

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI INOKULUM DAN
KONSORSIUM MIKROBA LIPOLITIK ISOLAT LOKAL DALAM
REMEDIASI LIMBAH POME**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD AAN SAPUTRA



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI INOKULUM DAN KONSORSIUM MIKROBA LIPOLITIK ISOLAT LOKAL DALAM REMEDIASI LIMBAH POME

Oleh

MUHAMMAD AAN SAPUTRA

Palm oil mill effluent (POME) merupakan limbah cair berasal dari industri kelapa sawit yang memiliki tingkat polutan tinggi sehingga jika dibuang ke tanah dan perairan akan menyebabkan pencemaran lingkungan di sekitar. Metode bioremediasi adalah proses penguraian limbah secara biologis dengan menggunakan mikroorganisme pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya dari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan mikroba indigen lokal ALPE1, LKMG1, dan konsorsium (ALPE1 dan LKMG1) dengan penggunaan variasi konsentrasi inokulum dalam menurunkan parameter baku mutu limbah POME. Metode yang digunakan meliputi uji BOD, COD, TSS, pH, dan suhu. Hasil penelitian menunjukkan penambahan konsentrasi inokulum 5% pada mikroba indigen lokal ALPE1 dan LKMG1 dapat menurunkan parameter baku mutu limbah lebih baik dengan penurunan nilai BOD masing-masing sebesar 70% dan 80,01%, penurunan nilai COD masing-masing sebesar 57,33% dan 66,19%, penurunan nilai TSS masing-masing sebesar 58,33% dan 77,46%, penurunan suhu yang sama sebesar 25 °C serta kenaikan pH masing-masing sebesar 4,89 dan 5,27. Pada mikroba konsorsium ALPE1 dan LKMG1 dengan konsentrasi inokulum masing-masing 5% dapat menurunkan nilai BOD sebesar 80,01%, nilai COD sebesar 60,85%, nilai TSS sebesar 63,49%, suhu sebesar 25 °C serta kenaikan pH sebesar 4,44. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa mikroba indigen lokal LKMG1 dengan konsentrasi inokulum 5% relatif lebih baik dalam menurunkan baku mutu limbah POME dibandingkan dengan mikroba konsorsium ALPE1 dan LKMG1 dengan konsentrasi inokulum masing-masing 5%.

Kata kunci : Limbah POME, bioremediasi, mikroba indigen lokal, baku mutu limbah.

ABSTRACT

THE EFFECT OF VARIATIONS IN INOCULUM CONCENTRATION AND LOCAL LIPOLYTIC ISOLATE MICROBIAL CONSORTIUM IN REMEDATING POME WASTE

By

MUHAMMAD AAN SAPUTRA

Palm oil mill effluent (POME) is liquid waste originating from the palm oil industry which has high levels of pollutants so that if it is discharged into land and waters it will cause environmental pollution in the surrounding area. The bioremediation method is the process of biologically decomposing waste using microorganisms under controlled conditions into a material that is not dangerous or its concentration from the environment. This research aims to determine the ability of local indigenous microbes ALPE1, LKMG1, and the consortium (ALPE1 and LKMG1) by using variations inoculum concentration in reducing quality standard parameters for POME waste. The methods used include BOD, COD, TSS, pH and temperature tests. The results of the research show that adding an inoculum concentration of 5% to local indigenous microbes ALPE1 and LKMG1 can reduce waste quality standard parameters better with a decrease in BOD values of 70% and 80,01% respectively, a decrease in COD values of 57,33% and 66,19% respectively, a decrease in TSS values of 58,33% and 77,46% respectively, a decrease in the same temperature of 25 °C and an increase in pH respectively 4,89 and 5,27. In the microbial consortium ALPE1 and LKMG1 with an inoculum concentration of 5% each, it can reduce the BOD value by 80,01%, COD value by 60,85%, TSS value by 63,49%, temperature by 25 °C and increase pH by 4,44. Based on these results, it was found that the local indigenous microbe LKMG1 with an inoculum concentration of 5% was relatively better in reducing the quality standards of POME waste compared to the ALPE1 and LKMG1 consortium microbes with an inoculum concentration of 5% each.

Keyword : POME waste, bioremediation, local indigenous microbe, waste quality standards.

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI INOKULUM DAN
KONSORSIUM MIKROBA LIPOLITIK ISOLAT LOKAL DALAM
REMEDIASI LIMBAH POME**

Oleh

MUHAMMAD AAN SAPUTRA

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kima
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: PENGARUH VARIASI KONSENTRASI
INOKULUM DAN KONSORSIUM MIKROBA
LIPOLITIK ISOLAT LOKAL DALAM
REMEDIASI LIMBAH POME

Nama Mahasiswa

: **Muhammad Aan Saputra**

No. Pokok Mahasiswa

: 1817011090

Jurusan

: Kimia

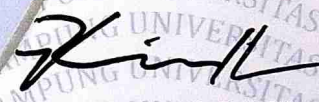
Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Nurhasanah, M.Si.

NIP. 197412111998022001


Dr. Rinawati, M.Si.

NIP. 197104142000032001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Dr. Mita Rilyanti, M.Si.

NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Nurhasanah, M.Si.**

Sekretaris : **Dr. Rinawati, M.Si.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Hery Satria, M.Si.
NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **3 Januari 2025**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Aan Saputra
NPM : 1817011090
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Konsentrasi Inokulum dan Konsorsium Mikroba Lipolitik Isolat Lokal Dalam Remediasi Limbah POME”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 6 Januari 2025

Yang Menyatakan,

 **Muhammad Aan Saputra**

NPM1817011090

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Muhammad Aan Saputra yang akrab disapa dengan Aan. Penulis lahir pada tanggal 24 Maret 2000, yang merupakan anak pertama dari pasangan Alm. Bapak Agus Darmono dan Ibu Hartini. Penulis mengawali Pendidikan formal di TK Al Hayat *International School* Jeddah pada tahun 2004-2006. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di Al Hayat *International School* Jeddah pada tahun 2006-2008, Sekolah Indonesia Jeddah pada tahun 2008-2011, SD Negeri Semper Barat 07 pada tahun 2011-2012. Tahun 2012-2015 penulis melanjutkan Pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 244 Jakarta Utara dan melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 52 Jakarta Utara pada tahun 2015-2018. Kemudian pada tahun 2018 penulis diterima melalui jalur SBMPTN pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis melaksanakan Karya Wisata Ilmiah ke-29 di Desa Tanjung Tirta, Kecamatan Way Bungur, Kabupaten Lampung Timur pada bulan Desember tahun 2018 serta menjadi Panitia Karya Wisata Ilmiah ke-30 di Desa Tambah Dadi, Kecamatan Purbolinggo, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2019. Pada Bulan Februari tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 Hari di Kelurahan Sukabakti, Kecamatan Palas, Kabupaten Lampung Selatan. Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di UPTD Laboratorium Lingkungan Hidup Provinsi Lampung dengan judul “Analisis Kadar *Chemical Oxygen Demand* dengan Metode Spektrofotometri Berdasarkan SNI 6989.2:2019 pada Sampel Air Limbah di UPTD Laboratorium Lingkungan”. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai anggota Biro Kesekretariatan

pada tahun 2019 serta menjadi Ketua Biro Kesekretariatan pada tahun 2020. Kemudian penulis juga telah melaksanakan penelitian di Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

MOTTO

Janganlah engkau bersedih, sesungguhnya Allah bersama kita
(Q.S. At-Taubah ayat 40)

Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan
(Q.S. Al-Insyirah ayat 5)

Ini akan berlalu
(Dr. Fahrudin Faiz)

PERSEMBAHAN



Puji Syukur Atas Kehadirat Allah SWT

Karena rahmat dan hidayah-Nya kupersembahkan karya ini sebagai wujud baktiku kepada:

Diriku

Muhammad Aan Saputra

Kedua Orang Tuaku:

Alm. Bapak Agus Darmono dan Ibu Hartini

Rasa hormat saya kepada:

Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si., Ibu Dr. Rinawati, M.Si., dan Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.

