TEKNOSAINS
MEDIA INFORMASI DAN TEKNOLOGI
Journal homepage: https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/teknosains/

Isolasi dan karakterisasi konsorsium bakteri indigen potensial pendegradasi limbah cair rumah potong unggas

Sri Lutfianti[1], Dhela Natsir[1], Rusmadi Rukmana[1], Dirhamzah[1], Hafsan[1*]
[1]Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar
Jl. H. M. Yasin Limpo No. 36, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. 92118
*E-mail: hafsan.bio@uin-alauddin.ac.id

Abstrak: Limbah cair rumah potong unggas (RPU) mengandung konsentrasi tinggi polutan organik kompleks, terutama protein dan lipid, yang sulit didegradasi secara efektif menggunakan sistem berbasis mikroorganisme tunggal. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi, mengarakterisasi, dan memformulasikan konsorsium bakteri indigenous yang mampu meningkatkan efisiensi biodegradasi limbah cair RPU. Isolat bakteri indigenous diperoleh dari sedimen laguna anaerob rumah potong unggas dan diseleksi berdasarkan aktivitas proteolitik dan lipolitiknya. Tiga isolat unggul, yaitu RPU-1, RPU-3, dan RPU-7, dipilih serta diuji kompatibilitasnya sebelum diformulasikan menjadi suatu konsorsium. Konsorsium yang dihasilkan (KBP-RPU) kemudian dievaluasi pada reaktor *batch* aerob skala laboratorium yang berisi limbah cair RPU tanpa perlakuan awal selama 96 jam. Hasil penelitian menunjukkan penurunan yang signifikan pada parameter utama pencemar, yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 91,4 ± 1,4%, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 88,7 ± 1,2%, dan total lipid sebesar 94,2% setelah 96 jam inkubasi. Pola penurunan parameter pencemar yang berlangsung secara bertahap selama masa inkubasi mengindikasikan bahwa konsorsium bakteri memiliki kemampuan biodegradasi yang efektif terhadap senyawa organik dan lipid dalam limbah cair RPU. Dibandingkan dengan sistem pengolahan biologis yang telah dilaporkan sebelumnya, konsorsium KBP-RPU menunjukkan efisiensi biodegradasi yang relatif tinggi dengan waktu retensi yang lebih singkat. Temuan ini menunjukkan bahwa konsorsium bakteri indigenous berpotensi dikembangkan sebagai agen bioaugmentasi untuk mendukung pengolahan limbah cair rumah potong unggas yang berkelanjutan.

Kata Kunci: bakteri indigenous, bioaugmentasi, biodegradasi, degradasi lipid, konsorsium bakteri, limbah cair rumah potong unggas

Abstract: Poultry slaughterhouse (PSH) wastewater contains high concentrations of complex organic pollutants, particularly proteins and lipids, which are difficult to degrade using single-microorganism systems. This study aimed to isolate, characterize, and formulate an indigenous bacterial consortium capable of enhancing the biodegradation efficiency of PSH wastewater. Indigenous bacterial isolates were obtained from anaerobic lagoon sediments of a poultry slaughterhouse and screened based on their proteolytic and lipolytic activities. Three superior isolates, namely RPU-1, RPU-3, and RPU-7, were selected and subjected to compatibility testing prior to consortium formulation. The formulated consortium (KBP-RPU) was evaluated in a laboratory-scale aerobic batch reactor containing raw PSH wastewater for 96 h. Experimental results demonstrated substantial reductions in key pollution parameters, including Chemical Oxygen Demand (COD) by 91.4 ± 1.4%, Biochemical Oxygen Demand (BOD) by 88.7 ± 1.2%, and total lipids by 94.2%, after 96 h of incubation. The progressive reduction pattern observed during incubation indicates the effective biodegradation capability of the consortium toward lipid-rich and organic pollutants in PSH wastewater. Compared with previously reported biological treatment systems, the KBP-RPU consortium demonstrated relatively high biodegradation efficiency within a shorter retention period. These findings suggest that indigenous bacterial consortia possess promising potential as bioaugmentation agents for sustainable poultry slaughterhouse wastewater treatment.

