

Biodegradasi Hidrokarbon Crude Oil di Kawasan PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu menggunakan Konsorsium Bakteri Indigen

Riryng Novianty*, Yuharmen

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. HR Soebrantas Km 12,5, Pekanbaru 28293, Riau, Indonesia

*Correspondence e-mail: rirynnovianty@lecturer.unri.ac.id

Abstract

Riau Province is one of the largest producing areas of crude oil. Drilling and refining petroleum often produce waste crude oil in large quantities. One method that can be used to degrade waste is biodegradation using a consortium of microorganisms. This study examined the effectiveness of a consortium of indigenous bacteria in degrading hydrocarbon compounds. Growth tests and the ability of isolates to degrade hydrocarbons were carried out by inoculating isolates in liquid Bushnell Haas media containing crude oil of about 5% and incubating for 16 days. The potency of the indigen bacterial consortium during the degradation process is influenced by several parameters, including pH, OD (Optical Density), dan CO₂ observed on days 0, 4, 8, 12 and 16 days of incubation. KB₄ is the superior consortium in degrading hydrocarbon crude oil. Based on the analysis using GC-MS instruments, the bacteria consortium can degrade two hydrocarbon compounds in crude oil.

Keywords: Bacterial, biodegradation, consortium, crude oil

Abstrak

Provinsi Riau termasuk kawasan penghasil crude oil yang cukup besar, namun proses pengeboran dan pemurnian minyak bumi sering kali menghasilkan limbah crude oil dalam jumlah yang cukup banyak. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendegradasi limbah adalah biodegradasi menggunakan konsorsium mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektifitas konsorsium bakteri indigen dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon. Uji pertumbuhan dan kemampuan isolat dalam mendegradasi hidrokarbon dilakukan dengan cara inokulasi isolat dalam media Bushnell Haas cair yang mengandung crude oil sebanyak 5% yang diinkubasi selama 16 hari. Potensi konsorsium bakteri indigen selama proses degradasi dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya pH, OD (Optical Density), dan CO₂ yang diamati pada hari 0, 4, 8, 12 dan 16 hari inkubasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KB₄ merupakan konsorsium paling unggul dalam mendegradasi hidrokarbon crude oil. Berdasarkan hasil analisis hidrokarbon crude oil menggunakan instrumen GC-MS, konsorsium konsorsium bakteri dapat mendegradasi dua senyawa hidrokarbon crude oil.

Kata kunci: Bakteri, biodegradasi, crude oil, konsorsium

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, salah satunya adalah *crude oil* dengan Provinsi Riau sebagai salah satu penghasil minyak terbesar. Pertumbuhan industri perminyakan di Riau memicu pencemaran lingkungan. Pencemaran tersebut dapat disebabkan oleh kegiatan proses eksplorasi, produksi, pengilangan, hingga distribusi (Grifoni et al., 2017). Kegiatan industri perminyakan umumnya akan menghasilkan limbah di wilayah daratan yang kian meningkat sejalan dengan peningkatan aktivitas dibidang industri perminyakan. Penanganan yang tidak tepat tentuk akan menyebabkan pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi makhluk hidup (Adeogun & Adekunle, 2015; Darsa et al., 2014).

Limbah *crude oil* mengandung beberapa senyawa hidrokarbon alifatik dan aromatik dengan berat molekul tinggi. Keberadaan senyawa tersebut akan menyebabkan makhluk hidup yang terdapat dalam suatu ekosistem akan keracunan karena kekurangan oksigen serta senyawa tersebut yang bersifat karsinogenik (Yudono et al., 2013). Tingkat toksisitas hidrokarbon minyak bumi dapat bersifat akut hingga kronis. Efek toksik akut terjadi dalam jangka waktu yang relatif pendek dan gejala yang umum terjadi adalah rusaknya sistem saraf pusat. Sementara sifat toksik kronis dapat berlangsung dalam jangka waktu yang panjang dan akan menyebabkan kerusakan sel sumsum tulang hingga mengakibatkan kanker (Khan et al., 2018).

