerata jumlah *Salmonella sp.* sebesar $1,01 \times 10^1$ CFU/mL pada pre-IPAL dan tidak lagi terdeteksi pada post-IPAL,

dengan perbedaan yang bermakna secara statistik ($p = 0,017$). Temuan ini sejalan dengan penelitian yang melaporkan bahwa pada beberapa periode pengamatan *Salmonella sp.* tidak ditemukan pada efluen IPAL, meskipun pada periode tertentu masih terdeteksi hingga $3,29 \log$ CFU/mL, yang menunjukkan bahwa efektivitas pengolahan air limbah dapat berfluktuasi bergantung pada kondisi operasional instalasi (17). Berbeda dengan *Salmonella sp.*, rerata *Shigella sp.* menurun dari $1,35 \times 10^3$ CFU/mL menjadi $3,01 \times 10^1$ CFU/mL setelah pengolahan ($p = 0,008$). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa *Shigella sp.* masih ditemukan pada efluen setelah proses *tertiary treatment* berupa sinar UV dengan konsentrasi sekitar 10 CFU/mL (18).

Keberadaan *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada saluran pre-IPAL mengindikasikan bahwa air limbah rumah sakit masih menerima masukan mikroorganisme enterik yang berasal dari aktivitas pelayanan kesehatan, seperti limbah fekal pasien, ruang isolasi, laboratorium klinik, ruang tindakan, dan fasilitas sanitasi (19). Jumlah *Shigella sp.* yang lebih tinggi dibandingkan *Salmonella sp.* diduga berkaitan dengan manusia sebagai reservoir utama serta rendahnya dosis infeksi bakteri tersebut sehingga penularannya lebih efisien melalui jalur fekal-oral (20, 21), sedangkan keberadaan *Salmonella* non-tifoidal lebih bergantung pada kasus infeksi yang sedang dirawat karena bersifat zoonotik (22). Interpretasi hasil kultur juga perlu mempertimbangkan karakteristik media *Salmonella Shigella Agar* (SSA) yang memiliki *recovery rate* sekitar ≥ 30 –50% dibandingkan media non-selektif, sehingga jumlah koloni yang diperoleh merupakan bakteri yang berhasil tumbuh pada media selektif dan belum tentu mencerminkan jumlah bakteri sebenarnya dalam sampel limbah.

Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit tipe C

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) rumah sakit yang diteliti menerapkan *Activated Sludge Process* (ASP) sebagai pengolahan biologis sekunder yang dilanjutkan dengan klorinasi sebagai

proses desinfeksi tersier menggunakan dosis klorin sekitar 2–3 mg/L. Kombinasi kedua proses tersebut secara teoritis mampu menghilangkan lebih dari 99% bakteri apabila didukung oleh dosis klorin yang memadai, nilai *concentration* × *contact time* (CT) yang optimal, serta kualitas efluen yang baik (10). Namun, efektivitas klorinasi tidak hanya ditentukan oleh dosis klorin, melainkan juga dipengaruhi oleh waktu kontak, kadar bahan organik, dan *total suspended solids* (TSS) yang dapat meningkatkan *chlorine demand* serta menyebabkan *particle shielding effect*, sehingga menghambat kontak antara klorin dan bakteri (23). Beberapa penelitian melaporkan bahwa proses desinfeksi memerlukan CT minimal 15 mg Cl₂·menit/L dengan waktu kontak sekitar 30 menit untuk mencapai inaktivasi bakteri patogen secara optimal (10, 23). Oleh karena itu, masih terdeteksinya *Shigella sp.* sebesar $3,23 \times 10^2$ CFU/mL pada efluen IPAL diduga menunjukkan bahwa dosis efektif klorin yang diterima bakteri belum optimal akibat pengaruh waktu kontak, *chlorine demand*, maupun keberadaan padatan tersuspensi, meskipun selama penelitian tidak ditemukan indikasi kerusakan fisik maupun gangguan operasional pada unit IPAL. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun sistem IPAL telah mampu menurunkan jumlah bakteri patogen, optimalisasi proses desinfeksi masih diperlukan agar kualitas efluen memenuhi target penyisihan mikroorganisme yang direkomendasikan WHO, yaitu minimal 95% atau melalui tahapan pengolahan primer, sekunder, dan tersier yang berfungsi secara optimal (24).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa IPAL rumah sakit tipe C di Malang mengandung bakteri *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, dan *Escherichia coli*. Uji konfirmasi spesifik telah dilaksanakan melalui pewarnaan Gram, uji oksidase, uji IMVIC, dan uji *Triple Sugar Iron* (TSI) mengarah pada bakteri *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* Rerata jumlah *Salmonella sp.* dan *Shigella sp.* pada saluran menunjukkan perbedaan signifikan antara pre dan post-IPAL. Berdasarkan penilaian efektivitas, dapat disimpulkan bahwa IPAL efektif dalam mengeliminasi *Salmonella sp.*, namun kurang efektif dalam mengeliminasi *Shigella sp.*