Keywords: Indigenous bacteria, bioaugmentation, biodegradation, lipid degradation, bacterial consortium, poultry slaughterhouse wastewater

Cara Sitasi:
Lutfianti, S., Natsir, D., Rukmana, R., Dirhamzah, D., Hafsan, H. (2026). Isolasi dan karakterisasi konsorsium bakteri indigen potensial pendegradasi limbah cair rumah potong unggas. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 20(2), 222-230. https://doi.org/10.24252/teknosains.v20i2.69315

Diajukan 16 Juni 2026; Ditinjau 16 Juni 2026; Diterima 3 Agustus 2026; Diterbitkan 10 Agustus 2026
Copyright © 2026. The authors. This is an open access article under the CC BY-SA license

PENDAHULUAN

Aktivitas industri Rumah Potong Unggas (RPU) di Indonesia mengalami peningkatan signifikan seiring dengan lonjakan permintaan protein hewani, yang berdampak langsung pada akumulasi limbah cair dalam volume besar (Nurandini et al., 2024; Thakur et al., 2025). Limbah cair RPU dikategorikan sebagai limbah organik berkekuatan tinggi (*high-strength organic wastewater*) yang didominasi oleh darah, lemak, bulu, dan sisa jaringan tubuh unggas. Karakteristik khas limbah ini adalah tingginya konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) mencapai 3.000–8.000 mg/L, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) 1.500–4.500 mg/L, serta kandungan lipid dan protein yang pekat. Pelepasan limbah cair tanpa pengolahan yang adekuat ke badan air memicu deoksigenasi masif, eutrofikasi, serta emisi gas odor (seperti H_2S dan NH_3) yang merusak ekosistem akuatik dan mengancam kesehatan masyarakat (Chainetr et al., 2020; Kiepper, 2001; Maizatul et al., 2018).

Pengolahan limbah RPU secara konvensional seperti koagulasi kimia dan sistem lumpur aktif konvensional seringkali menghadapi kendala operasional yang besar. Kandungan lipid yang tinggi memicu terbentuknya lapisan buih lemak (*scum layer*) pada permukaan reaktor, yang menghambat transfer massa oksigen dan menyumbat saluran pipa (*fouling*) (Dlangamandla et al., 2023; Masse, 2001; Sakthivel Murugan & Deepan, 2020). Bioremediasi menggunakan mikroorganisme pelarut lipid dan protein menjadi alternatif yang menjanjikan. Eksplorasi isolat tunggal (*single strain*) telah banyak dilaporkan, namun aplikasinya pada skala riil kerap gagal akibat keterbatasan kapasitas metabolik tunggal dalam mendegradasi substrat multikompleks. Isolat tunggal umumnya mengalami inhibisi substrat atau represi katabolit ketika dihadapkan pada fluktuasi beban organik limbah cair RPU (Hubchyk et al., 2022; Lozada et al., 2017; Mbulawa et al., 2018a, 2018b; Hubchyk et al., 2022; Lozada et al., 2017; Mbulawa et al., 2018a, 2018b).

Kesenjangan penelitian dalam literatur saat ini terletak pada minimnya kajian mengenai interaksi sinergis dan dinamika metabolik antar-spesies bakteri indigen yang dikonstruksi secara sengaja untuk limbah kaya lipid-protein. Secara teoritis, mekanisme pembagian kerja metabolik (*metabolic labor division*) bakteri dalam konsorsium untuk mendegradasi emulsi lemak pekat masih jarang dieksplorasi. Secara metodologis, sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan isolat komersial atau isolat non-indigen yang rentan terhadap kejutan toksik (*toxic shock*) lingkungan lokal, serta pengujian yang masih berbasis substrat artifisial, bukan limbah RPU riil. Secara praktis, belum tersedianya formulasi konsorsium bakteri lokal yang stabil, adaptif, dan memiliki laju kinetika biodegradasi yang tinggi untuk diaplikasikan langsung pada sistem pengolahan limbah RPU eksisting.

Kebaruan penelitian ini bertumpu pada konstruksi konsorsium bakteri indigen yang diekstraksi dari ceruk ekologis (*ecological niche*) ekstrem, yaitu sedimen akumulatif kolam anaerobik RPU yang telah teradaptasi secara alami selama bertahun-tahun terhadap tekanan osmotik hidrofobik lipid. Formulasi konsorsium didasarkan pada eliminasi efek antagonisme antar-isolat untuk memastikan stabilitas fungsional. Tujuan penelitian ini disasarkan pada isolasi, karakterisasi fenotipik, pengujian kompatibilitas, serta evaluasi performa kinetika biodegradasi konsorsium bakteri indigen dalam mereduksi parameter COD, BOD, dan lipid pada limbah cair RPU riil.