Received: 3 Mei 2023, Accepted: 20 Mei 2023 - Jurnal Photon Vol.13 No.2

DOI: <https://doi.org/10.37859/jp.v13i2.5053>

PHOTON is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Upaya yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran akibat limbah *crude oil* adalah dengan memanfaatkan agen biologis seperti mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mengurai senyawa hidrokarbon yang terdapat pada limbah (Xu et al., 2018). metode tersebut dikenal dengan istilah bioremediasi. Mikroorganisme indigen yang bersifat petrofilik merupakan biota lokal yang dapat dimanfaatkan. Kemampuan mikroba pendegradasi minyak bumi dapat ditingkatkan dengan menggabungkan beberapa isolat mikroorganisme (konsorsium) (Sudrajat et al., 2015).

Mikroorganisme indigen, baik bakteri (Antika & Novianty, 2019; Novianty et al., 2020; Novianty et al., 2020) maupun fungi (Novianty et al., 2020; Novianty et al., 2021; Sari et al., 2019) telah mendegradasi komponen hidrokarbon. Senyawa toksik naftalena juga telah dilaporkan dapat didegradasi oleh bakteri (Novianty et al., 2022; Novianty et al., 2020) dan fungi (Fitrida et al., 2019, 2020). Bakteri memiliki kemampuan biodegradasi dengan cepat karena komunitas mikroorganisme yang terpapar hidrokarbon sudah mengalami perubahan genetik sehingga lebih mudah beradaptasi dan lebih selektif (Katz & Everett, 2016). Beberapa penelitian yang telah dilakukan pada isolasi isolat bakteri yang mampu mengoksidasi dan degradasi berbagai macam hidrokarbon *crude oil* (n-alkana dan hidrokarbon aromatik), organisme tersebut diantaranya, *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp. (Koshlaf & Ball, 2017). Darsa et al., (2014) menyatakan bahwa aktivitas dan kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi hidrokarbon dapat dipantau menggunakan parameter *Optical Density* (OD), pH dan CO₂. Parameter tersebut dipantau pada hari 0, 4, 8, 12 dan 16 hari inkubasi. Tujuan utama dari penelitian untuk mengevaluasi efisiensi konsorsium bakteri dalam mendegradasi limbah *crude oil* di PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu diikuti dengan analisis produk biodegradasi menggunakan GC-MS.

2. Metodologi

2.1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain *Autoclave* (*All American Mode 25X-2*), spektrofotometer UV (Genesys 10S UV-Vis), *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS), Oven (*Fisher Scientific Model 655F*), *Incubator* (*Heraeus Instrument D6450*), *waterbath*, corong *buchner*, *blue tip*, *Laminar Air Flow Cabinet* (LAFC), *Orbital shaker* (*Daihan Labtech CO., LTD*), corong pisah, pH meter, pipet mikro, *erlenmeyer*, jarum ose, timbangan analitik (*Mettler AE 200*), spatula dan alat-alat standar laboratorium lainnya sesuai prosedur kerja.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain media *Nutrient Agar* (NA), media *Nutrient Broth* (NB), media Bushnell Haas terdiri dari: (0,02 g/L) CaCl₂, (1 g/L) KH₂PO₄, (1 g/L) K₂HPO₄, (0,05 g/L) FeCl₃, (1 g/L) NH₄NO₃, (0,2 g/L) MgSO₄.7H₂O dan 0,1% tween 80; akua demineralisasi (akua DM), NaCl, NaOH, indikator fenoltalein, n-heksan, aluminium foil, alkohol antiseptik 70% dan 5% *crude oil* (6,61 gram dalam 150 mL media) yang berasal dari pertambangan Badan Operasi Bersama (BOB) PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu, Kabupaten Siak, Provinsi Riau.

Mikroorganisme yang digunakan adalah isolat bakteri *Pseudomonas*, sp., yaitu BTM2, BTM5, dan BTM6. Konsorsium isolat bakteri (KB) dibagi menjadi 4 variasi, antara lain: KB₁ (isolat BTM2 dan BTM5), KB₂ (isolat BTM2 dan BTM6), KB₃ (isolat BTM5 dan BTM6), dan KB₄ (isolat BTM2, BTM5, dan BTM6). Kontrol yang digunakan berupa media bushnell haas dengan *crude oil* tanpa mikroorganisme.

