

Exploration and Antibacterial Potential of Native Bacterial Isolates from Aquatic Sediments and Palm Oil Mill Effluent (POME) Against Pathogenic Bacteria

Eksplorasi dan Potensi Antibakteri Isolat Bakteri dari Sedimen Perairan dan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) terhadap Bakteri Patogen

Karmadina ^a, Kristin Elisabet Desiana Turnip ^a, Meri Luqyana ^a, Dini Hasbillia ^a,
Hafiz Muchti Kurniawan ^a

^a Department of Pharmacy, Faculty of Medicine and Health Sciences, Universitas Adi Wangsa Jambi, Jambi City, Jambi, Indonesia.

*Corresponding Authors: karmadina25@gmail.com

Abstrak

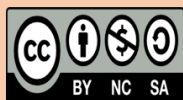
Resistensi antimikroba menjadi tantangan dalam pengembangan terapi antibakteri sehingga diperlukan eksplorasi sumber mikroorganisme baru penghasil senyawa antibakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi, mengisolasi, mengkarakterisasi, dan mengevaluasi potensi antibakteri bakteri indigenous dari sedimen Sungai Batanghari, Danau Sipin, sedimen mangrove, dan limbah cair kelapa sawit (palm oil mill effluent/POME) terhadap bakteri patogen. Isolat bakteri diperoleh melalui metode isolasi dan pemurnian, kemudian dilakukan karakterisasi morfologi, pewarnaan Gram, uji biokimia, serta pengujian aktivitas antibakteri menggunakan metode difusi cakram terhadap *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Salmonella Typhi*. Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi karakter morfologi dan fisiologi pada isolat dari berbagai sumber lingkungan. Beberapa isolat memiliki aktivitas antibakteri dengan tingkat penghambatan yang berbeda. Isolat SBHD 44 dan SBHD 67 menunjukkan aktivitas kuat terhadap *S. aureus*, sedangkan isolat LCM 7 dari POME menunjukkan aktivitas tertinggi terhadap *E. coli* dengan zona hambat 21,07 mm. Isolat dari Danau Sipin dan sedimen mangrove juga menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap bakteri uji tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimen akuatik dan POME berpotensi sebagai sumber bakteri indigenous penghasil senyawa antibakteri yang dapat dikembangkan lebih lanjut.

Kata kunci: bakteri indigenous, sedimen akuatik, POME, aktivitas antibakteri, bakteri patogen

Abstract

Antimicrobial resistance has become a major challenge, requiring exploration of new microbial sources for antibacterial compound discovery. This study aimed to explore, isolate, characterize, and evaluate the antibacterial potential of indigenous bacteria obtained from Batanghari River sediment, Lake Sipin sediment, mangrove sediment, and palm oil mill effluent (POME) against pathogenic bacteria. Bacterial isolates were obtained through isolation and purification methods, followed by morphological characterization, Gram staining, biochemical tests, and antibacterial activity evaluation using the disc diffusion method against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Salmonella Typhi*. The results showed diverse morphological and physiological characteristics among bacterial isolates from different environmental sources. Several isolates exhibited antibacterial activity with varying inhibition levels. Isolates SBHD 44 and SBHD 67 showed strong activity against *S. aureus*, while isolat LCM 7 from POME demonstrated the highest activity against *E. coli* with an inhibition zone of 21.07 mm. Several isolates from Lake Sipin and mangrove sediment also exhibited antibacterial activity against specific test bacteria. These findings indicate that aquatic sediments and POME are potential sources of indigenous bacteria producing antibacterial compounds for further investigation.

Keywords: indigenous bacteria, aquatic sediment, POME, antibacterial activity, pathogenic bacteria



Copyright © 2020 The author(s). You are free to : **Share** (copy and redistribute the material in any medium or format) and **Adapt** (remix, transform, and build upon the material) under the following terms: **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use; **NonCommercial** — You may not use the material for commercial purposes; **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original. Content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v9i3.1846>

Article History:

Received: 23/04/2026,
Revised: 18/08/2026,
Accepted: 19/08/2026,
Available Online: 20/08/2026.

QR access this Article



Pendahuluan

Resistensi antimikroba (antimicrobial resistance/AMR) merupakan salah satu tantangan kesehatan yang memerlukan pencarian sumber senyawa antimikroba baru. Peningkatan resistensi mendorong eksplorasi mikroorganisme dari berbagai lingkungan, termasuk perairan, sedimen, dan limbah, sebagai sumber potensial senyawa antimikroba. Interaksi antarmikroorganisme dalam lingkungan dapat bersifat kompetitif maupun antagonistik, dan kondisi antagonistik tersebut dapat mendorong mikroorganisme menghasilkan senyawa antimikroba yang mampu menghambat mikroorganisme lain [1,2].

Sedimen akuatik merupakan salah satu lingkungan yang potensial untuk eksplorasi bakteri indigenous karena memiliki kondisi lingkungan dan tekanan seleksi yang dapat mendukung keberadaan mikroorganisme dengan kemampuan antagonistik. Penelitian pada sedimen Sungai Batanghari menunjukkan adanya enam isolat yang mampu menghambat *Pseudomonas aeruginosa* dan *Staphylococcus aureus*, dengan isolat yang memiliki aktivitas terbesar diduga termasuk genus *Micrococcus* dan *Enterobacter*. Pada sedimen Danau Sipin diperoleh 11 isolat dengan variasi karakteristik morfologi dan biokimia yang menunjukkan adanya keragaman sifat fisiologis antarisolat. Potensi sedimen sebagai sumber bakteri antibakteri juga ditunjukkan pada sedimen mangrove, yang menghasilkan isolat dengan aktivitas penghambatan terhadap *Escherichia coli* [2–5].

Selain sedimen akuatik, palm oil mill effluent (POME) merupakan lingkungan dengan kandungan bahan organik kompleks yang berpotensi menjadi sumber mikroorganisme penghasil senyawa antimikroba. Penelitian terhadap bakteri yang diisolasi dari POME memperoleh tujuh isolat dominan, dengan enam isolat mampu menghambat pertumbuhan *Escherichia coli* dan empat isolat mampu menghambat *Pseudomonas aeruginosa*. Aktivitas tertinggi terhadap *E. coli* ditunjukkan oleh isolat LCM7 dengan zona hambat sebesar 21,07 mm, sedangkan aktivitas terhadap *P. aeruginosa* lebih rendah [4,5].

Meskipun penelitian terdahulu telah menunjukkan adanya bakteri dengan aktivitas antibakteri dari sedimen akuatik maupun POME, penelitian tersebut dilakukan pada sumber lingkungan yang berbeda secara terpisah. Eksplorasi bakteri indigenous dari sedimen akuatik dan POME dalam satu penelitian dapat memberikan gambaran mengenai keberadaan serta potensi antibakteri isolat yang berasal dari dua karakter lingkungan berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi dan mengisolasi bakteri indigenous dari sedimen akuatik dan POME, mengkarakterisasi isolat yang diperoleh, serta mengevaluasi potensi antibakterinya terhadap bakteri patogen.

Metode Penelitian

Objek Penelitian

Objek penelitian berupa isolat bakteri yang diperoleh dari limbah cair pabrik kelapa sawit (palm oil mill effluent/POME) PT Persada Alam Jaya, Kabupaten Tanjung Jabung Barat; sedimen Sungai Batanghari di Penyengat Rendah, Kota Jambi; sedimen Danau Sipin, Kota Jambi; dan sedimen mangrove di Kampung Laut, Kabupaten Tanjung Jabung Timur. Isolat selanjutnya dimurnikan, dikarakterisasi, dan diuji aktivitas antibakterinya.

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan pada empat lingkungan yang berbeda di Provinsi Jambi, yaitu limbah cair kelapa sawit (POME), sedimen Danau Sipin, sedimen Sungai Batanghari, dan

sedimen tanah mangrove. Penentuan lokasi dilakukan berdasarkan karakteristik lingkungan dan keberadaan aktivitas manusia di sekitar lokasi yang berpotensi memengaruhi keberagaman bakteri. Sampel limbah cair kelapa sawit (POME) diperoleh dari PT Persada Alam Jaya (PAJ), Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi, dengan koordinat -1.045188, 102.888857.

Sampel sedimen Danau Sipin diambil dari kawasan wisata Danau Sipin, Kelurahan Legok, Kecamatan Danau Sipin, Kota Jambi, pada dua titik pengambilan sampel. Titik pertama berada di area tepi danau yang relatif tenang dengan kondisi lingkungan lebih bersih dan minim sampah, pada koordinat 1°35'57.17"S, 103°34'46.01"E. Titik kedua berada di area tepi danau yang berdekatan dengan jembatan dan memiliki aktivitas manusia lebih tinggi, pada koordinat 1°36'03.87"S, 103°34'54.21"E. Sampel sedimen Sungai Batanghari diperoleh dari Sungai Batanghari, Penyengat Rendah, Kota Jambi, dengan titik koordinat 1°34'08.2"S, 103°33'02.4"E.