METODE PENELITIAN

Sampel sedimen anaerobik dan limbah cair diperoleh dari Rumah Potong Unggas (RPU) Mitra Ternak Sejahtera, Bontonompo, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. Sedimen diambil dari kolam anaerobik menggunakan core sampler pada kedalaman 20–30 cm sebagai sumber isolat bakteri indigen. Sampel limbah cair diambil dari saluran efluen sebelum memasuki unit pengolahan limbah. Seluruh sampel disimpan dalam wadah steril dan dipertahankan pada suhu ±4 °C di dalam *coolbox* selama transportasi menuju laboratorium.

Media pertumbuhan yang digunakan meliputi Nutrient Agar (NA), Nutrient Broth (NB), dan Bushnell–Haas Medium (BHM). Olive oil 1% (Sigma-Aldrich) digunakan sebagai substrat lipolitik, sedangkan skim milk 1% (Difco) digunakan untuk pengujian aktivitas proteolitik. Peralatan utama meliputi *shaker incubator* (Memmert), spektrofotometer UV–Vis (Shimadzu UV-1800), dan reaktor tumpak aerobik skala laboratorium berkapasitas 5 L.

Isolasi dan Seleksi Isolat Hidrolitik Potensial

Isolasi bakteri dilakukan menggunakan metode *enrichment culture*. Sebanyak 10 g sedimen diinokulasikan ke dalam 90 mL BHM yang diperkaya limbah cair RPU sebanyak 1% (v/v), kemudian diinkubasi pada suhu 37 °C dengan agitasi 150 rpm selama 48 jam. Kultur hasil pengayaan diencerkan secara serial hingga 10^{-7} dan diinokulasikan pada medium NA menggunakan metode spread plate.

Skrining aktivitas proteolitik dilakukan pada medium Skim Milk Agar (SMA) 1%, sedangkan aktivitas lipolitik diuji pada medium BHM yang diperkaya olive oil 1% dan indikator rhodamine B 0,001%. Potensi hidrolitik isolat dievaluasi menggunakan indeks kliring (IK), yang dihitung berdasarkan perbandingan diameter zona bening terhadap diameter koloni.

$$\mathrm{IK} = \frac{\text{Diameter Zona Bening} - \text{Diameter Koloni}}{\text{Diameter Koloni}}$$

Kompatibilitas isolat diuji menggunakan metode cross-streaking pada medium NA. Setiap isolat ditumbuhkan secara tegak lurus tanpa kontak langsung dan diinkubasi selama 24–48 jam pada suhu 37 °C. Tidak terbentuknya zona hambat pada area interaksi ditafsirkan sebagai indikasi kompatibilitas dan potensi sinergisme antar-isolat untuk diformulasikan dalam konsorsium.

Formulasi Konsorsium dan Uji Bioremediasi

Konsorsium Bakteri Potensial Rumah Potong Unggas (KBP-RPU) diformulasikan dari tiga isolat unggul (RPU-1, RPU-3, dan RPU-7. Pengonstruksian Konsorsium Bakteri Potensial (KBP-RPU) pada rasio volume awal seimbang 1:1:1 dengan kerapatan optik yang disetarakan (OD_{600} = 0,8 ≈ 10^8 CFU/mL). Justifikasi teoritis pemilihan rasio awal yang setara ini ditujukan untuk meminimalkan efek *competitive exclusion* atau dominasi kinetika pertumbuhan oleh salah satu galur tunggal pada fasa lag. Dengan menyamakan biomassa awal secara proporsional, pembagian kerja metabolik (*metabolic labor division*) dalam menghidrolisis emulsi protein dan lipid pekat dapat diinisiasi secara simultan tanpa memicu represi katabolit prematur sebelum optimasi fasa lanjut dilakukan.

Uji biodegradasi dijalankan pada reaktor tumpak yang berisi 3 L limbah cair RPU steril tanpa perlakuan kimiawi awal. Konsorsium bakteri diinokulasikan sebanyak 10%

(v/v) ke dalam reaktor utama. Sebagai kontrol negatif (kontrol abiotik), satu reaktor tumpak paralel dioperasikan dengan volume limbah riil dan laju aerasi yang sama (2 L/menit) namun tanpa inokulasi konsorsium bakteri (0% v/v). Sistem dioperasikan pada suhu ruang dengan aerasi konstan selama 96 jam. Sampel diambil setiap 24 jam untuk analisis parameter lingkungan.