2.2. Prosedur Kerja

2.2.1. Teknik isolasi konsorsium

Isolat bakteri telah diremajakan terlebih dahulu pada media NA. Media starter isolat bakteri (BTM1, BTM4, dan BTM8) pada media NB dalam erlenmeyer 250 mL kemudian diinkubasi selama 24 jam.

2.2.2. Uji efektivitas biodegradasi hidrokarbon *crude oil* menggunakan konsorsium bakteri

Media Bushnell Haas digunakan untuk uji efektivitas konsorsium dalam proses biodegradasi hidrokarbon *crude oil*. Isolat diinkubasi selama 16 hari menggunakan *rotary shaker* dengan kecepatan 150 rpm pada suhu kamar. Kemudian, masing-masing isolat akan diinokulasi ke dalam media Bushnell Hass sesuai dengan variasi

konsorsium. Masing-masing inokulum akan dipantau pada 0, 4, 8, 12, dan 16 hari untuk mengukur parameter pH, *Optical Density* (OD), dan kadar CO₂.

Penentuan OD ditentukan dengan mengukur absorbansi melalui spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm. Nilai pH ditentukan menggunakan pH meter. Estimasi kadar CO₂ ditentukan dengan cara mengambil 1 mL sampel kemudian dititrasi dengan NaOH 0,1 N dan menggunakan phenolphthalein sebagai indikator. Titik akhir titrasi dicapai setelah terjadinya perubahan warna yang disebabkan oleh indikator.

Pengukuran berat *crude oil* dilakukan setelah 16 hari inkubasi menggunakan pelarut n-heksan. Setelah ekstraksi, pelarut diuapkan dan *crude oil* ditimbang hingga berat konstan. Persentase biodegradasi *crude oil* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\%B = \frac{(BMo - BMn)}{BMo} \times 100\%$$

Dengan B : persen biodegradasi; BMo : berat *crude oil* awal (g); BMn : berat *crude oil* setelah degradasi (g).

2.2.3. Analisis komponen hidrokarbon *crude oil* menggunakan GC-MS

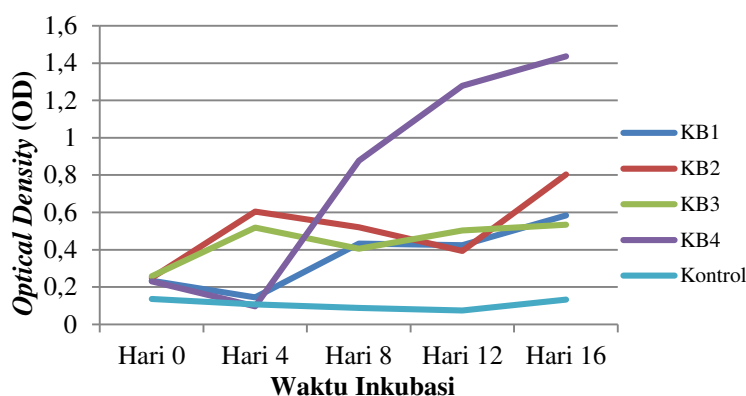
Komponen hidrokarbon yang terdapat pada *crude oil* setelah degradasi dianalisis menggunakan *Gas Chromatograph- Mass* (GC-MS). Dengan kondisi yang diatur, temperatur awal oven 35°C hingga mencapai temperatur maksimum 325°C. Pada fasa gerak, *split mode* diatur dengan temperatur awal 250°C, tekanan 1,30 psi, *split ratio* 100:1, *split flow* 55,5 mL/min, *total flow*: 59,1 mL/min. Gas yang digunakan adalah helium. Sementara kolom yang digunakan merupakan model *Agilent* dengan nomor 19091S-433 HP-5MS 5% fenil metil siloksan dengan maksimum temperatur 325°C dengan panjang 30 m, diameter 250 um, ketebalan layer 0,25 um. Volume injeksi 0,2 mikroliter dengan ukuran syringe 10,0 mikroliter.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Parameter *Optical Density* (OD) selama proses degradasi hidrokarbon *crude oil*

Pertumbuhan mikroorganisme dalam media bushnell haas cair dengan modifikasi pemberian *crude oil* 5% v/v diamati melalui parameter *Optical Density* (OD) pada masing-masing konsorsium dan kontrol selama waktu inkubasi 0, 4, 8, 12 dan 16 hari. OD diukur menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm. Pertumbuhan sel bakteri dilihat berdasarkan kekeruhan larutan (Vanishree et al., 2014).