Terima kasih atas ilmu, nasihat dan kesabarannya selama ini.

Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia

Atas dedikasi serta ilmu yang telah diberikan kepada saya selama menempuh Pendidikan

Serta,

Almamater Tecinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu wa Ta'ala* atas berkat rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Konsentrasi Inokulum dan Konsorsium Mikroba Lipolitik Isolat Lokal Dalam Remediasi Limbah POME”** sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung.

Pelaksanaan penelitian dan pengerjaan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, doa, serta dukungan dari keluarga, sahabat, teman, serta dosen pembimbing dan penguji. Pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua tercinta yakni Alm. Bapak Agus Darmono dan Ibu Hartini untuk segala doa, dukungan, biaya dan kasih sayang untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan studinya. Tak lupa untuk Alm. Bapak Herman bin Toong yang juga sudah memberikan segala dukungan dan kasih sayang kepada penulis. Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'alaa* senantiasa memberikan nikmat sehat, perlindungan, rahmat dan karunia-Nya kepada Ibu penulis serta diterangkan dan dilapangkan kuburan kedua Alm. Bapak penulis. *Aamiin*.
2. Saudara-saudara serta keluarga besar dari Ibu penulis yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil, doa, motivasi yang terus-menerus diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan masa studinya. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'alaa* senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

3. Kepada Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si. selaku pembimbing utama yang telah banyak membantu penulis, membimbing dengan sabar dan ikhlas, memberikan saran, nasihat, serta semangat serta seluruh kebaikannya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalas semua kebaikan Ibu.
4. Ibu Dr. Rinawati, M.Si. sebagai pembimbing kedua dan pembimbing akademik penulis yang telah membimbing penulis dengan ikhlas, memberi saran dan seluruh masukannya dalam skripsi penulis serta membantu penulis sejak menjadi mahasiswa baru hingga lulus. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalas semua kebaikan Ibu.
5. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku Dosen penguji atas segala kritik dan sarannya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalas semua kebaikan Bapak.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah mendidik, membimbing, dan memberikan ilmunya kepada penulis selama masa perkuliahan dengan tulus dan penuh kesabaran. Serta Staf Administrasi dan Karyawan Jurusan Kimia untuk segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalasnya dengan kebaikan
7. Ibu Dr. Mita Rilyanti M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan masukan dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan masa studi di Jurusan Kimia. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalas kebaikan Ibu.
8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M. Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
9. Kak Ronerson yang sudah membantu penulis sehingga mampu menyelesaikan penelitian dengan baik. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalas kebaikan kakak.
10. Anggota dan Teman-teman Peneliti Lab: Mba Della, Virginia Nuh Reza Amanda, Rahmadtullah, M. Ridho Fajriansyah Azhar, Bayu Anggara Krisna, Armidla Nadya K., Kak Fendi Setiawan, Agil Sriwahyuni, Najla, Anggun N.,

Annisa, serta anggota laboratorium lainnya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dengan baik. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalas kebaikan kalian.

11. Grup Biokimia Bu Nurhasanah 2018 : Nur Mayana Putri, Aulia Siti Pradina, Salsabila, dan Vezhia Sheiscatamya atas do'a, dukungan, serta motivasinya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dan skripsi dengan baik. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa membalas kebaikan.
12. Teman-teman *Late Study* 2018: Indah Permatasari Eka Putri, Annisa Larasati, M. Ridho Fajriansyah Azhar, Reyhan Azarian, Ika Wahyu Lestari, Zulfa Nirmala, Reni Wulandari, dan Ofriani Fatrika yang telah berjuang bersama-sama sehingga penulis dapat menyelesaikan masa studi. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa memudahkan dan lancarkan segala urusan kalian.
13. Sahabatku Bacul: Eureka Maharani Jaras Nasution, Muhammad Akmal, Mujahidin Faruq Al Azis, Sadam Husein, Raflianysah Rahman, Muhammad Yusuf Kharismana, dan Muhammad Harits yang telah memberikan dukungan kepada penulis. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa memberikan rahmat dan nikmat-Nya.
14. Seluruh teman-teman Angkatan 2018 atas dukungan baik moril maupun materil, do'a, semangat, dan waktunya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi dengan baik.
15. Seluruh kakak-kakak, teman-teman, dan adik-adik yang berada di lingkungan Jurusan Kimia yang telah membantu penulis.
16. Teman hidup Herningtyas Fitria Wulandari yang sudah menemani keseharian penulis, menyemangati, dan memberi dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikannya dengan baik. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* senantiasa memberikan kemudahan, rahmat dan nikmat-Nya.
17. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, semoga seluruh kebaikan yang diberikan akan dibalas berlimpah oleh Allah *Subhanahu wa ta'ala*.
18. Terakhir, kepada diri sendiri yang terus berkeinginan untuk melangkah dan bangkit setelah serangkaian peristiwa dialami sehingga itu menjadikan

motivasi untuk menyelesaikan apa yang belum diselesaikan. Terima kasih sudah bekerja sama untuk bertahan sejauh ini.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang mendukung penulis hingga selesainya skripsi ini. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* selalu melimpahkan rezeki kepada Bapak, Ibu, serta rekan-rekan semua. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi setiap pembaca.

Bandar Lampung, 6 Januari 2025

Penulis

Muhammad Aan Saputra

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Air Limbah.....	5
2.2. Karakteristik Air Limbah.....	6
2.3. Baku Mutu Air Limbah.....	6
2.4. <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME).....	7
2.5. Parameter	9
2.5.1. <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	9
2.5.2. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	9
2.5.3. <i>Total Suspend Solid</i> (TSS).....	10
2.5.4. Suhu.....	10
2.5.5. Derajat Keasaman (pH)	11
2.6. Bioremediasi	11

2.7. Bakteri Lipolitik.....	12
2.8. Karakteristik Mikroba Indigen Lokal Penghasil Enzim Lipase.....	12
III. METODE PENELITIAN	14
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2. Alat dan Bahan.....	14
3.3. Prosedur Penelitian	15
3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan.....	15
3.3.2. Pembuatan Larutan untuk Uji COD	16
3.3.3. Pembuatan Larutan Baku Kalium Hidrogen Phtalat 4,2 M.....	17
3.3.4. Pembuatan Larutan untuk Uji BOD	17
3.3.5. Perlakuan Contoh Uji COD dan BOD.....	19
3.3.6. Pengukuran COD.....	19
3.3.7. Pengukuran Larutan Deret Standar	20
3.3.8. Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	20
3.3.9. Pengukuran BOD.....	21
3.3.10. Pengukuran TSS	22
3.3.11. Pengukuran Suhu.....	23
3.3.12. Pengukuran pH	23
3.3.13. Skema Penelitian	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Parameter BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>).....	25
4.2. Parameter COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	29
4.3. Parameter TSS (<i>Total Suspend Solid</i>).....	32
4.4. Parameter pH	34

4.5. Parameter Suhu	36
4.6. Pengaruh Konsorsium Inokulum Lipolitik Isolat Lokal Pada Proses Bioremediasi Limbah POME	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku mutu air limbah domestik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016)	7
2. Karakteristik limbah POME (Zulkifli, 2016)	8
3. Baku mutu limbah POME (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014).....	9
4. Karakteristik mikroba indigen lokal	13
5. Data perubahan nilai pH sampel.....	34
6. Data perubahan suhu sampel	36
7. Data perubahan nilai pH dengan sampel konsorsium	41
8. Data perubahan suhu dengan sampel konsorsium.....	42
9. Hasil pengukuran nilai DO pada inokulum	55
10. Hasil pengukuran nilai DO pada konsorsium.....	56
11. Hasil pengukuran nilai BOD pada inokulum	58
12. Hasil pengukuran nilai BOD pada konsorsium	58
13. Data pengukuran kurva kalibrasi	59
14. Data pengukuran absorbansi sampel inokulum	60