Analisis Parameter dan Pengolahan Data

Parameter yang diamati meliputi *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan metode refluks tertutup spektrofotometrik, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD_5) menggunakan metode Winkler setelah inkubasi lima hari, serta total lipid menggunakan metode gravimetri. Efisiensi biodegradasi dihitung berdasarkan persamaan: dan lipase). Persentase efisiensi biodegradasi (E) dihitung berdasarkan persamaan:

$$E = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Di mana C_0 adalah konsentrasi awal parameter (mg/L) dan Ct adalah konsentrasi pada waktu t (mg/L). Data kuantitatif disajikan dalam bentuk rerata ± standar deviasi (SD) dari tiga kali ulangan eksperimen, dilanjutkan dengan analisis tren kinetika menggunakan software OriginPro 2025.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Hidrolitik Eksogen Isolat Indigen

Proses isolasi dari sedimen RPU menghasilkan 18 isolat bakteri yang berbeda secara morfologi. Tahap skrining bertingkat kemudian diaplikasikan secara ketat untuk menyaring isolat yang akan menyusun konsorsium fungsional. Dari 18 isolat tersebut, tiga isolat unggul (RPU-1, RPU-3, dan RPU-7) dipilih berdasarkan tiga kriteria seleksi eksplisit: (1) Nilai indeks hidrolitik kuantitatif ekstrem, di mana RPU-1 mendominasi kapasitas proteolitik tertinggi dan RPU-3 memproyeksikan aktivitas lipolitik paling masif; (2) Kelengkapan relung amfolitik (ganda), yang diwakili secara strategis oleh RPU-7 karena memiliki kemampuan mendegradasi protein sekaligus lipid sebagai jembatan metabolik; serta (3) Diversitas fenotipik dan morfologis yang kontras (mencakup variasi pewarnaan Gram positif dan negatif, serta bentuk batang hingga kokobasil) guna menjamin fungsionalitas komunitas mikroba yang tangguh sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik makroskopis, mikroskopis, dan indeks hidrolitik isolat unggul

Kode Isolat	Morfologi Koloni	Pewarnaan Gram / Bentuk	IK Proteolitik	IK Lipolitik
RPU-1	Putih kapur, tepi tidak teratur	Gram (+) / Batang	3,45 ± 0,12	1,20± 0,08
RPU-3	Hijau-kekuningan, mukoid	Gram (-) / Batang	1,10 ± 0,05	4,12± 0,15
RPU-7	Krem, bulat, cembung	Gram (-) / Kokobasil	1,85 ± 0,09	2,78 ± 0,11

Fenomena tingginya indeks kliring ini mencerminkan tingginya laju sekresi serta efektivitas biokatalisis dari enzim protease dan lipase ekstraseluler yang diproduksi secara konstitutif maupun induksibel oleh sel bakteri sebagai respons adaptif evolusioner

terhadap ketersediaan makromolekul protein dan lipid yang pekat pada ceruk ekologis asalnya.

Hidrolisis kasein pada medium padat memutus ikatan peptida menjadi oligopeptida larut air yang memicu terbentuknya zona bening di sekitar koloni, sedangkan akumulasi asam lemak bebas hasil hidrolisis triasilgliserol oleh lipase interfasial berikatan secara spesifik dengan indikator rhodamine B untuk menghasilkan pendaran fluoresensi jingga di bawah paparan radiasi ultraviolet (Oliveira & Nascimento, 2023; Sarkar & Banerjee, 2020; Stemler et al., 2023).

Mekanisme ekskresi enzimatis berkadar tinggi ini dikendalikan oleh sistem regulasi operon fasa stasioner yang teraktivasi saat kepadatan sel terpenuhi, di mana gen pengode lipase interfasial pada isolat RPU-3 mengalami penyesuaian struktural konformasional pada situs aktifnya (lid domain) untuk meningkatkan afinitas terhadap substrat hidrofobik yang emulsif (Albayati et al., 2020; Bondar, 2020; Monsef Shokri et al., 2013).

Eksistensi isolat berkemampuan hidrolitik ganda dan ekstrem ini memberikan jaminan awal bahwa fase likuifaksi makromolekul kompleks dalam reaktor biologis dapat berlangsung dalam hitungan jam, secara efektif memangkas kebutuhan waktu tinggal hidrolik (*hydraulic retention time*) yang biasanya menjadi kendala utama dalam instalasi pengolahan limbah cair berskala industri.

Kompatibilitas dan Potensi Sinergisme Konsorsium KBP-RPU

Hasil pengujian kompatibilitas mutualistik menggunakan metode *cross-streaking* membuktikan absennya pembentukan zona hambat, lisis sel, atau penekanan pertumbuhan visual pada area persimpangan kultur antara isolat RPU-1, isolat RPU-3, dan isolat RPU-7, sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Matriks interaksi kualitatif uji kompatibilitas antar-isolat indigen KBP-RPU

Kode Isolat	RPU-1	RPU-3	RPU-7
RPU-1	/	+	+
RPU-3	+	/	+
RPU-7	+	+	/

Keterangan: (+) Menunjukkan pertumbuhan sinergis/normal (absennya zona hambat/lisis koloni); (/) Tidak diuji (kontrol mandiri).