Kenaikan pertumbuhan isolat bakteri terjadi pada hari ke-4 dan mengalami fluktuasi hingga hari ke-16. Namun, isolat KB4 memiliki nilai OD yang terus meningkat hingga hari ke-16. Hal ini dapat disebabkan karena isolat masih mengalami fase Log (eksponensial). Sedangkan konsorsium bakteri lainnya telah mencapai fase kematian (Gambar 1). Pertumbuhan mikroorganisme yang diinokulasikan pada media bushnell haas cair ditunjukkan dengan adanya peningkatan kekeruhan larutan (Sudrajat et al., 2015). Peningkatan nilai OD pada masa awal inkubasi menunjukkan bahwa mikroba menggunakan hidrokarbon sebagai substrat untuk pertumbuhan. Melalui pelepasan enzim ekstraseluler dan asam yang mampu memecah molekul hidrokarbon dengan pemotongan rantai panjang hidrogen dan karbon menjadi bentuk yang sederhana sehingga dapat diabsorpsi untuk nutrisi dan pertumbuhan mikroba. Nilai OD mengalami penurunan, dikarenakan berkurangnya ketersediaan nutrisi dan diduga adanya pelepasan zat toksik ke dalam media hasil dari proses degradasi hidrokarbon (Adeogun & Adekunle, 2015).

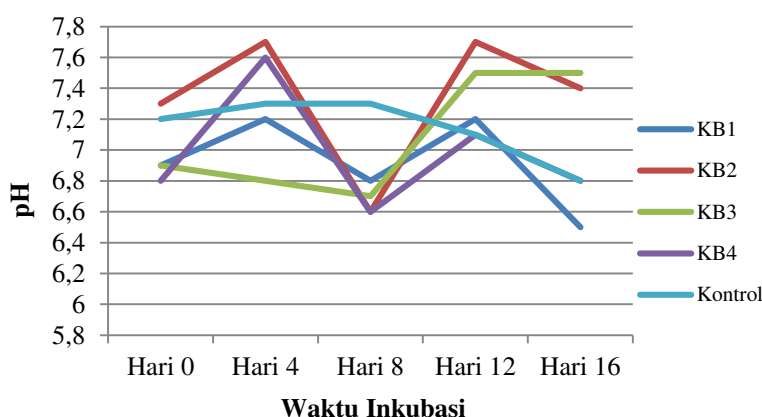


Gambar 1. *Optical Density* (OD) konsorsium bakteri dalam media Bushnell Haas cair pada suhu ruang, kecepatan agitasi 150 rpm.

3.2. Parameter pH selama proses degradasi hidrokarbon *crude oil*

Aktivitas metabolisme dan pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satu faktor terpenting adalah pH. Konsorsium bakteri bekerja pada pH 6,5-7,7 selama proses degradasi (Gambar 2). Parameter pH optimum untuk biodegradasi hidrokarbon adalah sekitar pH 6-8 (Grifoni et al., 2017).

Nilai pH konsorsium bakteri mengalami fluktuasi setelah proses degradasi hal ini menunjukkan bahwa adanya aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat terjadinya penurunan pH hingga hari ke 8 inkubasi. Penurunan pH yang terjadi mengindikasikan bahwa adanya perubahan kimia pada substrat (hidrokarbon) akibat aktivitas enzim yang dimiliki oleh mikroorganisme. Peningkatan konsentrasi asam karboksilat selama waktu inkubasi dapat menyebabkan pH menjadi turun (Lund et al., 2020). Pemanfaatan *crude oil* sebagai sumber karbon dan energi mempengaruhi aktivitas metabolisme yang terjadi pada mikroorganisme dan pertumbuhan mikroorganisme dengan produksi asam karboksilat terjadi secara bersamaan (Grifoni et al., 2017). Produksi asam karboksilat selama proses degradasi menyebabkan perubahan pH yang juga mengindikasikan terjadinya degradasi kontaminan senyawa dalam *crude oil*, salah satunya adalah degradasi senyawa alkana. Alkana merupakan kelas terbesar dari senyawa kimia yang menyusun senyawa hidrokarbon *crude oil* (Murali et al., 2017). Setelah hari ke-8 terjadi peningkatan pH yang menandakan bahwa mikroorganisme melakukan homeostasis terhadap tingkat keasaman media.



