



Isolasi dan Identifikasi Bakteri Lipolitik Indigenous untuk Bioremediasi Tanah Limbah Pabrik Kelapa Sawit

^{1*}Muhammad Nor, ²Noor Hujjatusnaini, ³Ridha Nirmalasari

^{1,2,3}Program Studi Tadris Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, Universitas Islam Negeri Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia.

*Corresponding Author e-mail: madnor0213@gmail.com

Received: November 2025; Revised: November 2025; Accepted: December 2025; Published: December 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan menguji potensi bakteri lipolitik indigenous dari tanah tercemar LCPKS, serta mengevaluasi pengaruh suplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit terhadap aktivitas degradasinya. Metode penelitian menggunakan rancangan eksperimen dengan teknik isolasi dan karakterisasi morfologi bakteri, dilanjutkan uji lipolitik pada medium Nutrient Agar Lemak (NAL) dan uji bioremediasi menggunakan ekstrak pelepah daun kelapa sawit pada konsentrasi 0,1%, 0,5%, dan 1%. Hasil penelitian menunjukkan terdapat sembilan jenis koloni dengan tiga bakteri dominan, yaitu *Candida spp.* (95 koloni), *Streptomyces sp.* (11 koloni), dan *Aspergillus spp.* (4 koloni). Ketiga bakteri tersebut terbukti aktif secara lipolitik dengan terbentuknya zona bening pada medium NAL. Suplementasi ekstrak pelepah sawit meningkatkan pertumbuhan koloni secara signifikan, dengan hasil tertinggi pada konsentrasi 1% (>360 koloni/15 mL). Analisis ANOVA menunjukkan perbedaan efektivitas degradasi antar koloni, di mana *Aspergillus spp.* memiliki aktivitas lebih tinggi dibandingkan koloni lainnya. Temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan bakteri lipolitik indigenous bersama ekstrak pelepah daun kelapa sawit dapat menjadi strategi bioremediasi berkelanjutan untuk menurunkan kandungan minyak dan lemak pada LCPKS.

Kata Kunci: Bakteri lipolitik; bioremediasi; pelepah daun kelapa sawit; limbah cair kelapa sawit; degradasi lemak

Abstract: This study aims to isolate, identify, and test the potential of native lipolytic bacteria from LCPKS contaminated soil, as well as to determine the effect of supplementation of oil palm leaf midrib extract on its degradation activity. The research method uses an experimental design with isolation techniques and morphological characterization of bacteria, followed by a lipolytic test on Nutrient Agar Fat (NAL) medium and a bioremediation test using oil palm leaf midrib extract at concentrations of 0.1%, 0.5%, and 1%. The results showed that there were nine types of colonies with three dominant bacteria, namely *Candida spp.* (95 colonies), *Streptomyces sp.* (11 colonies), and *Aspergillus spp.* (4 colonies). The three bacteria were shown to be lipolytically active, as evidenced by the formation of a clear zone in the NAL medium. Supplementation with oil palm frond extract significantly increased colony growth, with the highest yield at a concentration of 1% (>360 colonies/15 mL). ANOVA analysis showed differences in degradation effectiveness between colonies, with *Aspergillus spp.* exhibiting higher activity than other colonies. These findings confirm that the use of indigenous lipolytic bacteria in combination with oil palm frond extract can be a sustainable bioremediation strategy to reduce oil and fat content in LCPKS.

Keywords: Lipolytic bacteria; bioremediation; oil palm leaf sheath; oil palm liquid waste; fat degradation

How to Cite: Nor, M., Hujjatusnaini, N., & Nirmalasari, R. (2025). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Lipolitik Indigenous untuk Bioremediasi Tanah Limbah Pabrik Kelapa Sawit. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(4), 2937–2948. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.17644>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.17644>

Copyright© 2025, Nor et al
This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, dengan luas perkebunan mencapai 16,8 juta hektar pada tahun 2022, meningkat 56,5% dibandingkan tahun 2014 (Sawit, 2022). Peningkatan permintaan minyak sawit mendorong bertambahnya areal perkebunan, namun pertumbuhan industri ini menimbulkan permasalahan serius berupa limbah yang berpotensi mencemari lingkungan (Abdul Karim, 2019). Dari setiap satu ton tandan buah segar (TBS) yang diolah, dihasilkan limbah padat berupa tandan kosong sebanyak 31 juta ton, cangkang 9 juta ton, serta limbah cair POME dalam jumlah besar (Khairani, 2023).

Limbah padat kelapa sawit, yang terdiri atas tandan kosong (EFB), serat mesokarp, cangkang (PKS), dan lumpur minyak sawit, seringkali dibuang sembarangan atau digunakan tanpa pengelolaan yang memadai (Pratama, 2012; Sumarlin *et al.*, 2019). Penumpukan limbah ini dapat menurunkan kualitas tanah, mengubah struktur tanah, hingga menimbulkan pencemaran logam berat. Lumpur minyak sawit yang kaya lemak juga berpotensi membentuk lapisan kedap air di tanah, sehingga menghambat infiltrasi dan penyerapan nutrisi (Singh *et al.*, 2010; Bestari & Suharjono, 2015).

