

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PENGARUH PENAMBAHAN DISPERSAN PADA KINERJA PROSES BIOREMEDIASI AIR LAUT TERCEMAR MINYAK BUMI MENGGUNAKAN *Bacillus subtilis* CYA27

KURNIA YATI



**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengaruh Penambahan Dispersan pada Kinerja Proses Bioremediasi Air Laut Tercemar Minyak Bumi menggunakan *Bacillus subtilis* CYA27” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Kurnia Yati
P0501211021

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

KURNIA YATI. Pengaruh Penambahan Dispersan pada Kinerja Proses Bioremediasi Air Laut Tercemar Minyak Bumi menggunakan *Bacillus subtilis* CYA27. Dibimbing oleh MUHAMAD YANI dan ANAS MIFTAH FAUZI.

Eksplorasi dan pengolahan minyak bumi menghasilkan limbah limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang bersifat toksik dan karsinogenik. Bioremediasi merupakan pendekatan ramah lingkungan untuk mengatasi tumpahan minyak di laut dengan memanfaatkan bakteri, yang kinerjanya dapat ditingkatkan melalui penambahan surfaktan sebagai pengemulsi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi Bio-OSD dan *Bacillus subtilis* CYA27 mampu mendegradasi 56,36% cemaran minyak pada pasir yang terkontaminasi minyak. Diperlukan uji lebih lanjut di perairan laut untuk mengevaluasi efektivitas sebagai solusi penanganan tumpahan minyak.

Metode penelitian dimulai dengan peremajaan dan pembuatan kurva pertumbuhan bakteri *Bacillus subtilis* CYA27, diikuti dengan uji bioremediasi dan toksisitas. Bioremediasi *crude oil* dilakukan pada erlenmeyer dengan *Oil Spill Dispersant* (OSD) terhadap minyak sebesar 0,1:1, 0,5:1, dan 1:1, serta penambahan 9% v/v kultur bakteri. Parameter bioremediasi yaitu nilai pH, populasi bakteri, dan penurunan total petroleum hidrokarbon (awal-akhir) diamati selama 14 hari. Uji toksisitas dilakukan untuk mengevaluasi tingkat toksisitas produk OSD serta perlakuan setelah proses bioremediasi. Sebelum pengujian, hewan uji diaklimatisasi terlebih dahulu untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan baru dengan waktu pemaparan selama 24 dan 96 jam.

Bioremediasi air terkontaminasi *crude oil* menggunakan OSD dan *B. subtilis* CYA27 efektif dalam mendegradasi minyak dilihat dari hasil *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) tertinggi pada Bio-OSD dengan (DOR) 0,5:1 yaitu 68,5% dan nilai pH menunjukkan fluktuasi antara 7,15–8,59. Percobaan non-Bio-OSD TPH tertinggi dengan (DOR) 0,1:1 yaitu 40,33% dan pH berfluktuasi pada kisaran 7,61–8,33. Pengamatan jumlah sel menunjukkan bahwa populasi bakteri pada perlakuan Bio-OSD dan non-Bio-OSD mengalami fluktuasi signifikan, dengan kisaran $9,8 \times 10^6$ hingga 21×10^6 sel/mL. Uji probit dengan tingkat kepercayaan 95%, Bio-OSD pada konsentrasi 2880,061 ppm (>100 ppm) dikategorikan sebagai “praktis tidak beracun” yang menyebabkan kematian 50% populasi benur udang dalam 96 jam. Nilai LC_{50} non-Bio-OSD sebesar 36,924 ppm (10–100 ppm), yang tergolong dalam kategori “sedikit beracun”, karena menyebabkan kematian 50% populasi benur dalam durasi 96 jam.