15. Data pengukuran absorbansi sampel konsorsium.....	60
16. Hasil pengukuran nilai COD pada inokulum	61
17. Hasil pengukuran nilai COD pada konsorsium	61
18. Hasil pengukuran nilai TSS pada inokulum	62
19. Hasil pengukuran nilai TSS pada konsorsium.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alur penelitian.	24
2. Grafik perubahan nilai BOD sampel.	27
3. Grafik perubahan nilai COD sampel.	30
4. Grafik perubahan nilai TSS sampel.....	32
5. Grafik perubahan nilai BOD dengan sampel konsorsium.	38
6. Grafik perubahan nilai COD dengan sampel konsorsium.	39
7. Grafik perubahan nilai TSS dengan sampel konsorsium.	40
8. Grafik kurva kalibrasi COD	59

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri kelapa sawit merupakan industri yang sangat penting bagi Indonesia karena menjadi salah satu penghasil sumber devisa negara (Malau dan Rambe, 2022). Hal ini dapat dilihat dari hasil produksi dari kelapa sawit berupa minyak sawit mentah atau *crude palm oil* (CPO) yang mencapai 38 juta ton dimana 31 juta ton telah diekspor ke lebih dari 50 negara pada tahun 2017 (Primadasa dan Sokhibi, 2020). Perkebunan kelapa sawit telah berkembang di seluruh Indonesia dengan 90% berada di pulau Sumatera dan Kalimantan, dimana kedua pulau utama tersebut merupakan sentra perkebunan kelapa sawit di Indonesia yang menghasilkan produksi CPO sebesar 95% (Irawan dan Soesilo, 2021). Lampung sebagai salah satu provinsi di pulau Sumatera dengan produksi kelapa sawit sebesar 420.700 ton pada tahun 2021 (Kementerian Pertanian, 2021). Untuk menghasilkan minyak kelapa sawit pada produksi kelapa sawit dibutuhkan suatu proses ekstraksi dengan air panas saat penggilingan. Hasil dari proses ekstraksi tersebut menghasilkan limbah cair pabrik kelapa sawit atau yang disebut *palm oil mill effluent* (POME) (Nasution *et al.*, 2020).

Limbah POME merupakan polutan tinggi yang dihasilkan dari dekomposisi sebagian inti sawit sebelum diproses, dimana nilai kebutuhan oksigen biologis atau *biological oxygen demand* (BOD) sebesar 25.000-54.000 mg/L dan kebutuhan oksigen kimiawi atau *chemical oxygen demand* (COD) sebesar 50.000-100.000 mg/L (Iwuagwu and Ugwuanyi, 2014). Selain itu, limbah POME juga memiliki nilai *total suspend solid* (TSS) sebesar 40.000-70.000 mg/L (Zulkifli, 2016). Limbah POME yang dihasilkan dari proses ekstraksi minyak sawit seringkali dibuang langsung ke tempat terbuka seperti tanah dan sungai

yang menjadikan sumber utama pencemaran lingkungan di sekitarnya (Ganapathy *et al.*, 2019). Ketika limbah POME dibuang ke tanah, tanah mengalami penurunan pH dan peningkatan salinitas yang tidak diinginkan. Selain itu, pembuangan limbah POME ke badan air dapat berubah menjadi warna coklat, berbau, berlendir dan menyebabkan de-oksigenasi yang bisa membunuh ikan dan organisme lainnya (Islam *et al.*, 2018). Karena pembuangan limbah POME langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang tepat dapat menyebabkan masalah lingkungan yang serius, maka limbah POME perlu diolah sebelum dilepaskan ke lingkungan (Suseela *and* Muralidhar, 2018).

Metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah POME sebelum dibuang ke lingkungan adalah pengolahan limbah secara fisik, kimia dan biologi atau kombinasi untuk mengatasi pencemaran. Pengolahan limbah secara fisik mempunyai kekurangan yakni lahan yang digunakan untuk pengolahan limbah cair cukup besar, memerlukan operasional dan perawatan yang mahal, serta memerlukan energi yang banyak. Pada pengolahan limbah secara kimia dilaporkan seringkali mempunyai kendala yakni biaya untuk pembelian bahan kimianya cukup tinggi dan menghasilkan lumpur (*sludge*) yang cukup banyak sehingga dibutuhkan prasarana untuk penanganan *sludge* (Agustina, 2006). Salah satu metode pengolahan limbah yang hemat biaya dan ramah lingkungan ialah pengolahan secara biologi dengan melibatkan organisme hidup atau mikroorganisme dalam meremediasi limbah POME yang dikenal dengan bioremediasi.

Bioremediasi didefinisikan sebagai proses degradasi limbah secara biologis dengan menggunakan mikroorganisme pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya di bawah batas yang ditentukan oleh lembaga berwenang (Vidali, 2011). Teknik ini cukup efektif, relatif murah, dan ramah lingkungan karena memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam mengolah limbah berbahaya menjadi rendah atau bahkan sampai tidak berbahaya sama sekali (Juliani dan Rahman, 2011). Penggunaan mikroorganisme yang tepat dalam bioremediasi harus pada tempat dan faktor lingkungan yang tepat (Fuentes *et al.*, 2014). Mikroorganisme yang cocok digunakan pada proses

bioremediasi ialah mikroba lipolitik karena dapat menghasilkan enzim lipase yang digunakan untuk memecah lipid yang terdapat pada limbah POME (Jaeger *et al.*, 1994).

Penelitian sebelumnya yang menggunakan mikroba lipolitik sebagai agen bioremediasi telah dilaporkan diantaranya, penggunaan mikroba lipolitik *Meyerozyma guilliermondii* pada proses bioremediasi limbah POME dapat menurunkan nilai COD sebesar 72%, total nitrogen yang hilang 49,2%, nitrogen amonium yang hilang 45,1%, total karbon organik yang hilang 46,6%, fosfat yang hilang 60,6%, dan 92,4% minyak dan lemak yang hilang setelah 7 hari masa perlakuan (Ganapathy *et al.*, 2019). Penelitian lain juga melaporkan penggunaan mikroba lipolitik *Emericella nidulans* NFCCI 3643 pada proses bioremediasi limbah POME dapat menurunkan nilai COD sebesar 80,28%, nilai BOD sebesar 88,23% serta kandungan minyak dan lemak 87,34% (Suseela dan Muralidhar, 2018).

Studi pendahuluan terhadap mikroba-mikroba indigen lokal yang memiliki aktivitas lipase telah dilaporkan diantaranya isolat ALPE1, LKMG1, dan LKMA3. Pada mikroba indigen lokal ALPE1 dilaporkan memiliki aktivitas lipase sebesar 0,46 U/mL (Rachmawati, 2022). Adapun pada mikroba indigen lokal LKMG1 dan LKMA3 dilaporkan memiliki aktivitas lipase sebesar 0,1666U/mL (Fransiska, 2019). Berdasarkan studi pendahuluan yang telah dilakukan dalam mengetahui aktivitas lipase pada beberapa mikroba indigen lokal telah dilakukan uji dalam mendegradasi hidrokarbon dengan penggunaan mikroba indigen lokal ALPE1. Hasil studi dilaporkan penggunaan isolat ALPE1 mampu mendegradasi minyak solar sebesar 72,5% setelah inkubasi selama 14 hari (Rachmawati, 2022). Studi pendahuluan lainnya juga telah dilakukan uji bioremediasi terhadap limbah POME diantaranya pada penggunaan isolat LKMG1, LKMA3, dan konsorsium dengan konsentrasi inokulum 1%. Hasil studi dilaporkan penggunaan kedua isolat LKMA3, LKMG1, serta konsorsium telah berhasil menurunkan parameter BOD, COD, dan TSS. Akan tetapi, hasil penurunan yang paling efektif terdapat pada isolat tunggal yakni pada isolat LKMA3 yang selanjutnya dilakukan proses bioremediasi kembali dengan

penambahan konsentrasi inokulum 5% pada limbah POME. Hasil studi dilaporkan penambahan konsentrasi inokulum 5% pada isolat tunggal LKMA3 dapat menurunkan nilai parameter BOD, COD, dan TSS lebih baik dibandingkan dengan penambahan konsentrasi inokulum 1%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penambahan konsentrasi inokulum dapat meningkatkan penurunan nilai parameter lebih efektif (Putri, 2023). Namun pada penelitian ini, mikroba indigen lokal lainnya belum dikaji lebih lanjut terkait pengaruh penggunaan konsentrasi inokulum baik isolat tunggal maupun konsorsium dalam remediasi limbah POME.