Gambar 2. pH konsorsium bakteri dalam media bushnell haas cair pada suhu ruang, kecepatan agitasi 150 rpm.

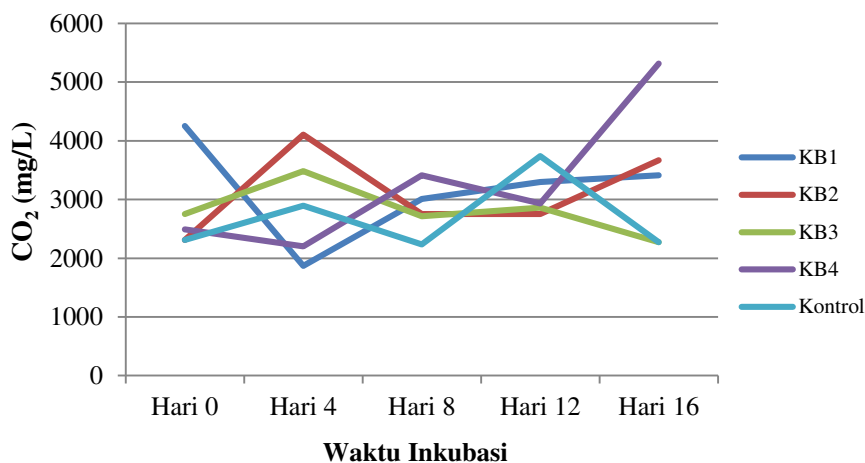
3.3. Parameter CO₂ selama proses degradasi hidrokarbon *crude oil*

Received: 3 Mei 2023, Accepted: 20 Mei 2023 - Jurnal Photon Vol.13 No.2

DOI: <https://doi.org/10.37859/jp.v13i2.5053>

PHOTON is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Pelepasan CO₂ selama degradasi minyak mentah dapat digunakan sebagai indikator aktivitas mikroorganisme dalam media. Pada Gambar 3. dapat dilihat bahwa terjadi fluktuasi kadar CO₂ pada media hingga hari ke 16 masa inkubasi.



Gambar 3. CO₂ konsorsium bakteri media bushnell haas cair pada suhu ruang, kecepatan agitasi 150 rpm.

Peningkatan konsentrasi CO₂ menunjukkan adanya peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi hidrokarbon *crude oil*. Sebagian besar reaksi biodegradasi berlangsung secara aerobik dengan inidikasi terbentuknya gas CO₂. Hal ini disebabkan pemecahan senyawa hidrokarbon memerlukan oksigen untuk menghasilkan enzim oksigenase yang akan menghasilkan CO₂ (Rosmawati & Rijal, 2020). Salah satu faktor penyebab penurunan nilai CO₂ selama proses degradasi adalah penurunan ketersediaan nutrisi dalam media (Darsa et al., 2014).

3.4. Uji degradasi hidrokarbon *crude oil* oleh konsorsium bakteri menggunakan metode gravimetri

Analisis gravimetri dilakukan untuk mengetahui residu hasil degradasi hidrokarbon *crude oil* oleh konsorsium bakteri. Isolat KB₄ menunjukkan aktivitas paling unggul dalam mendegradasi hidrokarbon minyak dengan persentase 55,21% (Tabel 1).