Sementara itu, sampel sedimen tanah mangrove diperoleh dari Kampung Laut, Majelis Hidayah, Kecamatan Kuala Jambi, Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Jambi, Indonesia. Pengambilan sampel dilakukan pada dua lokasi, yaitu SD Negeri 30 Kampung Laut dengan koordinat -1.032193532340105, 103.8088285 dan Wisata Kampung Laut Muara Sabak dengan koordinat -1.0316291300318543, 103.81050109863281. Seluruh sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan isolasi, karakterisasi, dan pengujian potensi antibakteri isolat bakteri yang diperoleh.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi autoklaf, batang L, batang pengaduk, pembakar Bunsen, botol sampel steril, cakram steril, cawan Petri, sentrifus LC04S (Oregon), kotak pendingin, labu Erlenmeyer, gelas beker dan labu ukur (Pyrex), gelas ukur, hot plate, inkubator IN-55 (Mettler), jangka sorong, jarum ose, laminar air flow (LAF), pengaduk magnetik, pH meter, plastik pembungkus, pipet tetes, pipet ukur, rak tabung reaksi, shaker (B-One), tabung reaksi (Pyrex), timbangan analitik, dan vortex (Biologix). Bahan penelitian meliputi sampel POME; aluminium foil; aseton; akuades; kultur uji *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, dan *Salmonella* Typhi ATCC 6539; glukosa; hidrogen peroksida (H₂O₂); kapas; kristal violet; larutan iodine; tisu; standar McFarland 0,5; NaCl 0,9%; Nutrient Agar (NA); Nutrient Broth (NB); cakram uji oksidase; safranin; Sulfide Indole Motility (SIM); dan Triple Sugar Iron Agar (TSIA).

Pengambilan Sampel

Sampel terdiri atas POME, sedimen Sungai Batanghari, sedimen Danau Sipin, dan sedimen mangrove. Sampel POME diambil satu kali sebanyak 250 mL dari kolam instalasi pengolahan air limbah PT Persada Alam Jaya menggunakan botol steril berkapasitas 1.000 mL. Sedimen Sungai Batanghari diambil pada tiga titik ketika air surut hingga kedalaman sekitar 10 cm, kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel steril [6,7].

Sampel sedimen Danau Sipin diambil dari tepi danau menggunakan metode yang dimodifikasi dari Lastri Gintoe et al. Sedimen diambil pada kedalaman sekitar 10 cm menggunakan alat yang telah dibersihkan. Sampel sedimen mangrove dikumpulkan ketika air surut. Pada setiap titik, sekitar 100 g sedimen diambil dari kedalaman sekitar 10 cm menggunakan sekop yang telah dibersihkan, kemudian dimasukkan secara terpisah ke dalam wadah steril berkapasitas 1.000 mL. Seluruh sampel dibawa ke laboratorium dalam kondisi dingin dan disimpan pada suhu 4 °C hingga digunakan [8,9].

Pembuatan Suspensi Sampel

Sebanyak 10 mL sampel dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi 90 mL larutan NaCl fisiologis 0,85%, kemudian dihomogenisasi menggunakan shaker pada 130 rpm. Selanjutnya, 1 mL suspensi diencerkan secara bertingkat dalam 9 mL larutan NaCl fisiologis hingga diperoleh pengenceran 10⁻¹–10⁻⁶ [10].

Isolasi dan Pemurnian Bakteri

Isolasi bakteri dilakukan menggunakan metode pour plate. Sebanyak 1 mL suspensi diinokulasikan ke dalam cawan Petri steril, kemudian diinkubasi selama 48–72 jam. Koloni dengan perbedaan warna, bentuk, atau karakter morfologi lainnya dipilih dan dimurnikan menggunakan metode quadrant streak plate hingga diperoleh koloni tunggal [11,12].

Karakterisasi Bakteri

Karakterisasi makroskopis dilakukan dengan mengamati bentuk, warna, tepian, elevasi, dan permukaan koloni. Karakterisasi mikroskopis dilakukan melalui pewarnaan Gram untuk mengamati morfologi sel dan menentukan reaksi Gram isolat [13,14].

Uji Biokimia

1. Uji Motilitas

Isolat diinokulasikan secara tusukan ke dalam medium semi solid Sulfide Indole Motility (SIM) dan diinkubasi selama 24-48 jam [15].

2. Uji Oksidase

Cakram uji oksidase diambil menggunakan pinset steril. Isolat bakteri kemudian digoreskan pada cakram menggunakan jarum ose steril, lalu perubahan warna yang terjadi diamati [16].

3. Uji Katalase

Satu ose kultur bakteri diletakkan pada kaca objek, kemudian ditetesi H₂O₂ 3%. Terbentuknya gelembung gas menunjukkan hasil katalase positif [17].

4. Uji TSIA

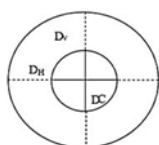
Isolat diinokulasikan pada medium TSIA menggunakan jarum ose steril dengan cara menusukkan ose ke dasar medium, kemudian menggoreskannya pada permukaan miring. Kultur diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24-48 jam [16].

Uji Aktivitas Antibakteri

Pengujian aktivitas antibiotik menggunakan *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhi* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Suspensi bakteri dan isolat disesuaikan dengan standar McFarland (1,5 × 10⁸ CFU/mL), kemudian dikultur dalam 100 mL Nutrient Broth (NB) dan glukosa 1% selama 48-72 jam menggunakan shaker. Kultur disentrifugasi pada 4000 rpm selama 30 menit, lalu supernatan diuji dengan metode difusi cakram steril yang direndam menggunakan semua isolat [18].

$$\frac{(D_v - D_c) + (D_h - D_c)}{2}$$

Suspensi bakteri uji disebarkan pada medium NA menggunakan batang L. Cakram steril yang telah direndam dalam supernatan setiap isolat diletakkan secara aseptis bersama kontrol positif, masing-masing dalam tiga ulangan. Medium diinkubasi pada suhu 37 °C dengan ketebalan agar 4 mm. Zona bening di sekitar cakram diukur menggunakan jangka sorong. Cakram kosong digunakan sebagai kontrol negatif, sedangkan cakram siprofloksasin digunakan sebagai kontrol positif. Aktivitas penghambatan diklasifikasikan berdasarkan diameter zona hambat, pengujian aktivitas antibakteri dilakukan dengan tiga kali ulangan teknis (triplo) untuk setiap isolat terhadap masing-masing bakteri uji [18].



Dv = Diameter vertikal

Dc = Diameter cakram

Dh = Diameter horizontal

Gambar 1. Skema pengukuran diameter zona hambat.

Analisis Data

Data diameter zona hambat dianalisis menggunakan analisis varians satu arah (one-way ANOVA) pada perangkat lunak SPSS untuk menilai perbedaan antarperlakuan. Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), dilakukan uji lanjutan Tukey HSD (Honestly Significant Difference) untuk mengidentifikasi pasangan perlakuan yang berbeda secara nyata. Hasil uji post hoc disajikan dalam bentuk huruf superscript yang menunjukkan pengelompokan berdasarkan kesamaan nilai rata-rata.

Kategori Aktivitas Antibakteri

Aktivitas penghambatan suatu agen antibakteri diklasifikasikan berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar cakram, mengacu pada kategori yang telah ditetapkan oleh Davis dan Stout [19]. Klasifikasi tersebut meliputi kategori sangat kuat apabila diameter zona hambat lebih dari 20 mm, kategori

kuat untuk diameter antara 10 hingga 20 mm, kategori sedang untuk diameter 5 hingga 10 mm, serta kategori lemah apabila diameter zona hambat kurang dari 5 mm. Pengukuran zona hambat dilakukan dengan menghitung rata-rata diameter vertikal dan horizontal setelah dikurangi dengan diameter cakram standar sebesar 6 mm, sesuai dengan rumus yang telah disajikan sebelumnya.

Hasil dan Pembahasan

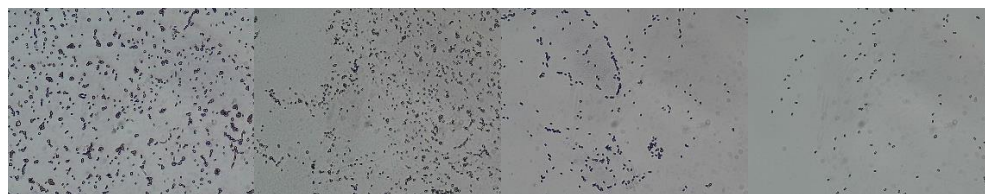
Karakterisasi dan Morfologi Bakteri

Isolat bakteri dominan yang berhasil diperoleh diamati secara makroskopis dan mikroskopis. Karakteristik morfologi yang diamati meliputi warna, bentuk, tepian, elevasi, dan permukaan koloni. Pewarnaan Gram dilakukan untuk mengamati morfologi sel dan membedakan isolat Gram-positif dari Gram-negatif. Hasil karakterisasi disajikan pada Tabel 1.