Perlakuan setelah bioremediasi Bio-OSD dengan penambahan *B. subtilis*, nilai LC_{50} tercatat lebih rendah dibandingkan Bio-OSD tanpa bakteri pada seluruh interval waktu. Hasil penelitian menunjukkan kedua perlakuan tergolong 'sedikit beracun' ($LC_{50} > 10$ ppm) pada paparan 24 jam, sedangkan pada paparan 48 hingga 96 jam, nilai LC_{50} menurun ke rentang 1–10 ppm yang termasuk dalam kategori “cukup beracun”. Perlakuan non-Bio-OSD dengan penambahan *B. subtilis* menyebabkan penurunan nilai LC_{50} dibandingkan tanpa bakteri, terutama pada waktu pemaparan 72 dan 96 jam. Paparan 24 jam menunjukkan kedua perlakuan

masih tergolong “sedikit beracun” ($LC_{50} > 10$ ppm). Perlakuan Bio-OSD mengalami penurunan nilai LC_{50} hingga masuk ke kategori “cukup beracun” (1–10 ppm) dalam rentang waktu 48 hingga 96 jam. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan *B. subtilis* cenderung meningkatkan toksisitas media, meskipun toksisitas perlakuan non-Bio-OSD tetap lebih tinggi dibandingkan Bio-OSD di setiap interval waktu setelah bioremediasi air laut tercemar minyak bumi.

Kata kunci: *Bacillus subtilis* CYA27, bioremediasi, *oil spill dispersant*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

KURNIA YATI. Effect of Dispersant Addition on the Performance of Petroleum Contaminated Seawater Bioremediation Process using *Bacillus subtilis* CYA27. Supervised by MUHAMAD YANI and ANAS MIFTAH FAUZI.

Petroleum exploration and processing generate hazardous waste that is both toxic and carcinogenic. Bioremediation represents an environmentally friendly approach to addressing marine oil spills by utilizing bacteria, whose degradation performance can be enhanced through the addition of surfactants as emulsifying agents. Previous studies have demonstrated that the combination of Bio-OSD and *Bacillus subtilis* CYA27 is capable of degrading up to 56.36% of petroleum contamination in oil-contaminated sand. Further evaluation in marine environments is required to assess its effectiveness as a viable oil spill mitigation strategy.

The research began with the rejuvenation and growth curve analysis of *Bacillus subtilis* CYA27, followed by bioremediation and toxicity testing. Crude oil bioremediation was carried out in Erlenmeyer flasks using OSD-to-oil ratios of 0.1:1, 0.5:1, and 1:1, each supplemented with 9% (v/v) bacterial culture. Bioremediation parameters including pH, bacterial population, and reduction in total petroleum hydrocarbons (TPH) from initial to final values were monitored over a 14-day period. Toxicity tests were conducted to assess the toxicity levels of OSD products and post-bioremediation treatments. Prior to testing, the test organisms were acclimatized to allow adaptation to the new environmental conditions. Toxicity exposure durations were set at 24 and 96 hours.

Bioremediation of crude oil-contaminated water using OSD and *Bacillus subtilis* CYA27 was effective in degrading oil, as indicated by the highest TPH reduction in the Bio-OSD treatment with a dispersant-to-oil ratio (DOR) of 0.5:1, reaching 68.5%. The pH values in this treatment fluctuated between 7.15 and 8.59. In the non-Bio-OSD treatment, the highest TPH reduction was observed at a DOR of 0.1:1, with a value of 40.33%, while the pH ranged from 7.61 to 8.33. Cell count observations revealed that bacterial populations in both Bio-OSD and non-Bio-OSD treatments fluctuated significantly, ranging from 9.8×10^6 to 21×10^6 cells/mL. A probit analysis with a 95% confidence level indicated that Bio-OSD at a concentration of 2,880.061 ppm (>100 ppm) was categorized as “practically non-toxic,” causing 50% mortality in shrimp fry after 96 hours of exposure. In contrast, the LC_{50} value of non-Bio-OSD was 36.924 ppm (10–100 ppm), classifying it as “slightly toxic,” as it also caused 50% mortality in shrimp fry within 96 hours.