Salah satu pendekatan ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah bioremediasi. Bakteri lipolitik merupakan jenis mikroorganisme yang mengandung enzim lipase yang memiliki kemampuan untuk memecah lemak atau minyak. Dengan memecah ikatan ester dan triasilgliserol menjadi asam lemak dan gliserol yang larut dalam air, sehingga enzim lipase pada bakteri lipolitik dapat membantu sebagai pengurai bahan organik berupa minyak (Karim, 2019). Kemampuan bakteri untuk menghasilkan enzim lipase berkaitan dengan aktivitas bakteri lipolitik dalam mendegradasi lemak dalam air limbah. Lipase (Triasilgliserol lipase) merupakan enzim yang bisa membebaskan gliserol dan asam lemak serta menghidrolisis trigliserol (Kamaruddin *et al.*, 2018).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bakteri lipolitik dapat ditemukan di berbagai lingkungan yang terkontaminasi minyak, termasuk tanah di sekitar tempat pembuangan limbah pabrik sawit dan kolam limbah kelapa sawit (Karim, 2019). Studi yang dilakukan di Pematang Siantar dan Kupang berhasil mengisolasi beberapa spesies bakteri lipolitik dengan aktivitas lipase yang tinggi, menegaskan potensi dari bakteri lipolitik dalam aplikasi bioremediasi (Resi *et al.*, 2025). Indeks lipolitik tertinggi ditemukan pada isolat BL-1 (2,78mm) dari limbah cair kelapa sawit di Kebun Marihat, sementara indeks lipolitik tertinggi dari tanah di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) di Kupang adalah L1A (10,7mm) (Khairani, 2023; Resi *et al.*, 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri lipolitik dari tanah yang tercemar limbah padat pabrik kelapa sawit serta mengevaluasi potensinya dalam memperbaiki kualitas tanah melalui pendekatan bioremediasi.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk karakterisasi bakteri indigenous lipolitik dan penerapannya dalam bioremediasi tanah tercemar limbah cair pabrik kelapa sawit. Sampel tanah tercemar diambil dari pinggir kolam instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di PT. BAP Gunung Mas dengan mengambil tanah tercemar pada kedalaman 30cm sebanyak 4 titik dari total keliling kolam IPAL nomor 4. Semua proses yang dimulai dari isolasi, karakterisasi, dan uji bioremediasi dilakukan di Laboratorium Terpadu UIN Palangka Raya.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu diantaranya nutrient agar, pepton 0,1%, kertas sampul, aluminium foil, aquadest, alkohol 70%, alkohol 95%, amonium oksalat crystal violet, iodum, safranin, pelepah daun kelapa sawit yang dibuat dalam tingkat taraf pengenceran perlakuan penelitian 0,1%, 0,5%, dan 5%. Sampel tanah tercemar limbah cair kelapa sawit yang akan diisolasi dan identifikasi morfologinya. Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *autoclaf*, *laminar air flow*, inkubator, kulkas penyimpanan, stirer, kompor, mikroskop, cawan petri, tabung reaksi, gelas kimia, *hot plate*, neraca analitik, spatula, mikropipet, bunsen, jarum inokulasi, labu erlenmeyer, pipet pompa, pipet tetes, *cool box*.

Tahapan Penelitian

Observasi dan Karakterisasi Bakteri

Pada tahap awal penelitian, dilakukan observasi pada kondisi kolam IPAL yang terdiri dari 6 kolam, dimana 5 kolam berfungsi aktif dan 1 kolam sebagai penampungan akhir. Setiap kolam memiliki perannya masing-masing dalam pengolahan limbah, seperti yang dijabarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis kolam IPAL dan fungsinya

Kolam IPAL	Fungsi
Kolam 1 & 2 (<i>Cooling Pond</i>)	Pendinginan limbah cair kelapa sawit dan menahan suhu panas.
Kolam 3 & 4 (<i>Acidification</i>)	Proses meningkatkan keasaman pada limbah cair untuk mengaktifkan bakteri.
Kolam 5 (<i>Secondary Pond 2</i>)	Penguraian senyawa sederhana menjadi terlarut.
Kolam 6 (<i>Anaerobic Pond</i>)	Penyaluran hasil olahan limbah ke lahan perkebunan sebagai pupuk organik.

Pengolahan dan penanganan limbah di IPAL ini menunjukkan bahwa pengelolaan LCPKS telah dilakukan secara sistematis, sesuai dengan prinsip pengolahan limbah yang dianjurkan (Ilmannafian *et al.*, 2020). Pengambilan sampel tanah tercemar dilakukan di dua kolam IPAL, yaitu *Acidification* dan *Anaerobic pond* guna mempertahankan kesegaran sampel dengan kadar mikroorganisme aktif dan membandingkan mikroorganisme yang ada pada kolam IPAL tersebut, sehingga proses isolasi dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Isolasi dan Karakterisasi Bakteri

Isolasi bakteri dilakukan dengan teknik pengenceran perbandingan 1:10, untuk sampel tanah tercemar LCPKS ditimbang sebanyak 100gram kemudian diencerkan dengan aquadest sebanyak 1000ml. Selanjutnya hasil pengenceran dimasukkan ke dalam medium *Nutrient Borth* (NB) dan dinkubasi selama 1x24 jam. Kemudian sampel tadi ditumbuhkan pada medium *Nutrient Agar* (NA). Koloni dominan yang tumbuh dipilih dan diuji aktivitas enzim lipase melalui uji hidrolisis minyak dengan menggunakan medium *Nutrient Agar Lemak* (NAL). Metode ini memanfaatkan lemak/minyak untuk pengujian aktivitas enzim lipase dengan mengamati lebar zona pertumbuhan bakteri di atas lemak/minyak (M. Rizky *et al.*, 2018). Karakterisasi dan identifikasi bakteri dilakukan dengan mengamati parameter morfologi koloni, terdiri dari warna, bentuk, tepi, elevansi, kepekatan, serta tingkat kilap koloni (Hastuti, 2015).