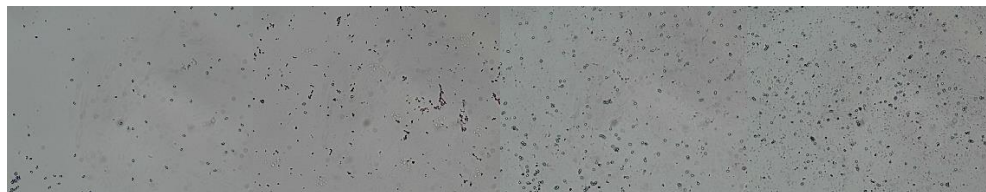
Tabel 1. Karakteristik makroskopis dan mikroskopis isolat bakteri.

Isolat	Kode Isolat	Warna	Bentuk Koloni	Tepi	Elevasi	Permukaan	Bentuk Sel	Uji Gram
SBHD	SBHD 21	Cream	Circular	Entire	Convex	Slimy	Kokus	-
	SBHD 25	Cream	Circular	Entire	Convex	Slimy	Kokus	+
	SBHD 28	Cream	Irregular	Undulate	Flat	Dry	Kokus	+
	SBHD 42	White	Irregular	Entire	Flat	Dry	Kokus	+
	SBHD 44	White	Circular	Entire	Flat	Shiny	Basil	-
	SBHD 49	Cream	Irregular	Entire	Convex	Dry	Kokus	+
	SBHD 67	Cream	Filamentous	Filamentous	Flat	Dry	Kokus	+
	SBHD 68	Cream	Circular	Entire	Flat	Dry	Kokus	+
LCM	LCM 1	White	Spindle	Erose	Raised	Dry	Monobasil	-
	LCM 2	White	Circular	Entire	Flat	Dry	Streptokokus	-
	LCM 3	White	Punctiform	Entire	Raised	Dry	Streptobasil	-
	LCM 4	White	Irregular	Undulate	Flat	Dry	Basil	-
	LCM 5	White	Irregular	Lobate	Raised	Dry	Monobasil	-
	LCM 6	White	Circular	Entire	Flat	Dry	Kokus	-
	LCM 7	White	Irregular	Undulate	Raised	Dry	Kokus	-
DSP	DSP 1	White	Circular	Undulate	Convex	Dry	Monokokus	-
	DSP 2	White	Spindle	Erose	Raised	Dry	Basil	+
	DSP 3	White	Punctiform	Undulate	Raised	Dry	Monokokus	+
	DSP 4	White	Irregular	Undulate	Flat	Dry	Monokokus	+
	DSP 5	White	Irregular	Lobate	Flat	Dry	Monokokus	+
	DSP 6	White	Circular	Undulate	Raised	Dry	Streptobasil	+
	DSP 7	White	Punctiform	Erose	Flat	Dry	Streptobasil	+
	DSP 8	White	Punctiform	Erose	Flat	Dry	Monokokus	+
	DSP 9	White	Circular	Entire	Raised	Dry	Basil	-
	DSP 10	Cream	Irregular	Undulate	Raised	Dry	Kokus	+
	DSP 11	Cream	Irregular	Erose	Raised	Dry	Streptokokus	+
MrT	MrT 66	Yellow	Irregular	Entire	Flat	Dry		-
	MrT 75	Yellow	Round	Smooth	Convex	Dry		-
	MrT 36	White	Round	Entire	Flat	Dry		-
	MrT 31	White	Irregular	Lobate	Flat	Shiny		+
	MrT 15	Yellow	Rhizoid	Lobate	Convex	Dry		-
	MrT 21	White	Irregular	Lobate	Convex	Dry		-
	MrT 70	Yellow	Round	Undulate	Umbonate	Shiny		-
	MrT 12	Yellow	Filamentous	Filamentous	Flat	Dry		-
	MrT 51	Yellow	Irregular	Undulate	Flat	Dry		-
	MrT 6	White	Irregular	Undulate	Flat	Shiny		-
	MrT 11	White	Round	Filamentous	Flat	Dry		+

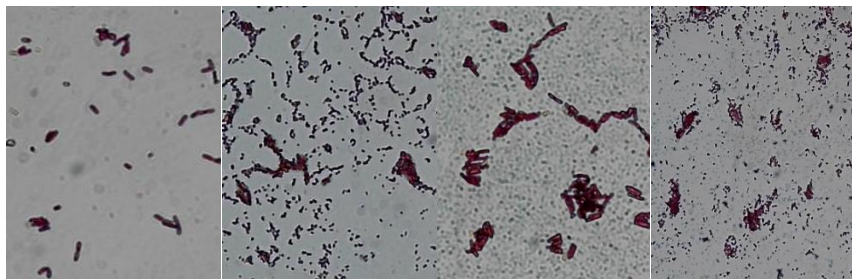
Berdasarkan Tabel 1, isolat menunjukkan keragaman morfologi sel dan reaksi Gram. Dokumentasi hasil pengamatan mikroskopis disajikan pada Gambar 2–4.