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini dipelajari pengaruh variasi konsentrasi inokulum dalam bentuk isolat tunggal dan konsorium mikroba indigen lokal dalam remediasi limbah POME. Adapun parameter yang dianalisis meliputi BOD, COD, TSS, pH, dan suhu.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan konsentrasi inokulum optimum dari mikroba lipolitik isolat lokal dalam menurunkan nilai BOD, COD, TSS, suhu dan menaikkan pH pada limbah POME.
2. Menentukan komposisi konsorsium mikroba lipolitik isolat lokal yang efektif dalam menurunkan nilai BOD, COD, TSS, suhu dan kenaikan pH pada limbah POME.

1.3. Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai penggunaan mikroba lipolitik isolat lokal sebagai agen bioremediasi yang mampu menurunkan pencemaran limbah minyak kelapa sawit sesuai dengan baku mutu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah

Air limbah adalah limbah cair yang biasanya dihasilkan dari rumah tangga, industri, dan tempat umum lainnya, yang mengandung zat yang dapat membahayakan kehidupan manusia dan kelestarian lingkungan (Chandra, 2006). Pada umumnya air limbah terdiri dari kotoran manusia seperti feses dan air seni, air bekas hasil cucian dapur dan kamar mandi, serta umumnya terdiri dari bahan-bahan organik. Air dapat dikatakan tercemar jika di badan air terdapat adanya makhluk hidup (mikroorganisme) atau komponen lainnya, baik disengaja maupun tidak sengaja melalui proses manusia atau alam yang menyebabkan kualitas air turun sampai tingkat yang tidak sesuai peruntukannya (Notoadmodjo, 2003).

Menurut Said (2017), air limbah ini berasal dari berbagai sumber, secara garis besar dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. *Domestic wastes water*, yaitu air buangan rumah tangga yang berasal dari pemukiman penduduk. Air limbah ini biasanya terdiri dari kotoran manusia, air bekas cucian dapur, dan cucian baju, serta bahan-bahan organik.
- b. *Industrial wastes water*, yaitu air buangan industri yang berasal dari berbagai jenis industri akibat proses produksi. Air limbah ini mengandung zat-zat yang sangat bervariasi sesuai dengan bahan baku yang dipakai oleh masing-masing industri, seperti: nitrogen, sulfida, amoniak, lemak, garam-garam, zat pewarna, mineral, logam berat, zat pelarut, dan sebagainya. Oleh sebab itu, diperlukan pengolahan jenis air limbah ini supaya tidak menimbulkan permasalahan lingkungan.
- c. *Municipal wastes water*, yaitu air buangan yang berasal dari daerah-daerah kotapraja seperti tempat perkantoran, perdagangan, hotel, restoran, tempat-

tempat ibadah, dan sebagainya. Jenis air limbah ini sama dengan jenis air limbah rumah tangga dikarenakan kandungan zat-zat di dalamnya.

2.2. Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah umumnya digolongkan ke dalam tiga kategori, yaitu fisika, kimia, dan biologi (Metcalf *and* Eddy, 2003). Karakteristik fisika, kimia, dan biologi air limbah tergantung pada sumber kegiatan penghasil air limbah tersebut. Karakter fisik pada air limbah ditentukan oleh polutan yang masuk ke dalam air limbah dan memberikan perubahan fisik seperti suhu, kekeruhan, warna dan bau yang disebabkan oleh adanya bahan tersuspensi dan terlarut didalamnya. Karakteristik kimia air limbah ditentukan dengan adanya polutan dari bahan-bahan kimia (*chemical*) (Suyasa, 2015). Karakteristik biologi air limbah ditentukan untuk mengontrol timbulnya penyakit yang dipengaruhi oleh mikroorganisme (Eddy, 2008).

Air limbah dengan konsentrasi parameter pencemar melebihi baku mutu harus dilakukan pengolahan (*treatment*) terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Air limbah dengan beberapa parameter seperti BOD, COD, TSS, pH dan suhu yang konsentrasinya melebihi baku mutu dan langsung dibuang ke badan air akan menimbulkan kondisi *anoxic*, yakni suatu kondisi dimana konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) rendah berdampak pada timbulnya pencemaran bau yang akan menyebabkan kematian organisme di badan air (Sumiyati, 2019).

2.3. Baku Mutu Air Limbah

Definisi baku mutu air limbah Menurut Peraturan Menteri 27 Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah merupakan ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang masih dapat diterima keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air akibat suatu usaha dan/atau kegiatan

(Kementerian Lingkungan Hidup, 2014). Menurut Fachrizal (2004), standar baku mutu air limbah dibuat untuk mencegah dan mengatasi masalah pencemaran air di badan air. Maka upaya yang dilakukan pemerintah untuk menahan laju beban pencemaran adalah dengan memberlakukan peraturan terbaru baku mutu air limbah. Baku Mutu Air Limbah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku mutu air limbah domestik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
<i>Total Coliform</i>	Jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

2.4. *Palm Oil Mill Effluent (POME)*

Limbah POME didefinisikan sebagai air limbah yang mengandung konsentrasi tinggi organik, nutrisi dan minyak serta lemak yang dihasilkan dari proses produksi minyak sawit (Ahmad *et al.*, 2023). Limbah POME merupakan hasil samping dari pengolahan tandan buah segar kelapa sawit menjadi minyak sawit kasar (Deublein *and* Steinheuster, 2008). Limbah ini mengandung suspensi koloid yang terdiri dari 95-96% air, 0,6-0,7% minyak dan 4-5% total padatan termasuk 2-4% padatan tersuspensi (Ahmad *et al.*, 2003). Selain itu, limbah POME mempunyai suhu yang panas, pH asam yang berkisar 4 – 5, dan berwarna coklat (Aprizal, 2019). Karakteristik limbah POME dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik limbah POME (Zulkifli, 2016)

Parameter	Satuan	Konsentrasi
pH	-	4-5
<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	mg/L	25.000-65.714
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/L	44.300-102.696
<i>Total Solid</i> (TS)	mg/L	40.500-72.058
<i>Suspended Solids</i> (SS)	mg/L	18.000-46.011
<i>Volatile Solids</i> (VS)	mg/L	34.000-49.300
Ammoniacal-Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	35-103
Total Nitrogen (TN)	mg/L	750-770
<i>Oil and Grease</i> (OG)	mg/L	4.000-9.341

Tabel diatas menunjukkan nilai COD dan BOD pada limbah POME cukup tinggi yang dapat menyebabkan pencemaran bahkan masalah lingkungan yang serius jika dibuang ke badan air seperti sungai. Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh air limbah industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya ialah sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai.