Uji Bioremediasi

Untuk melakukan pengujian efektivitas bakteri indigenous lipolitik dalam bioremediasi, dipilih 3 koloni dominan untuk diberikan suplementasi berupa ekstrak pelepah daun kelapa sawit ke dalam kultur bakteri indigenous lipolitik dengan konsentrasi 0,1%, 0,5%, dan 1%. Kultur bakteri diinkubasikan selama 3 hari untuk memungkinkan bakteri memanfaatkan ekstrak pelepah daun kelapa sawit sebagai sumber karbon dan energi dalam proses degradasi lemak.

Analisis Data

Setelah masa inkubasi selama 3 hari, jumlah koloni bakteri indigenous lipolitik dihitung menggunakan metode *Most Probable Number* (MPN) untuk mengevaluasi tingkat pertumbuhan dan aktivitas bakteri (Hastuti, 2015). Data yang diperoleh dianalisis secara statistik dengan bantuan perangkat lunak SPSS menggunakan uji *Ove Way ANOVA* untuk membandingkan efektivitas bioremediasi antar perlakuan

dengan kontrol. Lalu dilakukan uji lanjut *Tukey HSD* untuk melihat perbedaan secara signifikan dari masing-masing koloni dominan. Analisis ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit yang paling optimal dalam meningkatkan aktivitas bakteri indigenous lipolitik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi bakteri yang ditemukan pada kolam IPAL nomor 4 dan 6 menunjukkan adanya keberagaman mikroorganisme yang berperan dalam proses bioremediasi limbah cair kelapa sawit. Dari 4 titik pengambilan sampel, diperoleh 9 jenis koloni bakteri dengan karakteristik morfologi yang berbeda. Keberadaan bakteri-bakteri ini memiliki implikasi ekologis dan fungsional yang signifikan dalam sistem pengolahan limbah cair, data hasil karakterisasi bakteri dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil karakterisasi bakteri pada tanah tercemar LCPKS

No.	Koloni	Jumlah Koloni	Ciri Morfologi	
1.	Koloni 1 <i>Bacillus</i> spp.	3	Warna koloni	: Putih cenderung krem
			Bentuk Koloni	: Bundar tepian menyebar
			Tepi koloni	: Berombak
			Elevansi	: Datar
			Mengkilat/suram	: Mengkilat, halus
			Kepekatan	: Pekat
2.	Koloni 2 <i>Candida</i> spp.	2	Warna koloni	: Putih
			Bentuk Koloni	: Bulat
			Tepi koloni	: Licin
			Elevansi	: Datar
			Mengkilat/suram	: Suram
			Kepekatan	: Pekat
3.	Koloni 3 <i>Penicillium</i> spp.	2	Warna koloni	: Hijau Kekuningan
			Bentuk Koloni	: Bundar tepian kerucut
			Tepi koloni	: Tak beraturan
			Elevansi	: Timbul
			Mengkilat/suram	: Mengkilat
			Kepekatan	: Pekat
4.	Koloni 4 <i>Aspergillus</i> spp.	4	Warna koloni	: Putih
			Bentuk Koloni	: Tak beraturan menyebar
			Tepi koloni	: Berlekuk
			Elevansi	: Datar
			Mengkilat/suram	: Suram
			Kepekatan	: Pekat
5.	Koloni 5 <i>Streptomyces</i> sp.	11	Warna koloni	: Putih
			Bentuk Koloni	: Tak beraturan menyebar
			Tepi koloni	: Berlekuk
			Elevansi	: Seperti kawah
			Mengkilat/suram	: Suram
			Kepekatan	: Pekat
6.	Koloni 6 <i>Candida</i> spp.	95	Warna koloni	: Putih
			Bentuk Koloni	: Bulat
			Tepi koloni	: Licin
			Elevansi	: Timbul
			Mengkilat/suram	: Suram
			Kepekatan	: Pekat
7.	Koloni 7 <i>Rhodotorula</i>	2	Warna koloni	: Putih
			Bentuk Koloni	: Tak beraturan menyebar
			Tepi koloni	: Seperti tetesan
			Elevansi	: Seperti kawah
			Mengkilat/suram	: Suram
			Kepekatan	: Pekat

No.	Koloni	Jumlah Koloni	Ciri Morfologi	
8.	Koloni 8 <i>Aspergillus</i> spp.	3	Warna koloni	: Krem
			Bentuk Koloni	: Berbenang dan bercabang
			Tepi koloni	: Bercabang
			Elevansi	: Berbukit
			Mengkilat/suram	: Mengkilat
			Kepekatan	: Pekat
9.	Koloni 9 <i>Bacillus</i> spp.	2	Warna koloni	: Putih
			Bentuk Koloni	: Bundar tepian kerucut
			Tepi koloni	: Berombak
			Elevansi	: Seperti kawah
			Mengkilat/suram	: Suram
			Kepekatan	: Pekat