Tabel 1. Berat konstan dan persentase *crude oil* setelah degradasi oleh konsorsium bakteri

Mikroorganisme	Konsorsium	Berat <i>Crude Oil</i> setelah Degradasi (gram)	Persentase <i>Crude Oil</i> yang Terdegradasi
Bakteri	KB ₁	2,6569	36,02%
	KB ₂	2,5864	37,09%
	KB ₃	3,2546	26,98%
	KB ₄	1,3886	55,21%

KB₄ merupakan konsorsium yang terdiri dari 3 isolat dengan genus yang sama yaitu BTM2 (*Pseudomonas* sp.), BTM5 (*Pseudomonas* sp.), dan BTM6 (*Pseudomonas* sp.). sehingga adaptasi isolat terhadap lingkungan akan lebih cepat. Katz & Everett, (2016) menyatakan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi proses degradasi hidrokarbon minyak mentah adalah kemampuan isolat yang cepat beradaptasi terhadap lingkungannya. Menurut Wu et al., (2020) bahwa isolat dari genus yang sama dalam proses degradasi memiliki efek sinergis yang lebih besar sehingga efektivitas degradasi juga akan meningkat. Bakteri mengubah minyak bumi menjadi bentuk atau produk yang lebih sederhana dan dapat diserap untuk pertumbuhan.

Dari 10 senyawa hidrokarbon yang terdapat pada *crude oil*, dua senyawa dapat didegradasi oleh isolat KB₄. Senyawa tersebut merupakan kelompok hidrokarbon alifatik yaitu Dodekana (C₁₂H₂₆) dan aromatik yaitu Fe-trikarbonil[N-(fenil-2-piridinilmetilena)benzen-amin-N,N'] (C₂₁H₁₄FeN₂O₃).

Tabel 2. Hasil analisis GC-MS konsorsium bakteri (KB₄) dan kontrol

No.	Komposisi Senyawa <i>Crude Oil</i>	Kontrol			KB ₄		
		Keberadaan	waktu retensi	% area	Keberadaan	waktu retensi	% area
1.	Metilsiklopentana (C ₆ H ₁₂)	√	1,594	7,99	√	1,589	6,35
2.	Dodekana (C ₁₂ H ₂₆)	√	7,708	3,07	x	x	x
3.	Tridekana (C ₁₃ H ₂₈)	√	9,389	4,93	√	9,389	2,68
4.	Tetradekana (C ₁₄ H ₃₀)	√	11,022	6,84	√	11,021	5,14
5.	Pentadekana (C ₁₅ H ₃₂)	√	12,586	8,82	√	12,585	8,01
6.	Fe-trikarbonil[N-(fenil-2-piridinilmetilena)benzena mina-N,N'] (C ₂₁ H ₁₄ FeN ₂ O ₃)	√	18,126	7,62	x	x	x
7.	Pristana (C ₁₉ H ₄₀)	√	15,563	4,21	√	15,561	4,83
8.	Eikosana (C ₂₀ H ₄₂)	√	16,839	8,28	√	16,839	8,17
9.	Hentriakontana (C ₃₁ H ₆₄)	√	20,525	6,80	x	x	x
10.	Pentakosana (C ₂₅ H ₅₂)	√	21,648	6,15	√	20,527	6,78

Keterangan :

√ = senyawa hidrokarbon yang belum terdegradasi

x = senyawa hidrokarbon yang telah terdegradasi

Mikroorganisme akan mendegradasi hidrokarbon *crude oil* dari senyawa ikatan sederhana hingga ikatan kompleks, sehingga urutan degradasi hidrokarbon adalah n-alkana, alkana rantai bercabang, senyawa aromatik dan alkana ikatan siklik. Hal tersebut dikarenakan untuk mendegradasi senyawa yang lebih kompleks membutuhkan waktu yang lebih lama (Kermani et al., 2013). Yudono et al., (2013) menyatakan bahwa mikroorganisme yang mampu menghasilkan enzim yang berfungsi sebagai biokatalisator pada proses biodegradasi senyawa alifatik oleh enzim alkana monooksidase.

Degradasi senyawa alifatik (n-alkana) oleh mikroba melalui jalur biodegradasi hidrokarbon alifatik secara bertahap. Sebagai contoh dalam degradasi hidrokarbon alifatik, mikroorganisme menggunakan enzim monooksigenase. Degradasi alkana secara aerobik biasanya dimulai dengan oksidasi kelompok metil yang menghasilkan alkohol primer. Produk ini selanjutnya dioksidasi oleh alkohol dehidrogenase dan aldehyd dehidrogenase untuk membentuk aldehyd yang kemudian dioksidasi lagi menjadi asam karboksilat (Koshlaf & Ball, 2017).