Air limbah industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia. Hal ini disebabkan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia yang keberadaannya mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir, 2006). Selain itu, limbah yang dibuang langsung ke perairan sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, mengikat oksigen terlarut, dan menimbulkan kekeruhan. Sebelum limbah cair ini dapat dibuang ke lingkungan terlebih dahulu diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan (Kardila, 2011). Baku mutu limbah POME diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Baku mutu limbah POME (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014)

Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi
pH	-	6-9
BOD	mg/L	100
COD	mg/L	350
TSS	mg/L	250
Minyak dan Lemak	mg/L	25
Nitrogen Total	mg/L	50

2.5. Parameter

2.5.1. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Atima, 2015). Nilai BOD akan meningkat dengan banyaknya bahan organik dalam suatu badan air. Ketika nilai BOD meningkat, jumlah mikroorganisme berkurang dan jumlah oksigen terlarut dalam air tidak dikonsumsi secara merata. Dengan demikian, nilai BOD dapat menjadi pengukur pencemar organik dalam suatu badan air (Sawyer *et al.*, 1994).

2.5.2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi reduktif bahan kimia atau zat organik dalam air (Siregar, 2005). COD digunakan untuk menentukan zat organik dan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Nilai COD biasanya lebih tinggi karena lebih banyak senyawa kimia yang dapat dioksidasi secara kimia dibandingkan dengan nilai BOD yang senyawa kimianya dioksidasi secara biologi (Metcalf *and* Eddy, 2003). COD merupakan salah satu parameter penting sebagai pendeteksi tingkat

pencemaran air. Semakin tinggi COD, maka semakin buruk kualitas air yang ada (Andara dkk, 2014).

2.5.3. *Total Suspend Solid (TSS)*

TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS dapat meliputi lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri, dan jamur. Pendangkalan dapat terjadi karena adanya aliran yang terhambat akibat pembentukan lumpur sehingga menyebabkan pengendapan material tersuspensi (Soemirat, 2004). Terhalangnya sinar matahari yang masuk ke dalam air dikarenakan adanya kadar TSS yang terlalu tinggi pada proses fotosintesis. Selain itu, kadar TSS yang tinggi akan membuat kadar oksigen terlarut yang dilepas oleh tanaman ke dalam air menurun (Ratri dan Mahayana, 2022).

2.5.4. Suhu

Air yang mengalami kenaikan atau penurunan suhu akan berpengaruh terhadap kehidupan di dalam air. Faktor yang mempengaruhinya adanya derajat ketinggian tempat, komposisi substrat, kekeruhan, curah hujan, angin, suhu limbah dan reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam air (Budiarsa, 2015). Selain itu, suhu perairan dapat diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti pembuangan limbah panas yang berasal dari proses pendinginan pada pabrik (Hadi, 2007). Air yang baik harus memiliki temperatur yang sama dengan temperatur udara ($\pm 3^{\circ}\text{C}$). Suhu air yang berada diatas atau dibawah suhu udara berarti mengandung zat-zat tertentu yang mengeluarkan atau menyerap energi dalam air (Soemirat, 2004). Kenaikan suhu air akan menimbulkan beberapa permasalahan seperti matinya biota air karena kekurangan oksigen. Bertambahnya suhu maka oksigen terlarut akan semakin sedikit (Fardiaz, 1992).

2.5.5. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau *potential of hydrogen* (pH) merupakan suatu ukuran konsentrasi ion hidrogen dan menuju suasana air tersebut bereaksi menjadi asam/basa (Pescod, 1973). Secara umum, pH air menunjukkan seberapa besar tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan (Buck *et al.*, 2002). Air yang diperuntukkan sebagai air minum sebaiknya memiliki pH netral (+7) (Chapman, 2000). Apabila nilai pH air tinggi maka tingkat toksisitas logam berat dalam air akan turun begitu pula sebaliknya apabila nilai pH air rendah maka tingkat toksisitas logam berat dalam air akan tinggi dan juga akan meningkatkan konsentrasi logam berat (Sarjono, 2009). Selain itu, nilai pH air yang rendah akan meningkatkan korosifitas pada benda-benda logam, menimbulkan rasa tidak enak dan dapat menyebabkan beberapa bahan kimia menjadi racun yang mengganggu kesehatan (Sutrisno, 2002).

2.6. Bioremediasi

Bioremediasi adalah suatu upaya atau cara untuk pemulihan kembali keadaan lingkungan yang telah terkontaminasi oleh limbah ke kondisi semula dengan bantuan mikroorganisme yang hidup di daerah tercemar dan mampu menguraikan zat-zat pencemar (Rahmanto dkk, 2016). Mikroorganisme yang digunakan dapat berupa bakteri, fungi, protozoa dan lain-lain, yang tersebar luas di berbagai tempat seperti tanah, air, dan udara (Susilowati dan Listyawati, 2001). Mikroorganisme mendegradasi senyawa kimia di lingkungan melalui suatu seri reaksi kimia yang cukup kompleks. Mikroorganisme pada proses degradasi menggunakan senyawa kimia untuk pertumbuhan dan reproduksinya melalui berbagai proses oksidasi (Munir, 2006). Pada limbah POME, mikroorganisme mengubah dan memecah minyak menjadi zat lain seperti karbon dioksida, air, dan senyawa sederhana yang tidak mempengaruhi lingkungan (Okwute *and* Ijah, 2014).

2.7. Bakteri Lipolitik

Salah satu mikroorganisme yang dapat mengurai pengolahan limbah cair kelapa sawit yakni bakteri lipolitik (Lehninger, 1995). Bakteri lipolitik merupakan bakteri penghasil enzim lipase yang dapat menghidrolisis lipid menjadi asam lemak dan gliserol. Enzim lipase mengkatalisis hidrolisis lemak dan minyak dengan memecah trigliserida rantai panjang dalam lemak menjadi bentuk lipid polar (Yapasan, 2008). Media yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri dimana mengandung lipid atau lemak sebagai nutrisi salah satunya ialah minyak. Lingkungan yang mengandung minyak merupakan substrat yang baik terhadap bakteri lipolitik untuk tumbuh (Swandi dan Nurmiati, 2015).

Aplikasi modern ini penggunaan enzim lipase sering digunakan dalam industri sebagai katalis karena efisien dan serbaguna untuk produksi deterjen dan biokatalis, serta sebagai sumber energi alternatif untuk mengubah minyak nabati menjadi bahan bakar (Sharma *et al.*, 2001). Enzim lipase yang terdapat dalam bakteri lipolitik dapat membantu menguraikan bahan organik berupa minyak seperti limbah POME, yang dimana prosesnya melalui pemutusan ikatan ester dari triasigliserol menjadi asam lemak dan gliserol yang larut dalam air (Chairunnisa dkk, 2019).

2.8. Karakteristik Mikroba Indigen Lokal Penghasil Enzim Lipase

Mikroba lipolitik isolat lokal adalah mikroba yang memiliki aktivitas kemampuan lipolitik yang diperoleh dari habitat yang ada di lingkungan. Pada penelitian ini digunakan bakteri lokal yaitu bakteri isolat lokal LKMG1 yang berasal dari pengomposan limbah domestik (Fransiska, 2019). Lalu bakteri lokal yang digunakan lainnya ialah ALPE1 yang berasal dari air laut yang tercemar minyak di Pelabuhan Panjang Lampung (Citra dan Nurhasanah, 2021). Kedua bakteri isolat lokal tersebut termasuk ke dalam jenis bakteri mesofilik. Karakteristik dari mikroba isolat lokal yang digunakan dalam meremediasi limbah POME dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik mikroba indigen lokal

Kode isolat	Gram bakteri	Morfologi sel	Aktivitas Lipase (U/mL)	Sumber	Referensi
LKMG1	-	Kokus	0,1666	Kompos limbah domestik	(Fransiska, 2019)
ALPE1	-	Basil	0,46	Air laut yang tercemar minyak di Pelabuhan Panjang	(Citra dan Nurhasanah, 2021), (Rachmawati, 2021)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai Oktober 2024 di Laboratorium Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Kimia, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung reaksi, labu ukur 10 mL, labu ukur 100 mL, erlenmeyer 250 mL, botol winkler 100 mL, corong buchner, erlenmeyer vakum, *magnetic stirrer*, cawan petri, buret dan klem, jarum ose, pH meter, *hot plate* merk behr Labor-Technik, neraca analitik, *autoclave* model S-90N, shaker inkubator, oven merk T60 Heraeus, tip, *centrifuge*, *laminar air flow*, dan spektrofotometer UV-Vis merk Agilent Cary 100.