Proses penelitian selanjutnya yang sudah dilakukan adalah menguji daya lipolitik bakteri dominan untuk memastikan bahwa bakteri yang ditemukan merupakan bakteri lipolitik yaitu dari koloni 4, koloni 5, dan koloni 6, dengan menilai keterkaitan antara penambahan ekstrak pelepah daun kelapa sawit sebagai induktor yang mempercepat proses degradasi dan peningkatan aktivitas enzim lipase yang diamati melalui zona pertumbuhan bakteri pada medium NAL. Data hasil pengujian daya lipolitik bakteri dominan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data uji daya lipolitik bakteri

Kode Koloni	Konsentrasi	Lebar Zona Pertumbuhan		
		H1	H2	H3
K4	Kontrol	0,6	1	1,5
	0,1%	0,9	1,7	2,8
	0,5%	1	2,2	3,2
	1%	1,4	2,6	3,8
K5	Kontrol	0,5	2,2	3,6
	0,1%	1	2,8	4,3
	0,5%	0,9	2,7	4
	1%	1,2	3,7	5,3
K6	Kontrol	0,7	1,6	2,9
	0,1%	1,2	2,7	3,9
	0,5%	1,6	3,6	5,1
	1%	1,4	3,5	4,8

Pengujian daya lipolitik bakteri tersebut dilakukan dengan mengamati dan mengukur zona pertumbuhan bakteri di atas medium NAL selama 72 jam.



Gambar 1. Zona pertumbuhan koloni 5 di atas minyak/lemak setelah 72 jam

Aktivitas bakteri lipolitik dalam mendegradasi senyawa organik di dalam LCPKS dapat dipercepat dengan memanfaatkan bagian dari tanaman kelapa sawit seperti pelepah daun kelapa sawit sebagai suplementasi ekstrak. Pengaruh suplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit terhadap aktivitas bakteri dapat diketahui dengan melakukan pengujian tambahan. Data hasil uji suplementasi ekstrak dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh suplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit terhadap laju pertumbuhan bakteri lipolitik

		Seri A	Seri B	Seri C	MPN/ 100ml	Jumlah sel/ 15ml
K4 Kontrol		0	0	3	0,09	1,35
Koloni 4	0,1%	3	3	3	24,00	>360
	0,5%	3	3	3	24,00	>360
	1%	3	3	3	24,00	>360
K5 Kontrol		0	1	2	0,092	1,38
Koloni 5	0,1%	3	3	3	24,00	>360
	0,5%	3	3	3	24,00	>360
	1%	3	3	3	24,00	>360
K6 Kontrol		1	0	3	0,15	2,25
Koloni 6	0,1%	3	2	3	2,90	43,5
	0,5%	3	1	3	1,60	24
	1%	3	3	3	24,00	>360

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan teknik analisis *One Way Anova*, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data statistik analisis hasil uji anova

Zona Bening					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.472	2	2.736	1.476	.243
Within Groups	61.176	33	1.854		
Total	66.648	35			

Teknik analisis di lanjutkan dengan Uji Lanjut Tukey HSD untuk menganalisis perbedaan antar koloni secara lebih spesifik.

Tabel 6. Data hasil uji lanjut tukey HSD

(I) Koloni	(J) Koloni	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Koloni 4	Koloni 5	-.79167	.55585	.340	-2.1556	.5723
	Koloni 6	-.85833	.55585	.284	-2.2223	.5056
Koloni 5	Koloni 4	.79167	.55585	.340	-.5723	2.1556
	Koloni 6	-.06667	.55585	.992	-1.4306	1.2973
Koloni 6	Koloni 4	.85833	.55585	.284	-.5056	2.2223
	Koloni 5	.06667	.55585	.992	-1.2973	1.4306

Hasil karakterisasi bakteri yang ditemukan pada kolam IPAL 4 dan 6 menunjukkan keberagaman mikroorganisme yang berperan dalam proses bioremediasi. Data hasil karakterisasi bakteri pada Tabel 2. menunjukkan bahwa dari 4 titik pengambilan sampel pada tanah sekitar kolam dengan kedalaman 30cm penampungan limbah IPAL nomor 4 dan 6 yang memiliki kedalaman 3m-6m, diperoleh

9 jenis koloni bakteri dengan karakteristik morfologi yang berbeda. Tiga jenis koloni dengan jumlah terbanyak adalah Koloni 6 (*Candida* spp.) sebanyak 95 koloni, Koloni 5 (*Streptomyces* sp.) sebanyak 11 koloni, dan Koloni 4 (*Aspergillus* spp.) sebanyak 4 koloni. Keberadaan bakteri-bakteri ini memiliki implikasi ekologis dan fungsional yang signifikan dalam sistem pengolahan limbah cair.