Ketiadaan sifat antagonisme antar-isolat pada Tabel 2 ini mengindikasikan koeksistensi ekologis yang stabil, menegaskan bahwa senyawa metabolit sekunder yang disintesis oleh salah satu galur tidak bertindak sebagai agen inhibitor bagi pertumbuhan galur mitranya dalam satu medium tunggal. Di dalam prinsip ekologi mikroba rekayasa, kompatibilitas fisiologis semacam ini merupakan prasyarat mutlak untuk mengonstruksi pembagian kerja metabolik (*division of metabolic labor*) yang terkoordinasi secara spasial dan temporal, mencegah terjadinya dominasi satu spesies tunggal yang dapat meruntuhkan struktur komunitas (Ben Said & Or, 2017; Pascual-García et al., 2019, 2020; Thommes et al., 2018).

Stabilitas interaksi konsorsium indigen KBP-RPU menunjukkan keunggulan komparatif. Mekanisme koeksistensi non-antagonistik ini dimungkinkan oleh adanya komplementaritas metabolik, di mana produk antara hasil hidrolisis protein oleh Isolat RPU-1 menyediakan pasokan nitrogen organik terlarut yang menstimulasi pertumbuhan Isolat RPU-3, sementara produk buangan lipolitik berupa asam lemak rantai pendek segera diasimilasi secara tuntas oleh Isolat RPU-7 sebagai donor elektron, mengeliminasi efek inhibisi umpan balik (*feedback inhibition*) terhadap enzim lipase (Chattopadhyay et al., 2012; V et al., 2018; Zan et al., 2025). Formulasi konsorsium yang terbukti sinergis

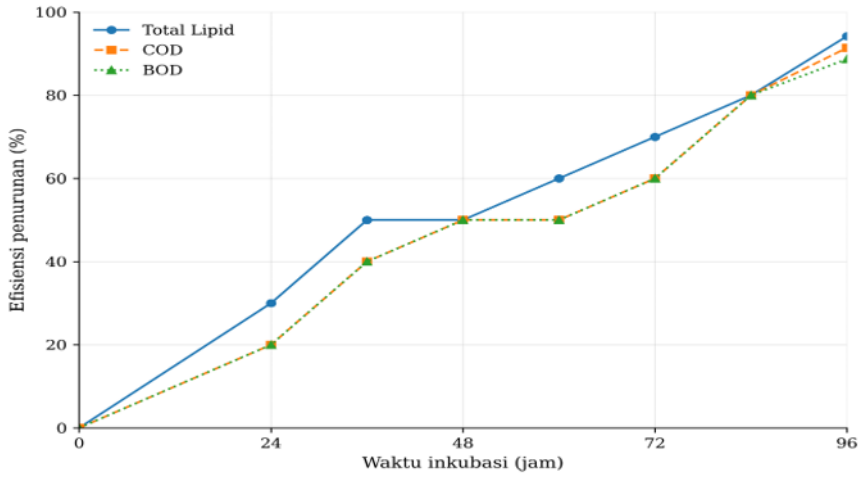
ini meletakkan landasan bioteknologis untuk menciptakan agen bioaugmentasi yang resisten terhadap kejutan toksik (*toxic shock*) akibat fluktuasi komposisi limbah cair RPU di lapangan.

Efisiensi Penurunan Total Lipid, COD, dan BOD oleh Konsorsium KBP-RPU pada Limbah Cair RPU

Eksperimen bioremediasi menggunakan reaktor tumpak aerobik menunjukkan bahwa konsorsium bakteri indigen KBP-RPU memiliki kemampuan biodegradasi yang tinggi terhadap limbah cair RPU. Setelah 96 jam inkubasi, total lipid mengalami penurunan sebesar 94,2%, dari konsentrasi awal 850 mg/L menjadi 49,3 mg/L. Selain itu, kadar COD dan BOD masing-masing menurun sebesar 91,4 ± 1,4% dan 88,7 ± 1,2%, yang menunjukkan terjadinya pengurangan substansial terhadap beban pencemar organik limbah cair.