Degradasi senyawa aromatik oleh mikroba dimulai melalui proses katabolisme dimulai dengan langkah oksidasi dari salah satu cincin aromatik. Pada dasarnya, reaksi ini dikatalisis oleh enzim hidroksilase hidrokarbon aromatik dan bentuk cis-dihydrodiols. Dihydrodiol kemudian dioksidasi dengan enzim dehidrogenase reaksi untuk menghasilkan turunan PAH. Senyawa intermediet dihidroksilase mungkin terbentuk melalui jalur pembelahan intradiol (ortho) atau melalui cincin intradiol (meta) jalur pembelahan, dengan pembentukan katekol dan selanjutnya dimetabolisme menjadi karbon dioksida dan air melalui siklus TCA (siklus kreb) (Koshlaf & Ball, 2017)

4. Kesimpulan

Konsorsium bakteri menjadi salah satu upaya alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan lingkungan akibat aktivitas industri minyak. Keempat variasi konsorsium yang menggabungkan beberapa isolat bakteri *Pseudomonas* sp. memiliki nilai OD yang menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme hingga kondisi maksimum, nilai pH tertinggi mengindikasikan laju maksimum biodegradasi, serta nilai CO₂ tertinggi menunjukkan aktivitas maksimum mikroorganisme. Dari keempat konsorsium, aktivitas terbaik ditunjukkan oleh KB₄ (terdiri dari isolat BTM 2, BTM5, dan BTM6) dengan persentase degradasi sebesar 55,21% dan mampu mendegradasi dua senyawa hidrokarbon pada *crude oil*.

Daftar Pustaka

Adeogun, O. O., & Adekunle, A. A. (2015). Biodegradation of Petroleum Products Using Phylloplane Fungi Isolated From Selected Plants Biodegradation of Petroleum Products Using Phylloplane Fungi Isolated From Selected Plants. *Journal of Scientific Research and Development*, 15, 45–33.