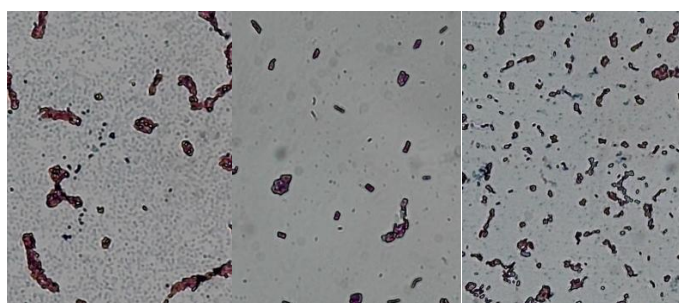
SBHD 21 SBHD 25 SBHD 28 SBHD 42



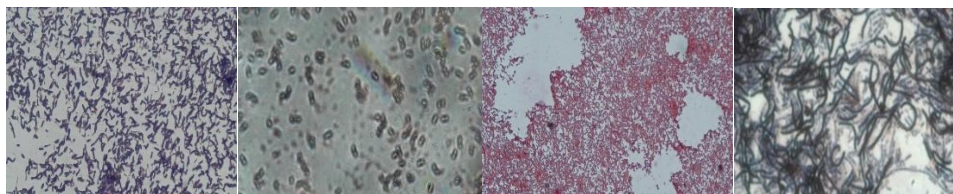
SBHD 44 SBHD 49 SBHD 67 SBHD 68



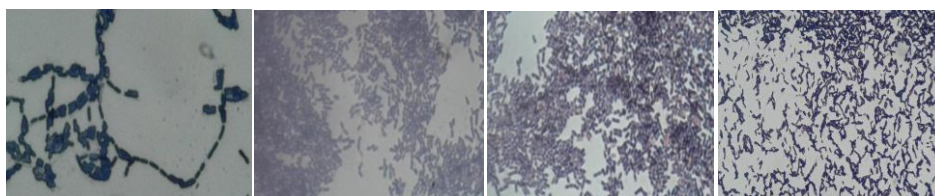
LCM1 LCM2 LCM3 LCM4



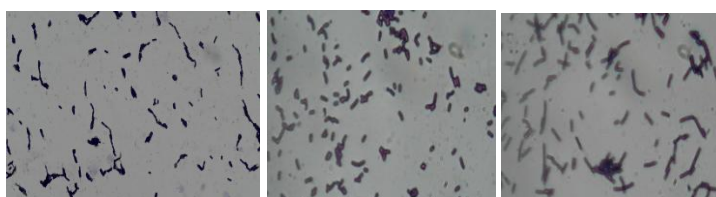
LCM5 LCM6 LCM7



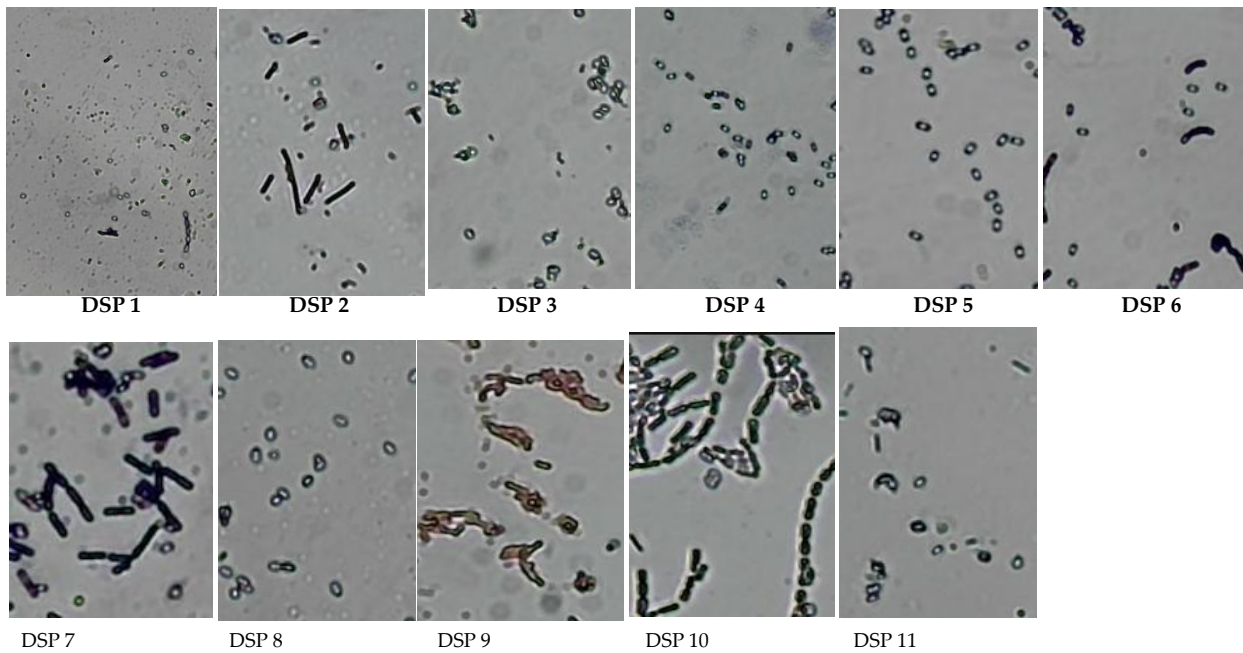
MrT 6 MrT 11 MrT 12 MrT 15



MrT 31 MrT 21 MrT 36 MrT 51



MrT 70 MrT 66 MrT 75



Uji Biokimia

Tabel 2. Hasil uji biokimia isolat bakteri.

Isolat	Kode Isolat	Uji Biokimia			
		Motilitas	Katalase	Oksidase	TSIA
SBHD	SBHD 21	-	+	+	K/K
	SBHD 25	+	+	+	K/K
	SBHD 28	-	-	-	K/K
	SBHD 42	-	-	+	K/A
	SBHD 44	+	-	-	K/K
	SBHD 49	-	+	+	K/K
	SBHD 67	-	+	-	A/K
	SBHD 68	-	+	-	A/K
LCM	LCM 1	-	+	+	K/A
	LCM 2	-	+	+	K/A
	LCM 3	-	+	+	K/A
	LCM 4	-	+	-	K/A
	LCM 5	-	+	+	K/A
	LCM 6	-	+	+	K/A
	LCM 7	-	+	-	K/A
DSP	DSP 1	+	-	-	K/K
	DSP 2	+	+	+	K/K
	DSP 3	-	-	+	A/A
	DSP 4	-	-	+	K/A
	DSP 5	-	-	+	K/A
	DSP 6	-	-	+	K/A
	DSP 7	-	-	+	K/A
	DSP 8	-	-	+	A/A
	DSP 9	+	+	+	A/A
	DSP 10	+	-	+	K/A
	DSP 11	+	-	+	A/A
MRT	MrT 66	-	-	+	A/A
	MrT 75	-	-	+	A/A
	MrT 36	-	-	+	K/A
	MrT 31	-	+	-	A/A
	MrT 15	-	-	+	A/A
	MrT 21	-	-	-	A/A
	MrT 70	-	-	+	A/A
	MrT 12	-	-	+	A/A
	MrT 51	-	-	-	A/A
	MrT 6	-	-	+	K/A
	MrT 11	-	+	+	K/A

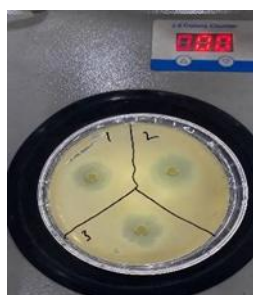
Kategorierangan: K = Basa (media berwarna merah)
A = Asam (media berwarna kuning)

Uji Aktivitas Antibakteri

Tabel 3. Hasil pengukuran diameter zona hambat isolat bakteri.

Bakteri Uji	Kode Isolat	Rata-rata Diameter Zona Hambat			Rata-rata	Kategori
		P1 (mm)	P2 (mm)	P3(mm)		
<i>Staphylococcus aureus</i>	SBHD 25	8,25	7,75	7,75	7,91	Sedang
	SBHD 44	16,85	17,85	16,42	17,04	Kuat
	SBHD 49	2,15	2,32	0,95	2,71	Lemah
	SBHD 67	14,77	8,95	18,55	13,92	Kuat
	K(+)			21,10		Sangat Kuat
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SBHD 28	1,55	2,15	0,72	1,44	Lemah
	SBHD 68	2,15	0,05	0,05	0,75	Lemah
	K(+)			34,68		Sangat Kuat
<i>Escherichia coli</i>	LCM1	11,40	14,90	12,40	12,90	Kuat
	LCM2	10,90	24,42	18,40	17,91	Kuat
	LCM3	13,92	4,90	21,42	13,41	Kuat
	LCM4	17,90	21,90	18,40	19,40	Kuat
	LCM6	14,40	15,90	21,40	17,23	Kuat
	LCM7	21,42	22,90	18,90	21,07	Sangat Kuat
	K(+)			28,25		Sangat Kuat
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	LCM2	0,55	0,65	0,57	0,59	Lemah
	LCM5	0,60	0,60	0,60	0,60	Lemah
	LCM6	0,70	0,70	0,70	0,70	Lemah
	LCM7	0,70	0,60	0,60	0,63	Lemah
<i>Salmonella Typhi</i>	K(+)			34,68		Sangat Kuat
	DSP 3			7,07		Sedang
	DSP 4			4,26		Lemah
	DSP 8			8,70		Lemah
	DSP 9			3,85		Sedang
	DSP 10			5,87		Sedang
	K(+)			28,15		Sangat Kuat
<i>Staphylococcus aureus</i>	DSP 3			3,30		Lemah
	DSP 5			24,1		Sangat Kuat
	DSP 7			2,65		Lemah
	DSP 9			3,44		Lemah
	DSP 11			4,68		Lemah
	K(+)			21,10		Sangat Kuat
<i>Escherichia coli</i>	MrT 6			0,58		Lemah
	MrT 36			0,76		Sangat Kuat
	K(+)			28,35		Sangat Kuat

Pengujian isolat dari sedimen Sungai Batanghari menunjukkan bahwa empat isolat mampu menghambat *Staphylococcus aureus* dan dua isolat mampu menghambat *Pseudomonas aeruginosa*. Dokumentasi zona hambat disajikan pada Gambar 5.



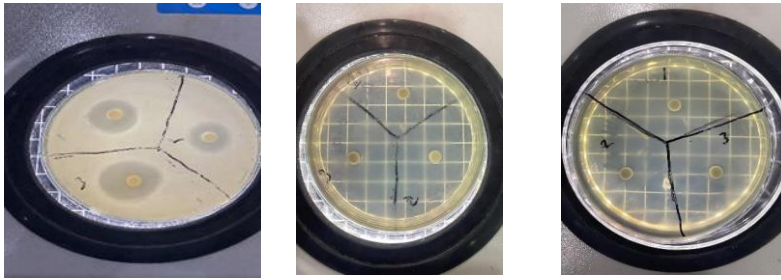
SBHD 25 (S.A)



SBHD 44 (S.A)



SBHD 49 (S.A)



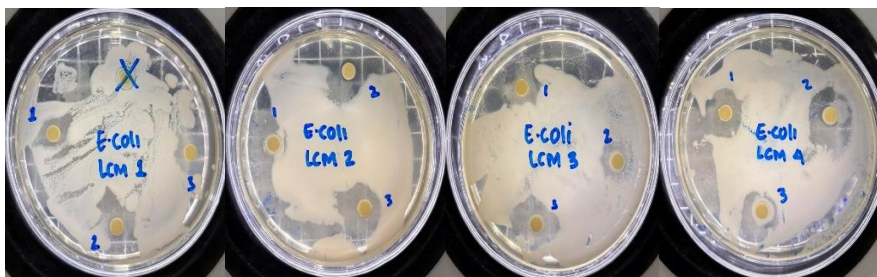
SBHD 67 (S.A)

SBHD 28 (P.A)

SBHD 68 (P.A)

Gambar 5. Hasil uji aktivitas antibakteri isolat dari sedimen Sungai Batanghari.