Pola perubahan parameter yang ditampilkan pada Gambar 1 menunjukkan bahwa efisiensi biodegradasi meningkat secara progresif selama periode inkubasi. Penurunan mulai terlihat sejak 24 jam pertama dan terus meningkat hingga akhir pengamatan pada jam ke-96. Sebaliknya, hasil pengukuran pada reaktor kontrol abiotik (tanpa inokulum) menunjukkan profil penurunan parameter yang sangat tidak signifikan, di mana reduksi COD, BOD, dan total lipid berturut-turut hanya sebesar 4,2%, 3,5%, dan 1,8% selama 96 jam inkubasi. Kontras performa yang ekstrem ini secara empiris membuktikan bahwa penurunan beban polutan makro pada reaktor utama murni digerakkan oleh aktivitas biokatalisis enzimatik dari konsorsium KBP-RPU, sedangkan efek mekanis akibat aerasi konstan (*physical stripping*) hanya memberikan kontribusi minor terhadap pemulihan kualitas limbah.

Kecenderungan ini mengindikasikan bahwa konsorsium bakteri mampu beradaptasi dengan kondisi limbah serta mempertahankan aktivitas biodegradasinya sepanjang masa inkubasi. Peningkatan efisiensi yang relatif konsisten pada parameter lipid, COD, dan BOD juga menunjukkan bahwa proses degradasi kemungkinan berlangsung secara simultan terhadap fraksi organik kompleks yang terkandung dalam limbah cair RPU.



Gambar 1. Efisiensi penurunan total lipid, COD, dan BOD oleh konsorsium KBP-RPU selama 96 jam inkubasi.

Efisiensi reduksi lipid yang tinggi mengindikasikan kemampuan konsorsium dalam memanfaatkan substrat lemak kompleks sebagai sumber karbon. Dalam sistem aerobik,

degradasi lipid umumnya berlangsung melalui aktivitas lipase ekstraseluler yang menghidrolisis triasilgliserol menjadi gliserol dan asam lemak bebas untuk kemudian dimanfaatkan dalam proses metabolisme sel melalui jalur β-oksidasi (Bustamante-Torres et al., 2021; Chen et al., 2021; Yao et al., 2021). Walaupun aktivitas enzimatis tidak diukur secara kuantitatif dalam penelitian ini, tingginya kemampuan penyisihan lipid mengindikasikan adanya kontribusi mekanisme hidrolitik dari isolat penyusun konsorsium.

Selain reduksi lipid, penurunan COD dan BOD secara simultan menunjukkan berlangsungnya biodegradasi bahan organik terlarut maupun tersuspensi. COD menggambarkan total kebutuhan oksigen kimia untuk mengoksidasi bahan organik, sedangkan BOD merepresentasikan fraksi bahan organik yang dapat terdegradasi secara biologis. Penurunan kedua parameter tersebut mengindikasikan terjadinya pengurangan beban pencemar organik sekaligus peningkatan kualitas efluen hasil pengolahan (Mangkoedihardjo, 2023; Pasco & Hay, 2004; Rudaru et al., 2022).

Dengan menggunakan limbah cair RPU riil tanpa perlakuan awal kimiawi, konsorsium indigen KBP-RPU dalam penelitian ini menunjukkan performa yang kompetitif dengan menghasilkan reduksi COD sebesar 91,4% dan lipid sebesar 94,2% dalam 96 jam inkubasi. Temuan ini menunjukkan bahwa konsorsium bakteri indigen memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai agen bioaugmentasi biologis dalam pengolahan limbah cair RPU berkandungan organik tinggi. Namun demikian, studi lanjutan pada skala pilot serta evaluasi stabilitas performa jangka panjang tetap diperlukan sebelum implementasi operasional secara luas.

KESIMPULAN

Studi ini berhasil mengisolasi dan memformulasikan konsorsium bakteri indigen potensial (KBP-RPU) yang terdiri dari tiga isolat unggul (RPU-1, RPU-3, RPU-7) yang kompatibel tanpa antagonisme. Konsorsium menunjukkan efisiensi biodegradasi tinggi terhadap limbah cair Rumah Potong Unggas, dengan penurunan total lipid 94,2%, COD 91,4%, dan BOD 88,7% setelah 96 jam inkubasi. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan konsorsium bakteri indigen berpotensi meningkatkan efisiensi biodegradasi limbah cair berkandungan organik tinggi melalui aktivitas hidrolitik yang saling melengkapi antaranggota konsorsium. Dibandingkan pendekatan berbasis isolat tunggal, formulasi konsorsium KBP-RPU memperlihatkan performa biodegradasi yang kompetitif pada limbah cair RPU riil tanpa perlakuan awal kimiawi.