The post-bioremediation treatments, the addition of *Bacillus subtilis* resulted in lower LC_{50} values compared to treatments without bacterial inoculation at all observation times. At 24 hours of exposure, both Bio-OSD and non-Bio-OSD treatments were classified as “slightly toxic” ($LC_{50} > 10$ ppm). From 48 to 96 hours, LC_{50} values declined to the range of 1–10 ppm, indicating a “moderately toxic” classification. The non-Bio-OSD treatment with *B. subtilis* showed a greater reduction in LC_{50} values, particularly at 72 and 96 hours, compared to the treatment without bacteria. In the Bio-OSD treatment, LC_{50} values continued to decrease over time, falling into the “moderately toxic” category between 48 and 96 hours. These findings suggest that the addition of *B. subtilis* tends to increase the toxicity

of the medium. Moreover, non-Bio-OSD treatments consistently exhibited higher toxicity than Bio-OSD at each observation interval following bioremediation of petroleum-contaminated seawater.

Keywords: Bacillus subtilis CYA27, bioremediation, oil spill dispersant.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**PENGARUH PENAMBAHAN DISPERSAN PADA KINERJA
PROSES BIOREMEDIASI AIR LAUT TERCEMAR MINYAK
BUMI MENGGUNAKAN *Bacillus subtilis* CYA27**

KURNIA YATI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Bioteknologi

**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Pengaruh Penambahan Dispersan pada Kinerja Proses Bioremediasi
Air Laut Tercemar Minyak Bumi menggunakan *Bacillus subtilis*
CYA27

Nama : Kurnia Yati
NIM : P0501211021

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, M. Eng.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M. Eng.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M. Si.
NIP. 196204191989031001

mr 2.

Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F. Trop, IPU
NIP. 197003291996081001



[Signature]

Tanggal Ujian: 29 Juli 2025

Tanggal Lulus: 08 AUG 2025

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga proposal usulan penelitian ini berhasil diselesaikan. Tulisan ini adalah Proposal Penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Dispersan pada Kinerja Proses Bioremediasi Air Laut Tercemar Minyak Bumi menggunakan *Bacillus subtilis* CYA27”.

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof Dr. Ir. Moh. Yani, M.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng. yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing serta memberi saran dan masukan selama penelitian dan penulisan tesis ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Dwi Andreas Santosa, MS. selaku penguji luar komisi pembimbing atas saran dan masukannya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M. Si. Selaku ketua program studi Bioteknologi atas kritik, saran, dan masukan dalam perbaikan tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen-dosen Program Studi Bioteknologi atas seluruh ilmu yang diberikan, serta bapak Keresyanto yang telah sabar memberikan bantuan, arahan dan saran kepada penulis. Terima kasih kepada direktorat riset dan inovasi IPB atas dukungan pendanaan melalui skema riset kolaborasi nasional tahun 2024 nomor: 467/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2023 Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng. yang memungkinkan terlaksananya penelitian ini.

Penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada orang tua Ibu Wa Fia, S.Pd., dan almarhum Udin Mindi, serta saudara penulis Rahmat King, keluarga besar La Tonda, dan keluarga besar Muhsin, S.Si., M.Si., atas doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti selama penulis menempuh pendidikan Magister di IPB. Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh staf dan teknisi Laboratorium Bioteknologi Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Terimakasih kepada seluruh staf dan teknisi Laboratorium Teknik Manajemen Lingkungan, Departemen Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada rekan-rekan seperjuangan sekaligus satu bimbingan Aulia Sundari, Yeni Veronika, Nabila Stra Ilma, dan Muhammad Rido Fitriyah atas dukungan, kerja sama, dan kebersamaan yang terjalin selama masa studi. Penghargaan yang sama juga disampaikan kepada Cucu Wijayanti dan Khaerun Nisa atas semangat, motivasi, dan dukungan yang tiada henti dalam menemani penulis selama menempuh pendidikan. Penulis menyampaikan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan di Program Studi Bioteknologi angkatan 2021 serta Keluarga Besar Ikatan Mahasiswa Pascasarjana Sulawesi Tenggara (IMPSRA) atas jalinan persaudaraan, persahabatan, kerja sama, dan kebersamaan selama menempuh pendidikan. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Kurnia Yati