Bahan-bahan yang digunakan adalah mikroba isolat lokal LKMG1 dari pengomposan limbah domestik (Fransiska, 2019), mikroba isolat lokal ALPE1 dari air laut yang tercemar minyak di Pelabuhan Panjang Lampung (Citra dan Nurhasanah, 2021), NA, NB, limbah POME, KH_2PO_4 , NH_4Cl , NaOH 30%, MgSO_4 , CaCl_2 , FeCl_3 , MnSO_4 , KI, NaN_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Ag_2SO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, HgSO_4 , H_2SO_4 pekat, KHP, akuades, amilum, dan asam salisilat.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan

3.3.1.1. Persiapan Alat

Peralatan gelas yang akan digunakan dicuci bersih, kemudian dikeringkan dan disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit. Seluruh pekerjaan dilakukan secara aseptik di dalam *laminar air flow* (LAF).

3.3.1.2. Pembuatan Media Padat

Medium *Nutrient Agar* (NA) merupakan media padat yang akan digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri. Sebanyak 2,8 gram NA ditimbang, selanjutnya ditambahkan 100 mL akuades dan dipanaskan hingga larut. Kemudian media disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.1.3. Pembuatan Media Cair

Medium *Nutrient Broth* (NB) merupakan media padat yang akan digunakan sebagai media pertumbuhan bakteri. Sebanyak 1,3 gram NB ditimbang, selanjutnya ditambahkan 100 mL akuades dan dipanaskan hingga larut. Kemudian media disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.1.4. Peremajaan Isolat LKMG1 dan ALPE1

Masing-masing bakteri isolat lokal diambil sebanyak 1 ose, digores ke media NA miring secara aseptik, dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30°C.

Selanjutnya, isolat disimpan sebagai stok.

3.3.1.5. Perbanyak Strain Bakteri Isolat LKMG1 dan ALPE1

Bakteri isolat lokal masing-masing diambil sebanyak dua ose dari media NA, dimasukkan dalam 100 mL media NB kemudian diinkubasi pada shaker inkubator dengan kecepatan 110 rpm selama 24 jam.

3.3.1.6. Air Limbah

Sampel air limbah diambil dari salah satu Perusahaan Minyak Kelapa Sawit yang ada di Bandar Lampung sebanyak ± 1 liter menggunakan wadah derigen.

3.3.2. Pembuatan Larutan untuk Uji COD

3.3.2.1. Pembuatan Digestion Solution Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,01 M

Sebanyak 0,4903 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam, dilarutkan menggunakan 50 mL akuades di dalam labu ukur 100 ml. Selanjutnya, ditambahkan 16,7 mL H_2SO_4 dan 3,33 gram $HgSO_4$. Kemudian campuran dilarutkan dan didinginkan pada suhu ruang. Setelah didinginkan, larutan diencerkan sampai tanda tera (SNI 6989.2:2019).

3.3.2.2. Pembuatan Larutan Pereaksi Asam Sulfat 0,03 M

Sebanyak 1,012 gram kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dimasukkan dan dilarutkan ke dalam gelas piala 100 ml. Selanjutnya, ditambahkan H_2SO_4 pekat secara perlahan sambil di stirrer hingga larut sampai 100 ml (SNI 6989.2:2019).

3.3.3. Pembuatan Larutan Baku Kalium Hidrogen Phtalat 4,2 M

Kristal kalium hidrogen phtalat (KHP) digerus secara perlahan, kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 110 °C selama 2 jam sampai berat tetap. Selanjutnya, kristal KHP didinginkan di dalam desikator. Setelah didinginkan, ditimbang kristal KHP sebanyak 85 gram dan dilarutkan di dalam labu ukur 100 mL menggunakan aquades.

3.3.4. Pembuatan Larutan untuk Uji BOD

3.3.4.1. Pembuatan Larutan Buffer Fosfat

Sebanyak 4,25 gram kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4) dan 0,17 gram ammonium klorida (NH_4Cl) dilarutkan menggunakan 70 ml akuades. Selanjutnya, diatur pH larutan sampai 7,2 dengan penambahan larutan NaOH 30% dan kemudian diencerkan hingga 100 ml (SNI 6989.72:2009).

3.3.4.2. Pembuatan Larutan Magnesium Sulfat 0,09 M

Sebanyak 2,25 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan menggunakan akuades dan kemudian diencerkan hingga 100 ml (SNI 6989.72:2009).

3.3.4.3. Pembuatan Larutan Kalsium Klorida 0,25 M

Sebanyak 2,75 gram CaCl_2 anhidrat dilarutkan menggunakan akuades dan kemudian diencerkan hingga 100 ml (SNI 6989.72:2009).

3.3.4.4. Pembuatan Larutan Feri Klorida 9,2 M

Sebanyak 0,025 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan menggunakan akuades dan kemudian diencerkan hingga 100 ml (SNI 6989.72:2009).

3.3.4.5. Pembuatan Larutan Air Pengencer

Sebanyak 1 L akuades ditambahkan masing-masing 1 mL larutan nutrisi yang terdiri dari larutan buffer fosfat, MgSO_4 , CaCl_2 , dan FeCl_3 (SNI 6989.72:2009).

3.3.4.6. Pembuatan Larutan Indikator Amilum

Sebanyak 2 gram amilum dan 0,2 gram asam salisilat dilarutkan dalam 100 mL akuades yang dididihkan (SNI 6989.72:2009).

3.3.4.7. Pembuatan Larutan Mangan Sulfat 2,15 M

Sebanyak 36,4 gram $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dalam 100 mL akuades (SNI 6989.14:2004).

3.3.4.8. Pembuatan Larutan Alkali Iodida Azida

Sebanyak 5 gram NaOH dan 1,5 gram KI dilarutkan menggunakan akuades dan selanjutnya diencerkan hingga 10 mL. Kemudian, ditambahkan 5 gram NaN_3 ke dalam 20 mL akuades (SNI 6989.14:2004).

3.3.4.9. Pembuatan Larutan Asam Sulfat 6 N

Sebanyak 16,6 mL asam sulfat dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan selanjutnya diencerkan hingga tanda tera (SNI 6989.14:2004).

3.3.4.10. Pembuatan Larutan Sodium Thiosulfat 0,025 N

Sebanyak 0,6205 gram $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan menggunakan akuades yang telah dididihkan. Selanjutnya, ditambahkan 0,04 gram NaOH dan diencerkan

hingga 100 mL (SNI 6989.14:2004).

3.3.5. Perlakuan Contoh Uji COD dan BOD

Sampel limbah POME dibagi menjadi 5 bagian yang setiap bagiannya terdiri dari 50 mL limbah yang diencerkan dalam 50 mL akuades, lalu ditambahkan bibit mikroba. Pada bagian 1 ditambahkan ALPE1 dengan konsentrasi inokulum 5%, pada bagian 2 ditambahkan ALPE1 dengan konsentrasi inokulum 10%, pada bagian 3 ditambahkan LKMG1 dengan konsentrasi inokulum 5%, dan pada bagian 4 ditambahkan LKMG1 dengan konsentrasi inokulum 10%, sementara pada bagian 5 tidak ditambahkan mikroba dan akan digunakan sebagai kontrol (Islam *et al.*, 2017). Setelah itu, masing-masing wadah ditutup dengan sumbat dan diinkubasi dalam shaker inkubator selama 21 hari. Contoh uji pada hari ke-0 langsung diuji nilai BOD, COD, TSS, suhu dan pH nya sebagai limbah hari ke-0. Kemudian limbah POME dibioremediasi selama 21 hari dan diuji menurut hari yang telah ditentukan dengan rentang 0, 7, 14, dan 21 hari.