Secara aplikatif, konsorsium KBP-RPU berpotensi dikembangkan sebagai agen bioaugmentasi biologis untuk pengolahan limbah cair industri peternakan. Namun, penelitian lanjutan pada skala pilot dan evaluasi kestabilan performa jangka panjang masih diperlukan untuk mengonfirmasi efektivitasnya pada kondisi operasional lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Agus Fitriyanto, N., Hadi, S., Imam Bahtiyar, M., Adi Prasetyo, R., & Erwanto, Y. (2020). Characterization and growth profile of proteolytic strain PK-4 isolated from local slaughterhouse wastewater. *BIO Web of Conferences*, 28, 03001. https://doi.org/10.1051/bioconf/20202803001.

Albayati, S. H., Masomian, M., Ishak, S. N. H., Mohamad Ali, M. S. B., Thean, A. L., Mohd Shariff, F. B., Muhd Noor, N. D. B., & Raja Abd Rahman, R. N. Z. (2020). Main structural targets for engineering lipase substrate specificity. *Catalysts*, 10(7), 747. https://doi.org/10.3390/catal10070747.

Arkhipchenko, I. A., & Orlova, O. V. (2011). Prospects of using microbial ecotechnology for processing poultry farm wastes. *Russian Agricultural Sciences*, 37(6), 498–500. https://doi.org/10.3103/s1068367411060036.

Ben Said, S., & Or, D. (2017). Synthetic microbial ecology: Engineering habitats for modular consortia.

Frontiers in Microbiology, 81-20. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01125.

Bondar, A.-N. (2020). Phosphatidylglyerol lipid binding at the active site of an intramembrane protease. *The Journal of Membrane Biology*, 253(6), 563–576. https://doi.org/10.1007/s00232-020-00152-z.

Bustamante-Torres, M., Romero-Fierro, D., Estrella-Nuñez, J., & Bucio, E. (2021). Microbial degradation of lipids. In Inamuddin, M. I. Ahamed, & R. Prasad (Eds.), *Recent advances in microbial degradation*, 251–272. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0518-5_9.

Chainetr, S., Khiewwijit, R., Maneetien, N., & Chaiwongsar, S. (2020). Chicken slaughterhouse wastewater characteristics, current treatment and future challenges: A review. SHILAP Revista de Lepidopterología, 5(1), 41–55. https://doi.org/10.14456/rmutlengj.2020.6.

Chattopadhyay, M., Ganguly, S., & Banik, A. (2012). Role of metabolic inhibitors on lipase production by a mutant strain *Rhizopus arrhizus* AB1oo. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. 89, 127-130. https://doi.org/10.5281/zenodo.5751818.

Chen, L., Qian, X., Zhang, X., Zhou, X., Zhou, J., Dong, W., Xin, F., Zhang, W., Jiang, M., & Ochsenreither, K. (2021). Co-production of microbial lipids with valuable chemicals. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(3), 945–954. https://doi.org/10.1002/bbb.2209.

Dlangamandla, C., Ntwampe, S. K. O., Basitere, M., Chidi, B. S., & Okeleye, B. I. (2023). Biodefoamer-supported activated sludge system for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *Applied Sciences*, 13(16), 9225. https://doi.org/10.3390/app13169225.

Hubchyk, K., Hlushen, A., & Birukou, R. (2022). Promising microorganisms for treatment of poultry processing wastewater, *International Scientific Conference On Microbial Biotechnology (5th Edition*), 34. https://doi.org/10.52757/imb22.20.

Kiepper, B. (2001). A survey of wastewater treatment practices in the broiler industry. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 12, 12–25. https://doi.org/10.2175/193864701790864854.

Lozada, J. A. R., Silveira, K. C., Silva, L. J. D., Baldotto, M. A., & Baldotto, L. E. B. (2017). Prospecting for sludge bacteria from a poultry slaughterhouse, with potential for degrading organic substances. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(3), 1209-1216. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1209.

Maizatul, A., Al-Gheethi, A., Mohamed, R., & Amir, H. (2018). Characteristics of chicken slaughterhouse wastewater. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 637–642. https://doi.org/10.3303/cet1863107.

Mangkoedihardjo, S. (2023). Insights on sequential changes to the ratios of Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 11(2), 1–20. https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d10.0441.

Masse, L. (2001). Anaerobic degradation of fat particles in slaughterhouse wastewater with and without hydrolysis pretreatment. [Faculty Of Graduate Postdoctoral Studies]. In uO Research (University of Ottawa). https://doi.org/10.20381/ruor-7608.