Ketiga bakteri yang dominan tersebut diduga memiliki peran penting dalam proses bioremediasi. *Candida* spp. diketahui memiliki kemampuan memecah hidrokarbon alifatik dan aromatik, seperti pada minyak bumi, dan juga mampu menghasilkan biosurfaktan yang membantu dalam proses degradasi dengan mengemulsi minyak, membuatnya lebih mudah dicerna oleh mikroorganisme (Al-Otibi *et al.*, 2022). *Streptomyces* sp. merupakan bakteri lipolitik yang memiliki kemampuan dalam mendegradasi limbah minyak melalui produksi enzim seperti esterase (LipA) yang mampu memecah senyawa organik kompleks seperti lemak dan protein, yang ditemukan dalam limbah organik termasuk minyak dan plastik (Soumeiya *et al.*, 2022). Adapun *Aspergillus* spp. memiliki kemampuan untuk mendegradasi limbah minyak melalui proses bioremediasi. Jamur ini dapat menggunakan hidrokarbon dalam minyak sebagai sumber karbon dan energi, yang mereka pecah menjadi senyawa yang kurang beracun dan air menggunakan enzim hidrolitik (Hassaine & Bordjiba, 2019). Disimpulkan bahwa proses bioremediasi ini terjadi melalui kerja sama dimana ketiga mikroorganisme tersebut saling melengkapi dalam proses degradasi lemak, di mana *Candida* spp. berperan memecah hidrokarbon sekaligus menghasilkan biosurfaktan, *Streptomyces* sp. menguraikan senyawa kompleks dengan enzim lipolitiknya, dan *Aspergillus* spp. memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber energi. Sinergi dari kemampuan mereka menjadikan proses bioremediasi lebih efektif dalam mereduksi senyawa lemak yang terdapat pada limbah minyak. Aktivitas ketiga bakteri ini mempercepat proses degradasi senyawa organik pada limbah, sehingga kandungan bahan organik dalam kolam IPAL dapat berkurang.

Tahapan penelitian selanjutnya adalah menguji daya lipolitik bakteri dominan untuk memastikan bahwa bakteri yang ditemukan merupakan bakteri lipolitik. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa bakteri yang ditemukan benar-benar memiliki kemampuan untuk mendegradasi lemak melalui proses enzimatik sehingga berperan dalam proses bioremediasi tanah tercemar limbah cair kelapa sawit yang mengandung lemak. Daya lipolitik bakteri dapat diukur dengan membiakkan bakteri di atas medium Nutrient Agar Lemak (NAL). Hasil positif ditandai dengan adanya zona bening yang timbul di tepi koloni bakteri. Metode ini telah digunakan dalam penelitian sebelumnya yaitu oleh Rizky (2017), yang menyeleksi bakteri lipolitik terisolasi dari berbagai sumber alami.

Data hasil uji daya lipolitik bakteri pada Tabel 3. menunjukkan adanya peningkatan diameter zona bening di setiap koloni yang tersuplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit dengan konsentrasi 0,1%, 0,5% dan 1% dalam jangka waktu 3x24 jam (72 jam). Hal ini berarti koloni 4, koloni 5, dan koloni 6 terbukti aktif secara lipolitik dan mampu memecah lemak dengan baik. Temuan ini konsisten dengan penelitian Elyza *et al.* (2016), yang menyatakan bahwa aktivitas lipase pada bakteri dapat menurunkan kadar lemak di dalam limbah sawit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terjadi proses metabolisme bakteri dalam medium NAL yang ditandai dengan tumbuhnya koloni bakteri di atas butiran minyak.

Pada Gambar 1. terlihat adanya butiran minyak pada medium Nutrient Agar Lemak yang ditumbuhi koloni bakteri. Setelah 24 jam pertama inkubasi, koloni hanya berkembang di sekitar butiran minyak, yang menunjukkan bahwa bakteri berada dalam tahap adaptasi. Memasuki 24 jam kedua, koloni mulai tampak tumbuh langsung di atas

butiran minyak, mengindikasikan kemampuan bakteri dalam menghidrolisis lemak menjadi asam lemak yang digunakan sebagai sumber energi. Pada 24 jam ketiga, pertumbuhan koloni di atas butiran minyak semakin meluas, menandakan aktivitas bakteri dalam memecah lemak semakin intensif dan hasil hidrolisis telah cukup mendukung perkembangan koloni. Temuan ini sejalan dengan penelitian Khairani (2023) yang menjelaskan bahwa bakteri lipolitik menghasilkan enzim lipase yang mampu menghidrolisis minyak dan membentuk zona bening di sekitar koloni.

Aktivitas bakteri dalam mendegradasi senyawa organik di dalam tanah tercemar LCPKS dapat dipercepat dengan memanfaatkan bagian tanaman kelapa sawit seperti pelepah daun kelapa sawit sebagai suplementasi ekstrak. Pengaruh suplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit terhadap aktivitas bakteri dapat diketahui dengan melakukan pengujian tambahan. Berdasarkan data perolehan *Most Probable Number* (MPN) pada Tabel 4, jumlah koloni bakteri tersuplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit mengalami peningkatan dibandingkan dengan variabel kontrol. Pada K4, pertumbuhan koloni bakteri tertinggi terjadi pada konsentrasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit 1% dengan jumlah sebesar >360 koloni/15 mL. Pada K5, pertumbuhan koloni bakteri tertinggi terjadi pada konsentrasi TKKS 0,5% dengan jumlah sebesar >360 koloni/15 mL. Pada K6, pertumbuhan koloni bakteri tertinggi terjadi pada konsentrasi TKKS 1% dengan jumlah sebesar >360 koloni/15 mL.

Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan nutrisi yang mendukung pertumbuhan bakteri lipolitik meningkat dengan adanya suplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit. Meningkatnya jumlah koloni bakteri pada berbagai konsentrasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit menunjukkan bahwa ekstrak pelepah daun kelapa sawit sebagai sumber bahan organik yang mampu meningkatkan aktivitas metabolisme bakteri di dalam tanah tercemar LCPKS. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa ekstrak pelepah daun kelapa sawit memiliki kandungan serat dan senyawa bioaktif yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme dalam proses degradasi (Harahap *et al.*, 2020). Senyawa tersebut mampu memperkaya ketersediaan bahan organik dan nutrisi bagi bakteri lain, termasuk bakteri lipolitik. Suplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit berpotensi meningkatkan aktivitas dan pertumbuhan bakteri lipolitik yang berperan penting dalam bioremediasi limbah cair kelapa sawit.

Data pengujian daya lipolitik bakteri dianalisis menggunakan teknik data *One Way Anova* setelah dipastikan bahwa data terdistribusi normal. Syarat signifikansi *One Way Anova* adalah ketika p-value lebih kecil dari pada 0,05 ($p < 0,05$) maka data yang didapatkan berbeda secara signifikan. Hasil uji *One Way Anova* menunjukkan bahwa lebar zona bening yang muncul pada setiap koloni bakteri tidak berbeda secara signifikan, dibuktikan dengan nilai signifikansi 0,243 lebih besar dari pada α (0,05) ($0,243 > 0,05$). Hasil uji lanjut menggunakan Tukey HSD menunjukkan bahwa kemampuan degradasi koloni 4 memiliki perbedaan dibandingkan dengan koloni 5 ($p = 0,340$) dan koloni 6 ($p = 0,284$). Hal ini menunjukkan bahwa koloni 4 memiliki efektivitas degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan koloni 5 dan 6.

Candida spp. merupakan kapang/yeast penghasil lipase yang mampu menghidrolisis trigliserida minyak sawit menjadi asam lemak dan gliserol sehingga mempermudah tahap lanjut pemineralan oleh konsorsium mikroba dalam POME. Aktivitas lipase dari *Candida* terutama CALB (*Candida antarctica* lipase B) telah didemonstrasikan sangat efektif terhadap minyak sawit sebagai substrat, menunjukkan pemutusan ikatan ester trigliserida yang relevan untuk penurunan fraksi minyak/lemak POME (Giraldo *et al.*, 2023). Tinjauan terbaru tentang bioremediasi POME menempatkan yeast sebagai agen kunci untuk perombakan komponen

berminyak, dengan *Candida* termasuk di antara genera yang sering dieksplorasi dalam sistem berbasis lipase (Fibriana *et al.*, 2022).

Streptomyces sp. dikenal menghasilkan beragam enzim ekstraseluler (termasuk lipase dan esterases) yang berperan dalam pemecahan senyawa minyak sawit pada POME menjadi unit molekul yang lebih sederhana. Pemanfaatan POME sebagai substrat oleh *Streptomyces* telah dibuktikan secara eksperimental menunjukkan bakteri ini dapat tumbuh dan memetabolisme komponen organik POME pada kondisi terkontrol yang secara tidak langsung menegaskan potensi degradasi fraksi minyaknya dalam bioproses pengolahan (Boukaew *et al.*, 2022). Keberadaan *Streptomyces* sp. berkontribusi pada stabilisasi limbah cair melalui aktivitas hidrolitik yang memulai fragmentasi minyak sawit menjadi molekul yang lebih mudah ditangani pada tahap lanjut pengolahan.

Aspergillus spp. merupakan kelompok kapang lipolitik yang menghasilkan lipase aktif pada minyak sawit dan turunan trigliserida, sehingga berperan penting dalam hidrolisis fraksi berminyak pada POME. Studi mutakhir memanfaatkan POME sebagai sumber karbon atau medium untuk imobilisasi sel utuh *Aspergillus oryzae* penghasil lipase dan menunjukkan performa katalitik yang tinggi pada sistem berbasis minyak sawit temuan ini menegaskan kesesuaian enzim *Aspergillus* untuk memecah minyak dalam matriks POME (Rachmadona *et al.*, 2021). Secara praktis, kemampuan lipase *Aspergillus* dalam memutus ikatan ester trigliserida mempercepat penurunan minyak & lemak, sekaligus memfasilitasi langkah lanjutan seperti biodegradasi asam lemak bebas oleh komunitas mikroba dalam reaktor POME.

Selain tiga bakteri dominan tersebut, hasil karakterisasi juga menunjukkan adanya beberapa jenis bakteri lain seperti *Bacillus* spp., *Rhodotorula*, dan *Penicillium* spp. Keberadaan berbagai jenis bakteri ini menunjukkan bahwa kolam IPAL memiliki komunitas mikroba yang kompleks, dimana masing-masing spesies memiliki peran spesifik dalam penguraian senyawa organik maupun detoksifikasi limbah.

Penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Boukaew *et al.* (2022), yang mengevaluasi pemanfaatan *palm oil mill effluent* (POME) sebagai substrat untuk pertumbuhan dan produksi metabolit oleh *Streptomyces philanthi* RM-1-138. Dalam penelitian tersebut *Streptomyces* dapat tumbuh dan memanfaatkan komponen organik POME sehingga muncul sebagai mikroorganisme yang dominan pada kultur terbuat dari limbah itu, yang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan spesifik pada kolam IPAL atau medium POME ini mungkin lebih mendukung pertumbuhan aktinomiset yang menghasilkan enzim dan metabolit bioaktif. Selain itu, penelitian oleh Lanan *et al.*, (2021) juga menunjukkan bahwa penggunaan kapang *Aspergillus niger* terimobilisasi efektif menurunkan parameter kualitas limbah seperti kekeruhan dan COD pada sampel limbah sawit, sehingga keberagaman dan dominansi mikroba dalam sistem pengolahan dapat sangat bervariasi tergantung pada faktor lingkungan, jenis substrat, dan strategi penanganan (mis. imobilisasi vs sel bebas).