Hasil akhir dari masing-masing perlakuan dan penambahan variasi konsentrasi inokulum yang dapat menurunkan nilai uji terbesar pada tahap selanjutnya akan dilakukan penggabungan dua mikroba atau konsorsium, yang ditambahkan ke dalam wadah berisi sampel limbah POME. Selanjutnya, wadah ditutup dengan sumbat dan diinkubasi dalam shaker inkubator selama 21 hari. Kemudian limbah POME yang telah ditambahkan konsorsium dibioremediasi selama 21 hari dan diuji menurut hari yang telah ditentukan dengan rentang 0, 7, 14, dan 21 hari. Perbedaan hasil akhir dari setiap pengujian hari-hari tersebut dengan kontrol menunjukkan perubahan nilai BOD, COD, TSS, suhu dan pH limbah yang telah diperlakukan oleh mikroba indigen lokal ALPE1, LKMG1, serta konsorsium.

3.3.6. Pengukuran COD

Sebanyak 2,5 mL sampel uji dipipet dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Kemudian ditambahkan dengan 1,5 mL *digestion solution* dan 3,5 mL pereaksi

sulfat. Selanjutnya, tabung reaksi ditutup dan dihomogenkan serta dibersihkan bagian tutup tabung reaksi. Setelah dibersihkan, tabung reaksi dipanaskan pada suhu 150 °C selama 2 jam menggunakan pemanas yang telah di panaskan sebelumnya (SNI 6989.2:2019).

3.3.7. Pengukuran Larutan Deret Standar

Sebanyak 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; dan 9 mL larutan baku KHP dipipet dan dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL. Setelah itu, dihomogenkan dengan menambahkan aquades ke dalam labu ukur 10 mL sampai tanda tera. Lalu, dipipet sebanyak 2,5 mL dari masing-masing deret ke dalam tabung reaksi. Kemudian ditambahkan 1,5 mL *digestion solution* dan 3,5 asam sulfat ke dalam tabung reaksi. Selanjutnya tabung reaksi ditutup dan dihomogenkan serta dibersihkan bagian tutup tabung reaksi menggunakan tisu. Setelah dibersihkan, tabung reaksi dipanaskan pada suhu 150 °C $\pm$ 2 °C selama 2 jam menggunakan pemanas yang telah di panaskan sebelumnya (SNI 6989.2:2019).

3.3.8. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Alat uji Spektrofotometer UV-Vis dinyalakan dan optimalkan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat pengujian COD. Setelah dihidupkan, diatur panjang gelombang 600 nm. Lalu, dimasukkan larutan deret standar dan diukur serapan masing-masing larutan deret standar tersebut. Kemudian dicatat dan diplotkan terhadap kadar COD. Selanjutnya data pada serapan masing-masing larutan deret standar yang telah didapatkan, dibuat kurva kalibrasi dan ditentukan persamaan garis lurus nya. Kondisi alat di periksa dan di ulangi prosedurnya jika nilai koefisien regresi linier $r < 0,995$ hingga diperoleh nilai koefisien $r > 0,995$ (SNI 6989.2:2019).

3.3.9. Pengukuran BOD

Sebanyak 2 buah botol DO atau botol winkler disiapkan dan masing-masing botol ditandai dengan notasi A_1 ; A_2 ; dst. Selanjutnya, dimasukkan sampel uji ke dalam masing-masing botol DO A_1 dan A_2 sampai meluap, kemudian tutup masing-masing botol. Setelah itu, dilakukan pengocokan beberapa kali dan ditambahkan akuades pada sekitar mulut botol DO yang telah ditutup.

Selanjutnya, disimpan botol A_2 dalam lemari inkubator $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ selama 5 hari. Kemudian, dilakukan pengukuran oksigen terlarut terhadap larutan dalam botol A_1 dengan menggunakan metode titrasi secara iodometri (modifikasi azida). Diulangi pengerjaan untuk botol A_2 yang telah diinkubasi selama 5 hari (SNI 6989.72:2009).

Untuk prosedur cara uji oksigen terlarut secara iodometri (modifikasi azida) sebagai berikut, diambil sampel yang sudah disiapkan. Selanjutnya ditambahkan 1 mL MnSO_4 dan 1 mL alkali iodida azida dengan ujung pipet tepat di atas permukaan larutan. Kemudian ditutup segera dan dihomogenkan hingga terbentuk gumpalan sempurna. Dibiarkan gumpalan mengendap selama 5 menit sampai dengan 10 menit. Lalu, ditambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat, ditutup dan dihomogenkan hingga endapan larut sempurna. Setelah itu, sampel dipipet sebanyak 50 mL, dimasukkan ke dalam erlenmeyer 150 mL dan selanjutnya dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dengan indikator amilum/kanji sampai warna biru tepat hilang (SNI 6989.14:2004).

Perhitungan oksigen terlarut, seperti pada Persamaan 1,

$$\text{Oksigen terlarut (mg/L)} = \frac{V \times N \times 8000 \times F}{50} \quad (1)$$

Keterangan :

V adalah volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$

N adalah normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$

F adalah faktor (volume botol dibagi volume botol dikurangi volume pereaksi MnSO_4 dan alkali iodida azida)

(SNI 6989.14:2004)

Hasil pengukuran dari nilai oksigen terlarut nol hari merupakan A1. Kemudian, diulangi pengerjaan untuk botol A2 yang telah diinkubasi selama 5 hari. Hasil pengukuran dari nilai oksigen terlarut 5 hari merupakan A2. Lakukan hal diatas untuk penetapan blanko dengan menggunakan larutan pengencer tanpa contoh uji. Hasil pengukuran yang diperoleh nilai oksigen terlarut nol hari merupakan B1 dan hasil dari nilai oksigen terlarut 5 hari merupakan B2.

Perhitungan nilai BOD, seperti pada Persamaan 2,

$$\text{Nilai BOD}_5 \text{ (mg/L)} = \frac{(A1 - A2) - \left(\frac{B1 - B2}{VB}\right)VC}{P} \quad (2)$$

Keterangan :

BOD₅ adalah nilai BOD₅ contoh uji (mg/L)

A1 adalah kadar oksigen terlarut contoh uji sebelum inkubasi (0 hari) (mg/L)

A2 adalah kadar oksigen terlarut contoh uji setelah inkubasi (5 hari) (mg/L)

B1 adalah kadar oksigen terlarut blanko sebelum inkubasi (0 hari) (mg/L)

B2 adalah kadar oksigen terlarut blanko setelah inkubasi (5 hari) (mg/L)

VB adalah volume suspensi mikroba (mL) dalam botol DO blanko

VC adalah volume suspensi mikroba dalam botol contoh uji (mL)

P adalah perbandingan volume contoh uji (V1) per volume total (V2)

(SNI 6989.72 : 2009)

3.3.10. Pengukuran TSS

Sampel uji diambil secara kuantitatif dan dimasukkan ke dalam media penyaring. Selanjutnya, media penyaring dibilas menggunakan akuades dengan masing-masing 10 mL sebanyak 3 kali dan divakum hingga tiris. Kemudian, pindahkan media penyaring ke media penimbang dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 103°C sampai dengan 105°C selama 1 jam. Setelah itu, didinginkan media penimbang pada desikator dan ditimbang beratnya (SNI 6989.3:2019).

Perhitungan nilai TSS, seperti pada Persamaan 3,

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(W1 - W0) \times 1000}{V} \quad (3)$$

Keterangan:

W_0 adalah berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg)

W_1 adalah berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering(mg)

V adalah volume contoh uji (mL)

1000 adalah konversi mililiter ke liter.