Received: 3 Mei 2023, Accepted: 20 Mei 2023 - Jurnal Photon Vol.13 No.2

DOI: <https://doi.org/10.37859/jp.v13i2.5053>

PHOTON is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

- Antika, B., & Novianty, R. (2019). Penentuan kurva pertumbuhan pseudomonas sp. lbkurcc149. *Repository University of Riau*.
- Darsa, K. V., Thatheyus, A. J., & Ramya, D. (2014). Biodegradation of Petroleum Compound Using the Bacterium *Bacillus subtilis*. *Science International*, 20–25. <https://doi.org/10.17311/sciintl.2014.20.25>
- Fitrida, A., Apriyana, K., Astuti, R., & Novianty, R. (2019). Biodegradasi senyawa toksik naftalena pencemar lingkungan menggunakan isolat fungi indigen. *Jurnal Ipteks Terapan*, 13(2), 165–174.
- Fitrida, A., Novianty, R., Saryono, Awaluddin, A., & Pratiwi, N. W. (2020). Optimasi pertumbuhan isolat fungsi indigen *Penicilium* sp. LBKURCC153 pendegradasi naftalena menggunakan glukosa sebagai kosubstrat pada minimal medium. *Jurnal Inovasi Pendidikan Dan Sains*, 01(01), 20–25.
- Grifoni, M., Petruzzelli, G., Barbaferi, M., & Rosellini, I. (2017). Soil Quality Protection at Heavy Contaminated Manufactured Gas Plant Sites : Role of Biological Remediation. In *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants* (pp. 231–260). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55426-6>
- Katz, B., & Everett, M. A. (2016). An Overview of Pre-Devonian Petroleum Systems – Unique Characteristics and Elevated Risks. *Marine and Petroleum Geology*, 73(2), 116–126. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20131811>
- Kermani, A. J. N., Ghasemi, M. F., Khosravan, A., Farahmand, A., & Shakibaie, M. R. (2013). Cadmium bioremediation by metal-resistant mutated bacteria isolated from active sludge of industrial effluent Cadmium bioremediation by metal resistant mutated bacteria isolated from active sludge. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 7(4), 279–286.
- Khan, M. A. I., Biswas, B., Smith, E., Naidu, R., & Megharaj, M. (2018). Toxicity assessment of fresh and weathered petroleum hydrocarbons in contaminated soil- a review. *Chemosphere*, 1–54. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.094>
- Koshlaf, E., & Ball, A. S. (2017). Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments. *Microbiology*, 3(1), 25–49. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2017.1.25>
- Lund, P. A., Biase, D. De, Nuno, P. M., Cetecioglu, Z., Fernandez, E. N., Sara, B.-C., Hall, R., Sauer, M., & O'Byrne, C. (2020). Understanding How Microorganisms Respond to Acid pH Is Central to Their Control and Successful Exploitation. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.556140>
- Murali, N., Srinivas, K., & Ahring, B. K. (2017). Biochemical Production and Separation of Carboxylic Acids for Biorefinery Applications. *Fermentation*, 3(22), 1–25. <https://doi.org/10.3390/fermentation3020022>
- Novianty, R., Dahliaty, A., Nasution, N. I., & Haryati. (2020). Biodegradasi popok bayi bekas menggunakan jamur dan bakteri selulolitik dengan fermentasi padat. *Jurnal Inovasi Pendidikan Dan Sains*, 01(01), 13–19.
- Novianty, R., Antika, B., & Awaluddin, A. (2022). Naphthalene degradation by *Pseudomonas* sp. LBKURCC419 strain with addition of glucose as cosubstrate. *Biodiversitas*, 23(11), 5654–5661. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231115>
- Novianty, R., Antika, B., Saryono, Awaluddin, A., & Pratiwi, N. W. (2020). Potensi tiga isolat bakteri indigen dari Kabupaten Siak Provinsi Riau dalam Mendegradasi Naftalena. *Jurnal Kimia*, 14(41), 94–100.
- Novianty, R., Awaluddin, A., & Pratiwi, N. W. (2020). Bakteri Indigen Pendegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi di Kabupaten Siak Provinsi Riau. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 09(1), 34–40.
- Novianty, R., Saryono, Awaluddin, A., Pratiwi, N. W., Hidayah, A., & Juliantari, E. (2021). The diversity of fungi consortium isolated from polluted soil for degrading petroleum hydrocarbon. *Biodiversitas*, 22(11), 5077–5084. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221145>
- Rosmawati, T., & Rijal, M. (2020). Isolation And Activity Test Of Hydrocarbon Degrading Mold From The Petroleum Waste Of Pt Ollopo Bula In West Seram District. *Pollution Research*, 39, 1–8.
- Sari, E. M., Novianty, R., Awaluddin, A., Saryono, & Pratiwi, N. W. (2019). Effectiveness of crude oil degrading fungi isolated from petroleum hydrocarbon contaminated soil in Siak, Riau. *Acta Biochimica Indonesiana*, 2(1), 15–22.
- Sudrajat, D., Mulyana, N., & Retno, T. (2015). Isolasi dan aplikasi mikroba indigen pendegradasi hidrokarbon dari tanah tercemar minyak bumi. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*, 101–109.
- Vanishree, M., Thatheyus, A. J., & Ramya, D. (2014). Biodegradation of Petrol Using the Fungus *Penicillium* sp. *Science International*, 26–31. <https://doi.org/10.17311/sciintl.2014.26.31>
- Wu, X., Gu, Y., Wu, X., Zhou, X., Zhou, H., Amanze, C., Shen, L., & Zeng, W. (2020). Construction of a Tetracycline

Received: 3 Mei 2023, Accepted: 20 Mei 2023 - Jurnal Photon Vol.13 No.2

DOI: <https://doi.org/10.37859/jp.v13i2.5053>

PHOTON is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

- Degrading Bacterial Consortium and Its Application Evaluation in Laboratory - Scale Soil Remediation. *Microorganisms*, 8(292), 1–18. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020292>
- Xu, X., Liu, W., Tian, S., Wang, W., Qi, Q., & Jiang, P. (2018). Petroleum Hydrocarbon-Degrading Bacteria for the Remediation of Oil Pollution Under Aerobic Conditions: A Perspective Analysis. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885>
- Yudono, B., Estuningsih, S. P., Said, M., & Napoleon, A. (2013). Eksplorasi Bakteria indigen Pendegradasi Limbah Minyak Bumi di Wilayah PT Pertamina UBEP Limau Muara Enim. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 127–134.