Aspek relevansi hasil penelitian terhadap regulasi lingkungan bahwa keberadaan bakteri dan jamur bioremediator seperti *Candida* spp., *Streptomyces* sp., dan *Aspergillus* spp. dalam sistem IPAL menunjukkan bahwa proses pengolahan limbah di fasilitas ini telah berjalan secara biologis. Hal ini mendukung kebijakan pengelolaan limbah yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 tahun 2021, yang mengharuskan sistem IPAL memiliki mekanisme bioremediasi yang efektif untuk mengurangi pencemaran. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi optimalisasi sistem pengolahan limbah dengan meningkatkan populasi bakteri tertentu untuk mempercepat degradasi polutan organik.

Berdasarkan hasil karakterisasi ini, dapat disimpulkan bahwa keberadaan bakteri indigenous lipolitik pada kolam IPAL berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pengolahan limbah, dan pada tanah yang tercemar limbah cair pabrik kelapa sawit ini juga terdapat beberapa jamur yang dominan dan mampu mendegradasi minyak. Identifikasi lebih lanjut melalui analisis biokimia dan molekuler diperlukan untuk mengonfirmasi spesies bakteri secara lebih akurat serta mengeksplorasi potensi aplikasi mereka dalam bioteknologi lingkungan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami interaksi antar mikroorganisme dalam ekosistem ini serta bagaimana kondisi lingkungan dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efektivitas bioremediasi oleh mikroorganisme yang telah teridentifikasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa terdapat tiga bakteri dominan kode koloni K4, K5, dan K6 dalam bioremediasi tanah tercemar LCPKS, dengan jumlah koloni terbanyak masing-masing 4, 11, dan 95 koloni. Suplementasi ekstrak pelepah daun kelapa sawit meningkatkan pertumbuhan bakteri, dengan jumlah koloni tertinggi pada konsentrasi TKKS 1% (>360 koloni/15ml). Aktivitas lipolitik pada koloni bakteri menunjukkan adanya peningkatan diameter zona bening, yang mengindikasikan degradasi lemak. Uji statistik Lanjutan (Tukey HSD) One Way Anova menunjukkan perbedaan signifikan pada K4 dibandingkan dengan K5 ($p = 0,340$) dan K6 ($p = 0,284$). Temuan ini mendukung pengembangan bioremediasi berkelanjutan menggunakan mikroorganisme indigenous dan ekstrak pelepah daun kelapa sawit.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya tidak hanya mengandalkan identifikasi morfologi, tetapi juga menggunakan analisis biokimia dan molekuler (seperti PCR atau sekuensing gen 16S rRNA) untuk memastikan spesies bakteri secara lebih akurat. Penelitian lanjutan juga perlu menguji konsorsium mikroba indigenous agar dapat diketahui interaksi sinergis antar mikroorganisme dalam meningkatkan efektivitas bioremediasi. Selain itu, pengujian di lapangan (skala pilot project) pada tanah tercemar limbah cair pabrik kelapa sawit juga penting untuk mengetahui kestabilan kinerja bakteri dalam kondisi alami. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan teknologi bioremediasi yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan bakteri lipolitik indigenous dan ekstrak pelepah daun kelapa sawit secara lebih luas di kawasan perkebunan kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Negeri Palangka Raya khususnya Program Studi Tadris Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, yang telah memberikan dukungan fasilitas laboratorium dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT. BAP Gunung Mas yang telah memberikan izin pengambilan sampel tanah pada lokasi penelitian. Penghargaan dan rasa hormat penulis sampaikan kepada Ibu Noor Hujjatusnaini, M.Pd., dan Ibu Ridha Nirmalasari, M.Pd. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan selama proses penelitian hingga penulisan artikel ini. Tidak lupa, penulis berterima kasih kepada rekan-rekan di Laboratorium Terpadu UIN Palangka Raya yang turut membantu dalam kegiatan teknis penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Karim, dan. (2019). Isolasi dan Uji Bakteri Lipolitik dalam Mendegradasi Minyak Pada Limbah Cair Kelapa Sawit di Kebun Marihat, Pematang Siantar Isolation and Testing of Lipolytic Bacteria in Oil Degradation of Palm Oil Mill Effluent (POME) at Marihat Pematang Siantar. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*, 1(2), 44–52. <http://jurnalmahasiswa.uma.ac.id/index.php/jibioma>
- Al-Otibi, F., Al-Zahrani, R. M., & Marraiki, N. (2022). The crude oil biodegradation activity of *Candida* strains isolated from oil-reservoirs soils in Saudi Arabia. *Scientific Reports*, 12(1), 10708. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14836-0>
- Bestari, N. C., & Suharjono. (2015). Uji Kualitatif dan Kuantitatif Isolat Bakteri Lipolitik dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Ikan Kecamatan Muncar, Banyuwangi. *Jurnal Biotropika*, 3(3), 151–155.
- Boukaew, S., Cheirsilp, B., Yossan, S., Khunjan, U., Petlamul, W., & Prasertsan, P. (2022). Utilization of palm oil mill effluent as a novel substrate for the production of antifungal compounds by *Streptomyces philanthi* RM-1-138 and evaluation of its efficacy in suppression of three strains of oil palm pathogen. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 1990–2003. <https://doi.org/10.1111/jam.15304>
- Elyza, F., Gofar, N., & Munawar, M. (2016). Identifikasi dan Uji Potensi Bakteri Lipolitik Dari Limbah SBE (Spent Bleaching Earth) Sebagai Agen Bioremediasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.14710/jil.13.1.12-18>
- Fibriana, F., Upaichit, A., & Cheirsilp, B. (2022). Statistical Optimization for Cost-Effective Production of Yeast-Bacterium Cell-Bound Lipases Using Blended Oily Wastes and Their Potential Applications in Biodiesel Synthesis and Wastewater Bioremediation. *Fermentation*, 8(8), 411. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080411>
- Giraldo, L., Gómez-Granados, F., & Moreno-Piraján, J. C. (2023). Biodiesel Production Using Palm Oil with a MOF-Lipase B Biocatalyst from *Candida Antarctica*: A Kinetic and Thermodynamic Study. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10741. <https://doi.org/10.3390/ijms241310741>
- Harahap, A. A., Hanafi, N. D., Tafsir, M., & Umar, S. (2020). Substitusi rumput Lapang Dengan Pelepah Daun Kelapa Sawit Fermentasi Menggunakan Mikroorganisme Lokal Terhadap Kecernaan Nutrien dan Total Digestible Nutrient Pada Sapi Jantan Peranakan. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 8(2), 47. <https://doi.org/10.23960/jipt.v8i2.p47-52>
- Hassaine, A., & Bordjiba, O. (2019). Removal of hydrocarbons from liquid media by *Aspergillus niger* van Tieghem. *Acta Ecologica Sinica*, 39(4), 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.11.009>
- Hastuti, U. S. (2015). *Penuntun Praktikum Mikrobiologi untuk Program S2 Biologi* (Pertama). UMM Press.
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 244–253. <https://doi.org/10.29122/jtl.v21i2.4012>
- Kamaruddin, M. A., Ismail, N., Kuen, T. H., & Alrozi, R. (2018). Sustainable treatment of palm oil mill effluent (POME) by using Pectin and chitosan in jar test protocol - sequential comparison. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(9), 163–169. <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.09.012>
- Khairani, K. M. (2023). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Lipolitik dari Limbah Cair Kelapa Sawit (*Elaeis quineensis* Jacq.). *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 6(1), 1–13. <https://bnr.bg/post/101787017/bsp-za-balgaria-e-pod-nomer->