Mbulawa, S., Ntwampe, S., Basitere, M., Mpentshu, Y., Dlangamandla, C., & Chidi, B. (2018a). Bio-Delipidation of Dissolved Air Flotation Pre-Treated Poultry Slaughterhouse Wastewater. https://doi.org/10.17758/eares4.eap1118213.

Mbulawa, S., Ntwampe, S., Basitere, M., Mpentshu, Y., Dlangamandla, C., & Chidi, B. (2018b). Microbial Screening for Bio-delipidation System of Pre-treated Poultry Slaughterhouse Wastewater: Impact of Solvents, Metal Ions and Detergents on Lipase Activity. https://doi.org/10.17758/eares4.eap1118252.

Monsef Shokri, M., Ahmadian, S., Akbari, N., & Khajeh, K. (2013). Hydrophobic Substitution of Surface Residues Affects Lipase Stability in Organic Solvents. *Molecular Biotechnology*, 56(4), 360–368. https://doi.org/10.1007/s12033-013-9716-y.

Nurandini, D., Syauqiah, I., Harivram, A., & Matanandao, D. (2024). Identification of potential pollution from liquid waste of micro, small and medium enterprises (MSMEs) poultry slaughterhouses. *Proceedings of the 1st International Conference on Environmental Science, Development, and Management (ICESDM 2023)*. https://doi.org/10.4108/eai.2-11-2023.2348022.

Oliveira, B. H., & Nascimento, V. M. G. (2023). Exploring microbial lipases: applications across industries, medicine, and beyond (73–111). Editora Cientifica Digital. https://doi.org/10.37885/230814179.

Pasco, N. F., & Hay, J. M. (2004). Biochemical oxygen demand and other organic pollution measures. *Water encyclopedia*, 37–41. https://doi.org/10.1002/047147844x.wq1514.

Pascual-García, A., Bonhoeffer, S., & Bell, T. (2019). Microbial metabolically cohesive consortia and ecosystem functioning. *In bioRxiv (Cold Spring Harbor Laboratory).* https://doi.org/10.1101/859421.

Pascual-García, A., Bonhoeffer, S., & Bell, T. (2020). Metabolically cohesive microbial consortia and ecosystem functioning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*,

375(1798), 20190245. https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0245.

Rudaru, D. G., Lucaciu, I. E., & Fulgheci, A. M. (2022). Correlation between BOD5 and COD – biodegradability indicator of wastewater. *Romanian Journal of Ecology & Environmental Chemistry*, 4(2), 80–86. https://doi.org/10.21698/rjeec.2022.207.

Sakthivel Murugan, S., & Deepan, P. (2020). Validation of slaughterhouse wastewater using expanded granular sludge bed reactor. *Emperor Journal of Applied Scientific Research*, 2(6), 25–34. https://doi.org/10.35337/ejasr.2020.v02i06.004.

Sarkar, S., & Banerjee, S. (2020). Growth and enzyme activity of lipolytic bacteria isolated from degrading oil cakes, 275–283. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1607-8_26.

Stemler, C. D., Lorenz, K. K., & Scherf, K. A. (2023). Rhodamine B-based lipase activity assay with natural substrates—development and application. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(2), 1063–1070. https://doi.org/10.1111/ijfs.16875.

Thakur, R., Bhoj, S., Jamwal, S., Biswal, P., Misra, B., Vallabhaneni, S., & Tarafdar, A. (2025). Management of Waste from Poultry Industry and Slaughterhouses. In *Biotechnological Approaches for Sustainable Environment Management*, 90–127. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003328926-4.

Thommes, M., Wang, T., Zhao, Q., Paschalidis, I. C., & Segrè, D. (2018). Designing metabolic division of labor in microbial communities. *In bioRxiv (Cold Spring Harbor Laboratory)*. https://doi.org/10.1101/442376.

V, S., Km, G., & K, R. (2018). Structural homogeneity in microbial lipases. *Microbiology: Current Research*, 2(12), 12-13. https://doi.org/10.4066/2591-8036.e106.

Yao, W., Liu, K., Liu, H., Jiang, Y., Wang, R., Wang, W., & Wang, T. (2021). A valuable product of microbial cell factories: Microbial lipase. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1-16. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.743377.

Zan, X., Li, A., Xu, Y., Meng, Q., Luo, T., Sun, L., Sun, W., & Cui, F. (2025). Lipases from bacteria and fungi: Classification, subcellular localization, and regulation of activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(27), 16697–16714. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c03695.