Berdasarkan Tabel 3, isolat LCM menunjukkan aktivitas penghambatan yang bervariasi. Aktivitas tertinggi terhadap *Escherichia coli* ditunjukkan oleh isolat LCM7, sedangkan isolat LCM2, LCM5, LCM6, dan LCM7 hanya menunjukkan aktivitas lemah terhadap *Pseudomonas aeruginosa*. Dokumentasi hasil pengujian disajikan pada Gambar 6.



LCM1 *E. coli*

LCM2 *E. coli*

LCM3 *E. coli*

LCM4 *E. coli*



LCM6 *E. coli*

LCM7 *E. coli*

LCM2 *Pseudomonas*



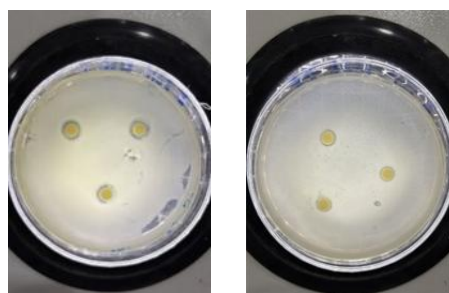
LCM5 *Pseudomonas*

LCM6 *Pseudomonas*

LCM7 *Pseudomonas*

Gambar 6. Hasil uji aktivitas antibakteri isolat dari limbah cair pabrik kelapa sawit.

Sebelas isolat bakteri asal sedimen mangrove, hanya isolat MrT6 dan MrT36 yang membentuk zona bening terhadap *Escherichia coli*.

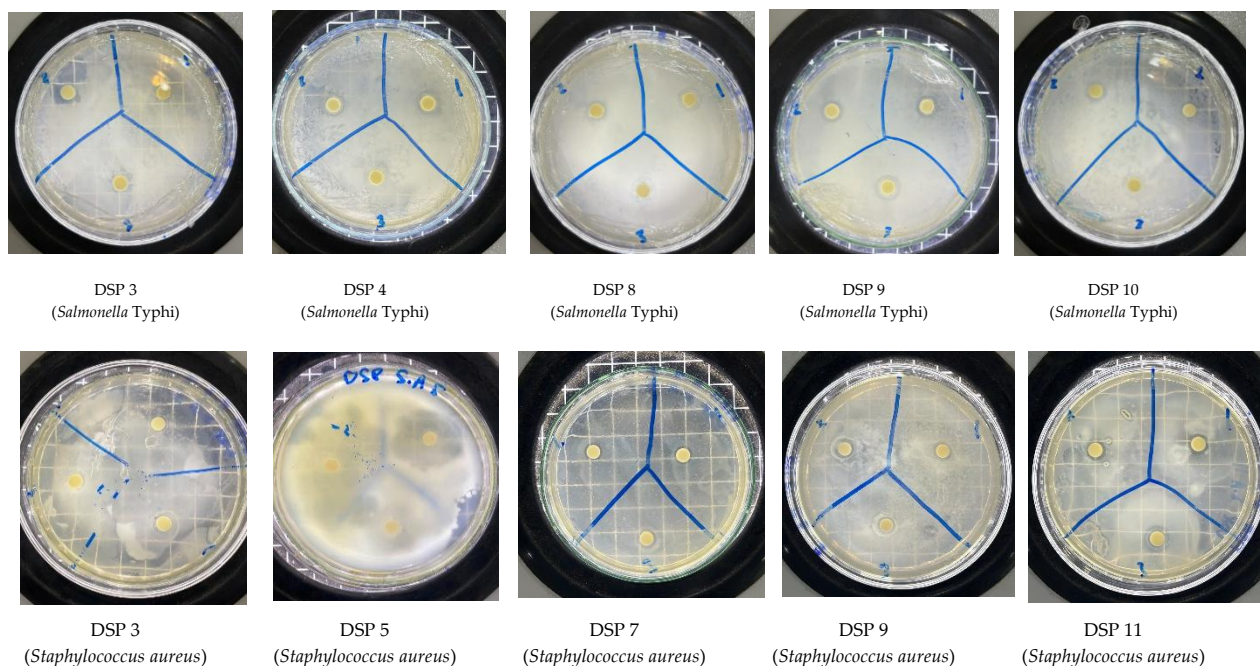


MrT 6 E.coli

MrT 36 E.coli

Gambar 7. Hasil uji aktivitas antibakteri isolat dari sedimen mangrove.

Sebanyak sebelas isolat bakteri asal sedimen Danau Sipin, delapan isolat, yaitu DSP3, DSP4, DSP5, DSP7, DSP8, DSP9, DSP10, dan DSP11, membentuk zona hambat terhadap bakteri uji.

DSP 3
(*Salmonella Typhi*)DSP 4
(*Salmonella Typhi*)DSP 8
(*Salmonella Typhi*)DSP 9
(*Salmonella Typhi*)DSP 10
(*Salmonella Typhi*)DSP 3
(*Staphylococcus aureus*)DSP 5
(*Staphylococcus aureus*)DSP 7
(*Staphylococcus aureus*)DSP 9
(*Staphylococcus aureus*)DSP 11
(*Staphylococcus aureus*)

Pada seluruh pengujian, cakram kosong (kontrol negatif) tidak menunjukkan zona hambat di sekitar cakram, mengindikasikan tidak adanya aktivitas antibakteri dari pelarut atau cakram itu sendiri. Sebaliknya, cakram siprofloksasin (kontrol positif) menunjukkan zona hambat yang konsisten dengan standar yang telah dilaporkan untuk masing-masing bakteri uji. Hasil ini menegaskan bahwa zona hambat yang terbentuk pada perlakuan isolat berasal dari senyawa antibakteri yang dihasilkan oleh isolat, bukan dari faktor teknis lainnya.

Table 4. Hasil Uji Lanjutan Tukey HSD untuk Perbedaan Aktivitas Antibakteri Antarkelompok Isola.

Bakteri Uji	Kelompok Perlakuan	Rata-rata Zona Hambat (mm)	Pengelompokan Tukey HSD*
<i>E. coli</i>	LCM7	21,07 ± 1,89	a
	LCM4	19,40 ± 2,08	ab
	LCM2	17,91 ± 5,54	ab
	LCM6	17,23 ± 3,08	ab
	LCM3	13,41 ± 6,85	b
	LCM1	12,90 ± 1,52	b
	K(+)	28,25 ± 1,20	c
<i>S. aureus</i>	SBHD 44	17,04 ± 0,73	a
	SBHD 67	13,92 ± 4,83	a
	SBHD 25	7,91 ± 0,29	b
	SBHD 49	2,71 ± 0,79	c
	K(+)	21,10 ± 0,85	d

*Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$)

Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok isolat dalam menghambat masing-masing bakteri uji ($p < 0,05$). Uji lanjutan Tukey HSD mengungkapkan bahwa isolat LCM7 menunjukkan aktivitas yang signifikan lebih tinggi terhadap *E. coli* dibandingkan isolat LCM lainnya ($p < 0,05$). Demikian pula, isolat SBHD 44 dan SBHD 67 menunjukkan aktivitas yang signifikan lebih tinggi terhadap *S. aureus* dibandingkan isolat SBHD 25 dan SBHD 49 ($p < 0,05$).

Pembahasan

Eksplorasi bakteri indigenous dari lingkungan akuatik dan limbah industri merupakan salah satu upaya untuk memperoleh mikroorganisme dengan karakter fisiologis, kemampuan metabolisme, dan potensi bioaktif yang beragam [20]. Sedimen Sungai Batanghari, Danau Sipin, mangrove, dan limbah cair pabrik kelapa sawit atau palm oil mill effluent (POME) memiliki kondisi lingkungan yang berbeda, terutama dalam hal ketersediaan nutrisi, kandungan bahan organik, oksigen, serta tekanan ekologis yang diterima oleh komunitas mikroba. Perbedaan kondisi tersebut dapat memengaruhi komposisi bakteri yang mampu bertahan dan tumbuh pada masing-masing habitat. Penelitian menunjukkan bahwa kondisi fisikokimia sedimen mangrove berpengaruh terhadap keragaman bakteri indigenous yang ditemukan, baik pada lokasi alami maupun lokasi yang mengalami pencemaran. Kondisi lingkungan yang berbeda juga dapat menjadi faktor seleksi yang memungkinkan berkembangnya bakteri dengan kemampuan adaptasi dan metabolisme tertentu. Oleh karena itu, penggunaan beberapa sumber lingkungan dalam penelitian ini dapat memperluas peluang diperolehnya isolat bakteri dengan karakter fenotipik dan potensi antibakteri yang berbeda [20].