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	iv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Karakteristik Cemaran Minyak Bumi di Perairan	3
2.2 Bioremediasi Tumpahan Hidrokarbon	4
2.3 Bakteri Pendeградasi Minyak Bumi	5
2.4 <i>Oil Spill Dispersant</i> (OSD)	6
2.5 Bioassay	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Tahapan Penelitian	9
3.4 Prosedur Penelitian	10
3.4.1 Persiapan Sampel Air Laut	10
3.4.1 Peremajaan dan Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri	10
3.4.2 Adaptasi Kultur Bakteri	10
3.4.3 Uji Bioremediasi	10
3.4.4 Uji Bioassay	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Pertumbuhan <i>Bacillus subtilis</i> CY27	15
4.2 Perubahan pH pada Bioremediasi Air Laut	15
4.3 Perubahan Populasi Bakteri pada Bioremediasi Air Laut Tercemar <i>Crude Oil</i>	17
4.4 Degradasi Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)	19
4.5 Perubahan Senyawa Hidrokarbon	21
4.6 Evaluasi Toksisitas OSD	23
4.6.1. Toksisitas Produk OSD	23
4.6.2. Toksisitas setelah Proses Bioremediasi Air Laut	26
V SIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Simpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	39
RIWAYAT HIDUP	47



DAFTAR TABEL

1	Unit masing-masing perlakuan uji bioremediasi	11
2	Data rata-rata kematian benur udang pada berbagai konsentrasi Bio-OSD dan non-Bio-OSD	24
3	Nilai LC ₅₀ uji toksisitas Bio-OSD 24, 48, 72 dan 96 jam	25
4	Nilai LC ₅₀ uji toksisitas non-Bio-OSD 24, 48, 72 dan 96 jam	25
5	Data rata-rata kematian benur udang pada berbagai konsentrasi bioremediasi menggunakan Bio-OSD dan non-Bio-OSD	27
6	Nilai LC ₅₀ uji toksisitas setelah proses bioremediasi 24, 48, 72 dan 96 jam	28

DAFTAR GAMBAR

1	Pergerakan dan pelapukan minyak di laut (Adofa <i>et al.</i> 2022)	3
2	Struktur Surfaktan (Ambaye <i>et al.</i> 2021).	7
3	Tahapan Penelitian Bioremediasi Air Laut	9
4	Kurva pertumbuhan bakteri <i>B. subtilis</i> CYA27	15
5	Pengaruh waktu proses bioremediasi terhadap perubahan pH media pada masing-masing perlakuan Bio-OSD (A) dan non-Bio-OSD (B).	16
6	Pengaruh waktu bioremediasi air tercemar <i>crude oil</i> terhadap perubahan populasi bakteri pada masing-masing perlakuan.	18
7	Nilai TPH (A) dan efisiensi penurunan TPH (B) pada masing-masing perlakuan bioremediasi selama 14 hari.	19
8	Kromatografi GC-MS (A) <i>crude oil</i> , (B) S2P1, dan (C) N1P1 setelah 14 hari bioremediasi.	22

DAFTAR LAMPIRAN

1	Kurva standar pertumbuhan	40
2	Persentase laju penurunan degradasi TPH	40
3	Perubahan luas puncak senyawa hidrokarbon yang terdeteksi di awal dan akhir pengukuran pada perlakuan S2P0, S2P1, N1P0, dan N1P1	41
4	Konsentrasi toksikan Bio-OSD dan non-Bio-OSD pada uji pendahuluan untuk membunuh 50% selama 24 jam.	42
5	Konsentrasi toksikan setelah proses Bioremediasi pada uji pendahuluan untuk membunuh 50% selama 24 jam.	43
6	Parameter lingkungan selama uji toksisitas dengan perlakuan Bio-OSD dan non-Bio-OSD pada berbagai konsentrasi.	44
7	Parameter lingkungan selama uji toksisitas dengan perlakuan Bio-OSD dan non-Bio-OSD setelah bioremediasi pada berbagai konsentrasi.	44
8	Kategori Toksisitas dan LOCs US EPA 2004	45