SARAN

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena belum menganalisis faktor operasional IPAL seperti kadar residu klorin, waktu kontak desinfeksi, dan debit limbah yang dapat memengaruhi efektivitas eliminasi bakteri, serta jumlah sampel dan periode pengambilan yang masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode molekuler seperti PCR untuk identifikasi spesifik bakteri, serta menambahkan parameter operasional IPAL meliputi HRT, SRT, rasio F/M, kadar TSS, residu klorin bebas, nilai CT klorinasi, dan memperluas jumlah dan waktu pengambilan

sampel agar hasil lebih representatif. Hal ini penting sebagai upaya pengendalian risiko kesehatan lingkungan. Selain itu, peneliti menyarankan optimalisasi sistem IPAL terhadap pihak rumah sakit khususnya pada dosis klorin, waktu kontak desinfeksi, pemeliharaan sistem, serta monitoring mikrobiologis secara berkala untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah dan menurunkan risiko *waterborne disease*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ikatan Orang Tua Mahasiswa (IOM) atas dukungan pendanaan yang telah diberikan untuk pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga kepada pembimbing yang sudah membantu dalam penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada penguji yang telah berkenan menjadi *peer reviewer* serta memberikan masukan yang konstruktif dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

1. American Society for Microbiology. *Water, Waterborne Pathogens and Public Health: Environmental Drivers* [Internet]. Washington (DC): American Society for Microbiology; 2025 [cited 2026 Jul 13]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK621436/> doi:10.1128/AAMCol.Jun.6.2025
2. Olaolu TD. *Pollution Indicators and Pathogenic Microorganisms in Wastewater Treatment: Implication on Receiving Water Bodies*. International Journal of Environmental Protection and Policy. 2014;2(6):205.
3. Sukertiasih NK, Megawati F, Meriyani H, Sanjaya DA. *Studi retrospektif gambaran resistensi bakteri terhadap antibiotik*. Jurnal Ilmiah Medicamento. 2021 Sep 30;7(2):108-11.
4. Yuan, T, Pian Y, 2023. Hospital wastewater as hotspots for pathogenic microorganisms spread into aquatic environment: A review. *Frontiers in Environmental Science*. 2023 Jan 4;10:1091734.
5. Kementerian Kesehatan. Permenkes No. 2 Tahun 2023.
6. Karkman A, Do TT, Walsh F, Virta MP., 2018. Antibiotic-resistance genes in waste water. *Trends in microbiology*. 2018 Mar 1;26(3):220-8.
7. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Peraturan Menteri

- Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. In 2014.
8. Morse S A, Mietzner TA, Miller S, Riedel S., 2019. Jawetz Melnick & Adelbergs Medical Microbiology 28 e. *McGraw-Hill Education / Medical*.
 9. Cappuccino JG, Welsh C, 2019. Microbiology : a laboratory manual. *Pearson Education South Asia Ptd Ltd*. 2019.
 10. Ray C, Jain R. Low cost emergency water purification technologies: integrated water security series. *Butterworth-Heinemann*; 2014 Mar 24.
 11. Nugroho DB, Elvania NC, Purwaningrum SI. Analisis Efektivitas Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit X. *Jurnal EnviScience (Environment Science)*. 2025 Sep 30;9(2):237-52.
 12. Amin N, Foster T, Shimki NT, Willetts J. *Hospital wastewater (HWW) treatment in low-and middle-income countries: A systematic review of microbial treatment efficacy*. Science of the Total Environment. 2024 Apr 15;921:170994.
 13. Hariyadi A, Isworo S. Effectiveness and Optimization of Chlorine Tablets for Total Coliform Removal in Hospital Wastewater Effluent. *Asian Journal of Environment & Ecology*. 2025 Nov 8;24(11):94-110.
 14. Reynolds, J. (2005). Serial dilution protocols. *American Society for Microbiology (ASM)*. Available at: <https://asm.org/protocols/serial-dilution-protocols> (Accessed: 1 April 2026)
 15. Sri Wahyuni, Erina Erina, Mücide Ak, Fakhrurrazi Fakhrurrazi, Muhammad Jalaluddin and Teuku Zahrial Helmi (2022). Isolasi *Salmonella Sp.* dan Prevalensinya pada Tembolok (Ingluviens) Ayam Buras dan Ayam Ras di Pasar Ayam Peunayong Kota Banda Aceh (*Isolation of Salmonella sp. and Prevalence from Crops (Ingluviens) in Local Chicken and Broiler in Poultry Market Peunayong Banda Aceh*). *Jurnal Sain Veteriner*, 40(3), pp.314–314. doi:10.22146/jsv.64584.
 16. Ilma, L., Yayuk Putri Rahayu, D. Elysa Putri Mambang and Anny Sartika Daulay (2023). *Prevalensi bakteri Salmonella sp. pada daging ayam potong di pasar tradisional, pasar modern, dan merek terkenal di kota Medan*. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, pp.1842–1853. doi:10.36490/journal-jps.com.v6i4.330.
 17. Odjadjare, E., & Olaniran, A. (2015). Prevalence of Antimicrobial resistant and virulent salmonella spp. In Treated effluent and receiving aquatic milieu of Wastewater treatment plants in Durban, south Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9692–9713. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809692>
 18. Silas, S.S., Amarachukwu, E., Evuti, A.M., Babatunde, A.A., Ajoke, A.A. and Enumah, I.B. (2024). A Comparative Study Of Treated Wastewater Exiting Bioreactor And Uv Section Of Abuja Sewage Treatment Plant Wupa. *Explorematics Journal of Innovative Enginerring and Technology*, 2636 – 590.
 19. Dawan, J. and Ahn, J. (2022). Bacterial stress responses as potential targets in overcoming antibiotic resistance. *Microorganisms*, [online] 10(7), p.1385. doi:10.3390/microorganisms10071385
 20. Aslam, A. and Okafor, C.N. (2022). *Shigella (shigellosis)*. [online] *PubMed*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482337/> [Accessed 21 July 2026].
 21. Hale, T.L. and Keusch, G.T. (2015). *Shigella*. [online] *Nih.gov*. University of Texas Medical Branch at Galveston. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8038/> [Accessed 21 July 2026].
 22. Heredia, N. and García, S. (2018). Animals as sources of food-borne pathogens: A review. *Animal Nutrition*, [online] 4(3), pp.250–255. doi:10.1016/j.aninu.2018.04.006.
 23. Bhandari, G., Chaudhary, P., Gangola, S., Gupta, S., Gupta, A., Rafatullah, M. and Chen, S., 2023. A review on hospital wastewater treatment

- technologies: Current management practices and future prospects. *Journal of Water Process Engineering*, 56, p.104516.
24. Parida, V.K., Sikarwar, D., Majumder, A. and Gupta, A.K., 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, p.114609.