Hasil isolasi dari sedimen Sungai Batanghari, Danau Sipin, sedimen mangrove, dan POME menunjukkan adanya variasi karakter morfologi koloni, meliputi bentuk, warna, permukaan, tepian, dan elevasi. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya keragaman fenotipik antarisolat yang berhasil tumbuh pada media kultur. Karakter morfologi koloni dapat digunakan sebagai tahap awal untuk mengelompokkan dan membedakan isolat sebelum dilakukan pengujian fisiologis maupun identifikasi molekuler. Namun, karakter morfologi tidak dapat dijadikan dasar tunggal dalam menentukan identitas bakteri karena sifat tersebut dapat dipengaruhi oleh komposisi media, kondisi inkubasi, umur kultur, dan faktor lingkungan lainnya. Keragaman bakteri indigenous pada sedimen mangrove juga telah dibuktikan oleh, yang menemukan puluhan isolat dengan karakter dan identitas yang berbeda melalui pendekatan kultur maupun molekuler. Dengan demikian, variasi morfologi yang ditemukan dalam penelitian ini dapat dipandang sebagai indikator awal adanya keragaman bakteri, tetapi masih memerlukan karakterisasi lebih lanjut untuk memastikan identitas dan hubungan antarisolat [20,21].

Perbedaan karakter pewarnaan Gram yang ditemukan pada berbagai sumber isolat juga memperlihatkan adanya keragaman kelompok bakteri yang berhasil dikultur. Isolat dari sedimen Sungai Batanghari lebih didominasi oleh bakteri berbentuk kokus dan Gram-positif, sedangkan isolat dari sedimen mangrove yang digunakan dalam penelitian menunjukkan dominasi Gram-negatif. Sedimen Danau Sipin menunjukkan kecenderungan dominasi Gram-positif, sementara isolat dari POME menunjukkan karakter Gram-negatif. Perbedaan tersebut dapat mencerminkan perbedaan kelompok bakteri yang mampu beradaptasi dan tumbuh pada kondisi masing-masing habitat. Menurut Struktur sel bakteri Gram-positif yang memiliki lapisan peptidoglikan relatif tebal berbeda dengan bakteri Gram-negatif yang mempunyai lapisan peptidoglikan lebih tipis dan membran luar yang mengandung lipopolisakarida. Perbedaan struktur tersebut dapat memengaruhi interaksi bakteri dengan lingkungan maupun responsnya terhadap senyawa antimikroba. Namun, proporsi Gram yang diperoleh dari metode kultur tidak dapat secara langsung dianggap menggambarkan keseluruhan komunitas bakteri pada habitat karena hanya bakteri yang mampu tumbuh pada kondisi kultur yang akan terdeteksi. Hal tersebut diperkuat oleh yang menunjukkan adanya perbedaan jumlah dan komposisi bakteri ketika sedimen dianalisis menggunakan metode kultur dibandingkan pendekatan molekuler.

Karakterisasi biokimia melalui uji katalase, oksidase, motilitas, dan TSIA menunjukkan adanya variasi kemampuan fisiologis antarisolat. Perbedaan hasil katalase menunjukkan bahwa tidak semua isolat memiliki aktivitas enzimatis yang sama dalam menguraikan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Aktivitas katalase berhubungan dengan kemampuan mikroorganisme dalam menghadapi tekanan oksidatif yang dihasilkan selama proses metabolisme aerob. Sementara itu, perbedaan hasil uji oksidase menunjukkan adanya variasi sistem respirasi antarisolat yang berkaitan dengan keberadaan enzim dalam rantai transport elektron. Hasil uji motilitas juga menunjukkan bahwa sebagian isolat mempunyai kemampuan bergerak, sedangkan isolat lainnya tidak menunjukkan penyebaran pertumbuhan pada media uji. Perbedaan tersebut dapat berkaitan dengan keberadaan atau tidaknya struktur pergerakan seperti flagela. Selanjutnya, variasi

hasil TSIA menunjukkan bahwa setiap isolat memiliki kemampuan yang berbeda dalam memanfaatkan karbohidrat sebagai sumber energi. Dengan demikian, kombinasi hasil uji biokimia tersebut memperlihatkan adanya perbedaan kemampuan metabolik antarisolat yang dapat digunakan sebagai karakterisasi fenotipik awal sebelum dilakukan identifikasi molekuler [20,22].

Perbedaan karakter fisiologis tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi habitat asal bakteri. Sedimen sungai dan danau merupakan lingkungan yang menerima masukan bahan organik dan nutrisi dari lingkungan sekitarnya, sedangkan sedimen mangrove mempunyai kondisi yang lebih kompleks karena dipengaruhi oleh interaksi antara lingkungan darat dan perairan serta perubahan karakter fisikokimia. Tuasalamony et al. [20] melaporkan bahwa variasi kondisi fisikokimia antara sedimen mangrove alami dan tercemar berkaitan dengan perbedaan keragaman bakteri indigenous yang ditemukan. Sementara itu, POME merupakan limbah dengan kandungan bahan organik dan minyak yang tinggi sehingga dapat menjadi lingkungan selektif bagi mikroorganisme yang mampu memanfaatkan atau mentoleransi komponen tersebut. Suhendar et al. [22] melaporkan bahwa *Bacillus velezensis* memiliki aktivitas lipase dan mampu menghidrolisis kandungan minyak pada POME, sehingga menunjukkan bahwa bakteri dapat memiliki kemampuan metabolik yang sesuai untuk memanfaatkan komponen tertentu pada limbah tersebut. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa POME tidak hanya dapat dipandang sebagai sumber limbah, tetapi juga sebagai habitat yang berpotensi mengandung bakteri dengan kemampuan metabolik tertentu.

Eksplorasi dari beberapa habitat dalam penelitian ini selanjutnya menunjukkan bahwa tidak seluruh isolat memiliki kemampuan antibakteri. Hasil pengujian memperlihatkan adanya variasi aktivitas penghambatan terhadap bakteri patogen, baik dari segi jumlah isolat yang aktif maupun besarnya diameter zona hambat. Isolat dari Sungai Batanghari menunjukkan aktivitas terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*, sedangkan isolat Danau Sipin menunjukkan aktivitas terhadap *Salmonella Typhi* dan *S. aureus*. Isolat yang diperoleh dari POME menunjukkan aktivitas terhadap *Escherichia coli* dan *P. aeruginosa*. Sementara itu, dari sebelas isolat sedimen mangrove, hanya MrT6 dan MrT36 yang menunjukkan aktivitas terhadap *E. coli*, dengan diameter zona hambat masing-masing $2,84 \pm 0,58$ mm dan $1,70 \pm 0,76$ mm. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan antibakteri merupakan karakter spesifik pada isolat tertentu dan tidak selalu berhubungan dengan jumlah isolat yang diperoleh dari suatu habitat [5].

Adanya aktivitas antibakteri pada sebagian isolat menunjukkan adanya kemungkinan produksi senyawa bioaktif oleh bakteri indigenous. Senyawa tersebut dapat berupa metabolit sekunder, bakteriosin, lipopeptida, maupun kelompok senyawa lain yang mempunyai aktivitas penghambatan terhadap bakteri target. Widayat et al. [5] menemukan bahwa bakteri yang diisolasi dari sedimen mangrove memiliki aktivitas antibakteri terhadap *E. coli* dan *S. aureus*. Salah satu isolat menunjukkan zona hambat sebesar $28,05 \pm 0,9192$ mm terhadap *E. coli* dan $23,45 \pm 10,2530$ mm terhadap *S. aureus*. Penelitian tersebut juga mengidentifikasi *Bacillus velezensis*, *Bacillus subtilis*, dan *Bacillus amyloliquefaciens* sebagai bakteri potensial serta menemukan gen NRPS dan PKS pada beberapa isolat. Temuan tersebut memperkuat bahwa bakteri sedimen merupakan salah satu sumber yang potensial untuk eksplorasi metabolit antibakteri.

Perbedaan diameter zona hambat yang diperoleh antarisolat menunjukkan bahwa kemampuan menghasilkan aktivitas antibakteri tidak seragam. Isolat dari Sungai Batanghari menunjukkan aktivitas relatif tinggi terhadap *S. aureus*, sedangkan isolat MrT6 dan MrT36 dari sedimen mangrove hanya menunjukkan aktivitas lemah terhadap *E. coli*. Perbedaan aktivitas tersebut dapat dipengaruhi oleh kemampuan masing-masing isolat dalam menghasilkan metabolit, jenis senyawa yang dihasilkan, konsentrasi senyawa aktif, stabilitas senyawa, serta kemampuan senyawa tersebut berdifusi pada media agar. Selain faktor yang berasal dari isolat, respons juga dipengaruhi oleh karakteristik bakteri uji. Oleh sebab itu, diameter zona hambat lebih tepat digunakan sebagai indikator awal potensi antibakteri dan belum dapat dijadikan dasar untuk menentukan jenis maupun mekanisme kerja senyawa aktif [23,24].