- 1-v-buletinata-za-vota-gerb-s-nomer-2-pp-db-s-nomer-12
- Lanan, F. A. B. M., Selvarajoo, A., Sethu, V., & Arumugasamy, S. K. (2021). Utilisation of natural plant-based fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) coagulant and okra (*Abelmoschus esculentus*) flocculant for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104667. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104667>
- Ode Sumarlin, L., Faturrahman, ., & Yadiat Chalid, S. (2019). Potential of Solid Oil Palm Waste as an Antibrowning Repellent of *Aedes Aegypti*. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(2), 117–126. <https://doi.org/10.18343/jipi.24.2.117>
- Pratama, H. A. (2012). Pengelolaan Limbah Padat Industri Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 16(1), 1–14.
- Rachmadona, N., Quayson, E., Amoah, J., Alfaro-Sayes, D. A., Hama, S., Aznury, M., Kondo, A., & Ogino, C. (2021). Utilizing palm oil mill effluent (POME) for the immobilization of *Aspergillus oryzae* whole-cell lipase strains for biodiesel synthesis. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(3), 804–814. <https://doi.org/10.1002/bbb.2202>
- Resi, D. N., Missa, H., Djalo, A., & Ndukang, S. (2025). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Lipolitik Dari Tanah Tempat Pembuangan Sementara Untuk Aplikasi Bioremediasi. *JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]*. 7(1), 195–203.
- Rizky, M., Fitri, R., Hastuti, U., & Prabaningtyas, S. (2018). Identifikasi Uji Kemampuan Hidrolisis Lemak Dan Penentuan Indeks Zona Bening Asam Laktat Pada Bakteri Dalam Wadi Makanan Traditional Kalimantan Tengah. *Bionature*, 18. <https://doi.org/10.35580/bionature.v18i2.6137>
- Rizky, M. Y. (2017). *Identifikasi dan uji kemampuan hidrolisis lemak pada bakteri lipolitik yang diisolasi dari wadi*. Universitas Negeri Malang.
- Singh, R. P., Ibrahim, M. H., Esa, N., & Iliyana, M. S. (2010). Composting of waste from palm oil mill: A sustainable waste management practice. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(4), 331–344. <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9199-2>
- Soumeiya, S., Allaoueddine, B., & Hocine, A.-K. (2022). Biodegradation of used motor oil by *Streptomyces ginkgonis* KM-1–2, isolated from soil polluted by waste oils in the region of Azzaba (Skikda-Algeria). *Journal of Biotechnology*, 349, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2022.03.006>