Perbedaan sensitivitas antara bakteri Gram-positif dan Gram-negatif juga dapat berkontribusi terhadap variasi zona hambat yang diperoleh. Bakteri Gram-positif seperti *S. aureus* tidak mempunyai membran luar, sedangkan bakteri Gram-negatif seperti *E. coli*, *P. aeruginosa*, dan *Salmonella* mempunyai membran luar yang dapat membatasi masuknya senyawa tertentu. Meskipun demikian, respons antibakteri tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan perbedaan struktur Gram karena terdapat faktor lain seperti permeabilitas membran, pompa efluks, target molekuler senyawa, dan mekanisme pertahanan sel. Pada *P. aeruginosa*, pembentukan biofilm merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan toleransi terhadap antimikroba melalui pengujian terhadap berbagai isolat *P. aeruginosa*, menunjukkan bahwa pertumbuhan dalam bentuk biofilm berkaitan dengan peningkatan toleransi terhadap antimikroba dibandingkan pertumbuhan planktonik [23]. Selain itu, menemukan hubungan antara pembentukan biofilm dan gen yang berkaitan

dengan produksi eksopolisakarida pada isolat *P. aeruginosa* [24]. Oleh karena itu, kemampuan *P. aeruginosa* dalam membentuk biofilm dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya aktivitas beberapa isolat terhadap bakteri tersebut.

Hasil analisis one-way ANOVA yang menunjukkan nilai signifikansi $<0,05$ mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata diameter zona hambat antarkelompok perlakuan. Secara biologis, perbedaan tersebut dapat menggambarkan bahwa isolat yang diuji mempunyai kemampuan penghambatan yang berbeda terhadap bakteri patogen. Variasi tersebut kemungkinan berkaitan dengan perbedaan kemampuan masing-masing isolat dalam menghasilkan senyawa bioaktif serta perbedaan sensitivitas bakteri target. Hasil penelitian juga memperlihatkan adanya perbedaan aktivitas antibakteri yang cukup besar antarisolat sedimen mangrove, sehingga tidak seluruh isolat mempunyai potensi penghambatan yang sama. Namun, hasil ANOVA hanya menunjukkan adanya perbedaan secara keseluruhan dan tidak dapat menentukan pasangan perlakuan yang berbeda secara spesifik. Oleh karena itu, apabila diperlukan untuk mengetahui kelompok yang mempunyai perbedaan nyata, analisis dapat dilanjutkan menggunakan uji post hoc yang sesuai dengan hasil uji prasyarat statistik [5,20].

Jika dibandingkan antar sumber isolat, keberadaan aktivitas antibakteri pada sedimen Sungai Batanghari, Danau Sipin, mangrove, dan POME menunjukkan bahwa lingkungan dengan karakteristik berbeda dapat menjadi sumber bakteri yang berpotensi menghasilkan senyawa penghambat bakteri patogen. Namun, besarnya aktivitas tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa satu habitat secara mutlak lebih baik daripada habitat lainnya karena aktivitas tersebut dipengaruhi oleh jenis isolat yang berhasil diperoleh, kondisi kultur, jenis metabolit yang diproduksi, serta bakteri target yang digunakan. Penelitian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dapat memengaruhi keragaman bakteri indigenous pada sedimen mangrove [20], sedangkan penelitian memperlihatkan bahwa isolat dari sedimen yang sama-sama berasal dari lingkungan mangrove dapat menghasilkan tingkat aktivitas antibakteri yang berbeda [5]. Hal tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan eksplorasi tidak hanya ditentukan oleh lokasi pengambilan sampel, tetapi juga oleh keragaman isolat yang berhasil dikultur dan diseleksi [5].

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimen Sungai Batanghari, Danau Sipin, sedimen mangrove, dan POME merupakan sumber yang potensial untuk memperoleh bakteri indigenous dengan karakter morfologi, fisiologi, dan aktivitas antibakteri yang beragam. Keberadaan isolat yang mampu menghambat bakteri patogen memperlihatkan bahwa sebagian mikroorganisme dari lingkungan tersebut mempunyai potensi sebagai sumber senyawa antibakteri. Potensi tersebut didukung oleh penelitian yang tidak hanya menemukan aktivitas antibakteri pada bakteri sedimen mangrove, tetapi juga mendeteksi gen biosintetik NRPS dan PKS pada isolat potensial. Dengan demikian, eksplorasi bakteri dari sedimen akuatik dan POME dapat menjadi pendekatan awal dalam memperoleh kandidat mikroorganisme penghasil metabolit bioaktif [5,22].

Isolat yang menghasilkan diameter zona hambat paling tinggi selanjutnya dapat diprioritaskan untuk dilakukan karakterisasi lebih lanjut. Identifikasi menggunakan gen 16S rRNA diperlukan untuk mengetahui posisi taksonomi isolat, sedangkan analisis gen biosintetik seperti NRPS dan PKS dapat digunakan untuk memperoleh gambaran mengenai potensi genetik dalam menghasilkan metabolit sekunder. Pendekatan tersebut telah diterapkan pada penelitian bakteri sedimen mangrove oleh Widayat et al. [5], yang menggabungkan uji antibakteri, identifikasi DNA, dan deteksi kluster gen biosintetik. Untuk isolat yang berasal dari POME, karakterisasi kemampuan metabolik juga dapat dikembangkan melalui pengujian enzim atau kemampuan degradasi substrat tertentu, sebagaimana dilaporkan oleh Suhendar et al. [22], yang menunjukkan aktivitas lipase *B. velezensis* dalam hidrolisis komponen minyak POME. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran mengenai keberadaan bakteri indigenous pada berbagai sumber lingkungan, tetapi juga memberikan dasar untuk menyeleksi isolat potensial yang dapat dikembangkan pada penelitian antibakteri dan karakterisasi metabolit pada tahap berikutnya.

Di antara seluruh isolat yang diuji, LCM7 yang diisolasi dari POME menunjukkan aktivitas antibakteri tertinggi terhadap *E. coli* dengan diameter zona hambat 21,07 mm, yang termasuk dalam kategori sangat kuat. Aktivitas ini sebanding dengan penelitian Pribadi et al. [4] yang melaporkan zona hambat 21,07 mm dari isolat LCM7 terhadap *E. coli*. Menariknya, aktivitas LCM7 terhadap *P. aeruginosa* hanya menunjukkan zona hambat 0,63 mm (kategori lemah), mengindikasikan bahwa senyawa antibakteri yang dihasilkan oleh isolat ini bersifat selektif terhadap bakteri Gram-negatif tertentu.

Perbedaan sensitivitas antara *E. coli* dan *P. aeruginosa* terhadap senyawa yang dihasilkan LCM7 dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, *P. aeruginosa* memiliki membran luar yang kurang permeabel dibandingkan *E. coli* karena kandungan lipopolisakarida yang berbeda dan adanya porin dengan selektivitas

yang lebih tinggi [23]. Kedua, *P. aeruginosa* dikenal memiliki sistem pompa efluks yang aktif, seperti MexAB-OprM, yang dapat mengeluarkan senyawa antimikroba dari dalam sel [24]. Ketiga, kemampuan *P. aeruginosa* membentuk biofilm yang kuat dapat meningkatkan toleransi terhadap senyawa antimikroba hingga 10-1000 kali lipat dibandingkan sel planktonik [23].

Isolat SBHD 44 dan SBHD 67 dari sedimen Sungai Batanghari menunjukkan aktivitas kuat terhadap *S. aureus* dengan zona hambat masing-masing 17,04 mm dan 13,92 mm. Kedua isolat ini memiliki karakter Gram-positif berbentuk kokus dan basil, yang menunjukkan potensi sebagai penghasil bakteriosin atau peptida antimikroba. Penelitian Widayat et al. [5] melaporkan bahwa isolat bakteri dari sedimen mangrove yang teridentifikasi sebagai *Bacillus* spp. menghasilkan zona hambat 23,45 mm terhadap *S. aureus* melalui produksi metabolit sekunder yang dikatalisis oleh gen NRPS dan PKS. Temuan ini memperkuat bahwa bakteri dari lingkungan akuatik, termasuk sedimen sungai, memiliki potensi genetik untuk menghasilkan senyawa bioaktif.

Perbedaan aktivitas antarisolat dari sumber yang sama, seperti pada isolat Danau Sipin yang menunjukkan aktivitas bervariasi terhadap *Salmonella* Typhi (3,85-8,70 mm), mengindikasikan bahwa kemampuan menghasilkan senyawa antibakteri bersifat spesifik pada tingkat strain, bukan genus atau spesies. Hal ini sejalan dengan penelitian Tuasalamony et al. [20] yang menemukan bahwa keragaman bakteri indigenous pada sedimen mangrove dipengaruhi oleh kondisi fisikokimia habitat, yang pada gilirannya memengaruhi ekspresi gen yang terkait dengan produksi metabolit sekunder.

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi beberapa isolat dengan aktivitas antibakteri yang menjanjikan, khususnya LCM7, SBHD 44, dan DSP 5. Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, uji aktivitas antibakteri yang dilakukan hanya menggunakan metode difusi cakram, yang memberikan informasi awal mengenai adanya aktivitas penghambatan tetapi belum dapat membedakan apakah senyawa yang dihasilkan bersifat bakterisid (membunuh bakteri) atau bakteriostatik (menghambat pertumbuhan). Kedua, penelitian ini belum mengidentifikasi jenis senyawa aktif yang dihasilkan oleh isolat potensial.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengisolasi 8 isolat dari sedimen Sungai Batanghari (SBHD 21, 25, 28, 42, 44, 49, 67, 68), 7 isolat dari limbah cair pabrik kelapa sawit (LCM 1-7), 11 isolat dari sedimen Danau Sipin (DSP 1-11), dan 11 isolat dari sedimen mangrove (MrT 6, 11, 12, 15, 21, 31, 36, 51, 66, 70, 75). Hasil karakterisasi menunjukkan keragaman morfologi dan fisiologi yang bervariasi antar isolat dari keempat sumber lingkungan. Berdasarkan uji aktivitas antibakteri, isolat LCM7 dari POME menunjukkan aktivitas sangat kuat terhadap *E. coli* dengan zona hambat $21,07 \pm 2,04$ mm, menjadikannya isolat unggulan untuk aktivitas melawan bakteri Gram-negatif. Isolat SBHD 44 dari sedimen Sungai Batanghari dan DSP 5 dari sedimen Danau Sipin menunjukkan aktivitas sangat kuat terhadap *S. aureus* dengan zona hambat masing-masing $17,04 \pm 0,73$ mm dan $24,10 \pm 0,30$ mm, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai agen antibakteri terhadap bakteri Gram-positif. Temuan ini menunjukkan bahwa sedimen akuatik (Sungai Batanghari, Danau Sipin, dan mangrove) serta POME merupakan sumber bakteri indigenous yang potensial untuk eksplorasi senyawa antibakteri. Aktivitas antibakteri yang ditunjukkan oleh isolat LCM7, SBHD 44, dan DSP 5 membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut.

Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan yang berkaitan dengan penelitian maupun publikasi artikel ini.

Referensi

- [1] Jamaludin J, Sedjati S, Supriyanti E. Kandungan bahan organik dan karakteristik sedimen di perairan Betahwalang, Demak. Buletin Oseanografi Marina. 2021;10:143–150. <https://doi.org/10.14710/buloma.v10i2.30046>.

- [2] Khairillah YN, Pratama K, Fitriagustiani F, Ramanda GD, Khoirillah F, Jagad NJ, Jais S. Diversity and potency marine bacteria as source of antibiotic compounds towards bacteria pathogen. *Jurnal Keperawatan dan Kesehatan*. 2023;14:89–97. <https://doi.org/10.54630/jk2.v14i1.354>.
- [3] Jannah R, Ul Maritsa H. Isolation and identification of pathogenic bacteria in the Batanghari River, Jambi. *BUMI: International Journal of Environmental Reviews*. 2023;1:36–41. <https://doi.org/10.30631/bumi.v1i01.1903>.
- [4] Pribadi TDK, Pasaribu B, Fellatami K, Mingguo J, Ismail A, Febriani C, et al. Isolation and identification of cadmium-reducing bacteria from contaminated coastal sediment in the northern coast of Indramayu, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2025;28:102–110. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2025.102.110>.
- [5] Widayat BM, Pringgenies D, Setyati WA. Kluster gen biosintetik (NRPS/PKS) pada bakteri sedimen mangrove Pantai Tirang, Semarang, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*. 2024;27:515–524. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i3.22317>.
- [6] Nabilah Y, Putri TN, Widiasta IN, Tito A, Adyaksa MN. Evaluasi kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di PT Rohul Sawit Industri. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2022;11:95–101.
- [7] Triyaswati D, Yanti NA, Jamili. Seleksi bakteri penghasil antibiotik dari rizosfer mangrove untuk pengendalian vibriosis pada udang windu. *BioWallacea: Jurnal Penelitian Biologi*. 2025;12.
- [8] Gintoe HL, Riskayati, Ifandi S, Siradje AL. Eksplorasi potensi Actinomycetes penghasil antibiotik baru dari Danau Poso, Sulawesi Tengah, sebagai antibakteri patogen pada manusia. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*. 2025;8:944–954. <https://doi.org/10.31539/04h2zb36>.
- [9] Prartono T, Dwinovantyo A, Syafrizal S, Syakti AD. Potential use of deep-sea sediment bacteria for oil spill biodegradation: a laboratory simulation. *Microorganisms*. 2022;10:1616. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081616>.
- [10] Bala JD, Lalung J, Al-Gheethi AAS, Hossain K, Ismail N. Microbiota of palm oil mill wastewater in Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*. 2018;29:131–163. <https://doi.org/10.21315/tlsr2018.29.2.10>.
- [11] A'yunin ZN, Pestariati, Endarini LH, Krihariyani D. Pour plate dan spread plate sebagai metode yang akurat dalam pemeriksaan jumlah bakteri dalam urin pada suhu ruang dan suhu kulkas. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*. 2025;16:492–495. <https://doi.org/10.33846/sf16227>.
- [12] Utami AD, Wiyono S, Widyastuti R, Cahyono P. Keanekaragaman mikrob fungsional rizosfer nanas dengan berbagai tingkat produktivitas. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 2020;25:584–591. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.4.584>.
- [13] Septiana L, Susanti E, Haryani Y, Rani Z, Rambe R. Penapisan dan karakterisasi bakteri selulolitik termofilik. *Forte Journal*. 2024;4:472–480. <https://doi.org/10.51771/fj.v4i2.974>.
- [14] Finanda A, Mukarlina, Rahmawati. Isolasi dan karakterisasi genus bakteri asam laktat dari fermentasi daging buah pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.). *Protobiont*. 2021;10:37–41.
- [15] Giatno DC, Retnaningrum E. Isolasi dan karakterisasi bakteri asam laktat penghasil eksopolisakarida dari buah kersen (*Muntingia calabura* L.). *Jurnal Sains Dasar*. 2020;9:42–49. <https://doi.org/10.21831/jsd.v9i2.34523>.
- [16] Mutia C, Putra AS, Febri SP. Identifikasi bakteri pada ikan mas (*Cyprinus carpio*) di pasar tradisional Lambaro, Aceh Besar. *Jurnal Perikanan Tropis*. 2024;11:110–122. <https://doi.org/10.35308/jpt.v11i2.10232>.
- [17] Ramadani A, Rahayu YP, Nasution MP, Yuniarti R. Analysis of bacterial contamination *Staphylococcus aureus* on roadside crispy chicken meat and fast food in the Teladan area of Medan city. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. 2023;6:1265–1272. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v6i3.205>.
- [18] Nurhayati LS, Yahdiyani N, Hidayatulloh A. Perbandingan pengujian aktivitas antibakteri starter yogurt dengan metode difusi sumuran dan metode difusi cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*. 2020;1:41–46. <https://doi.org/10.24198/jthp.v1i2.27537>.
- [19] Davis WW, Stout TR. Disc plate method of microbiological antibiotic assay: I. Factors influencing variability and error. *Applied Microbiology*. 1971;22:659–665. <https://doi.org/10.1128/am.22.4.659-665.1971>.
- [20] Tuasalamony MM, Widiyanto T, Rusmana I. Diversity of indigenous bacteria from mangrove sediments in the waters of Ambon Bay, Maluku. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2025;32:395–404. <https://doi.org/10.4308/hjb.32.2.395-404>.

- [21] Tumundo C, Wewengkang DS, Jumriadi. Uji potensi antibakteri ekstrak spons *Stylissa carteri* dari perairan Poopoh Minahasa terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*. PHARMACON. 2024;13:529–539. <https://doi.org/10.35799/pha.13.2024.49697>.
- [22] Suhendar D, Layly IR, Sabbathini GC, Waltam DR, Wahjono E, Sriherwanto C, Haniyya. Mutation of lipase-producing bacterial isolate from palm oil effluent for fat hydrolysis on POME. Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia. 2023;10:11–21. <https://doi.org/10.55981/jbbi.2023.1700>.
- [23] Thöming JG, Häussler S. *Pseudomonas aeruginosa* is more tolerant under biofilm than under planktonic growth conditions: a multi-isolate survey. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2022;12:851784. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.851784>.
- [24] Divyashree M, Mani MK, Karunasagar I. Association of exopolysaccharide genes in biofilm-developing antibiotic-resistant *Pseudomonas aeruginosa* from hospital wastewater. Journal of Water and Health. 2022;20:176–184. <https://doi.org/10.2166/wh.2021.223>.