(SNI 6989.3:2019)

3.3.11. Pengukuran Suhu

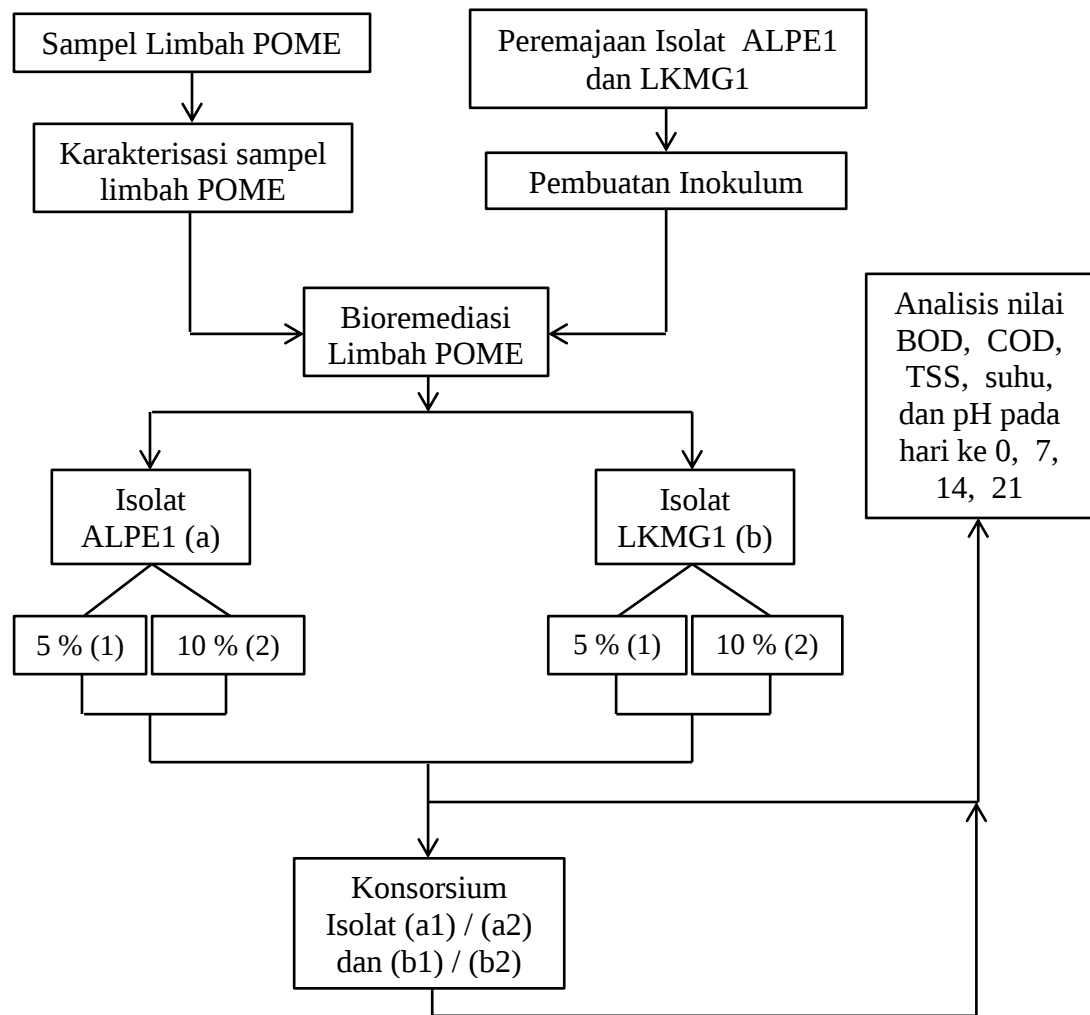
Batang alat termometer dibersihkan terlebih dahulu bagian ujungnya.

Selanjutnya dicelupkan ujung termometer ke dalam larutan dan tunggu hingga 2-5 menit, dicatat suhu yang terbaca. Kemudian bersihkan termometer dengan akuades dan keringkan menggunakan tisu.

3.3.12. Pengukuran pH

Alat uji pH meter dikalibrasi terlebih dahulu. Selanjutnya, elektroda dimasukkan kedalam sampel dan tunggu 1-2 menit hingga proses pembacaan selesai, dicatat pH yang terbaca. Kemudian bersihkan elektroda dengan akuades dan keringkan menggunakan tisu.

3.3.13. Skema Penelitian



Gambar 1. Alur penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Isolat tunggal yang efektif dalam menurunkan nilai BOD, COD, TSS, suhu serta kenaikan pH terdapat pada mikroba indigen lokal ALPE1 dan LKMG1 dengan konsentrasi inokulum 5% dimana dapat menurunkan nilai BOD masing-masing sebesar 70% dan 80,01%, penurunan nilai COD masing-masing sebesar 57,33% dan 66,19%, penurunan nilai TSS masing-masing sebesar 58,33% dan 77,46%, penurunan suhu yang sama sebesar 25 °C serta kenaikan pH masing-masing sebesar 4,89 dan 5,27.
2. Komposisi mikroba konsorsium yang digunakan ialah mikroba indigen lokal ALPE1 dan LKMG1 dengan konsentrasi inokulum masing-masing 5% dapat menurunkan nilai BOD, COD, TSS, suhu serta kenaikan pH dengan masing-masing sebesar 80,01% pada BOD, 60,85% pada COD, 63,49% pada TSS, 25 °C pada suhu, serta 4,44 pada pH. Namun komposisi yang digunakan belum efektif dalam menurunkan nilai parameter limbah yang dianalisis.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disarankan untuk melakukan kurva pertumbuhan pada mikroba untuk mengetahui fase optimum dari mikroba yang akan digunakan dan uji *optical density* (OD) pada mikroba

untuk mengetahui fase optimum konsentrasi mikroba sebelum ditambahkan ke dalam sampel limbah untuk proses bioremediasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. 2006. Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah Cair Industri. *Bulletin Penelitian*. 28 (1): 18–24.
- Ahmad, A. L., Ismail, S., and Bhatia, S. 2003. Water Recycling from Palm Oil Mill Effluent (POME) using Membrane Technology. *Desalination*. 157 (1–3): 87–95.
- Ahmad, I., Nabila, N. B. I., Abdullah, N., Koji, I., Mohamad, S. E., Khoo, K. S., Cheah, W. Y., Ling, T. C., and Show, P. L. 2023. Bioremediation Strategies of Palm Oil Mill Effluent and Landfill Leachate using Microalgae Cultivation: An Approach Contributing Towards Environmental Sustainability. *Chinese Chemical Letters*. 34 (5).
- Aida, H., dan Manalu, K. 2023. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Limbah Cair Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *BIOEDUSAINS*. 6 (1): 1-11.
- Andara, D. R., Haeruddin, dan Suryanto, A. 2014. Kandungan Total Padatan Tersuspensi, *Biochemical Oxygen Demand* dan *Chemical Oxygen Demand* Serta Indeks Pencemaran Sungai Klampisan di Kawasan Industri Candi, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*. 3 (3): 177–187.
- Andika, B., Wahyuningsih, P., dan Fajri, R. 2020. Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *Quimica: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*. 2 (1): 14–22.
- Aprizal, F. S. 2019. Aplikasi Metoda RCM (*Reliability Centered Maintenance*) untuk Optimasi Operasional dan Perawatan pada Unit Penanganan dan Pemurnian Biogas di PLT Biogas POME (*Palm Oil Mill Effluent*). *APTEK*. 11 (1): 59–68.

- Atima, W. 2015. BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*. 4 (1): 99–111.
- Ayinla, Z. A., Ademakinwa, A. N., and Agboola, F. K. 2017. Studies on the Optimization of Lipase Production by *Rhizopus sp.* ZAC3 Isolated from the Contaminated Soil of a Palm Oil Processing Shed. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 5 (2): 30–37.
- Azwir. 2006. *Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri oleh Limbah Pabrik Kelapa Sawit PT. Peputra Masterindo di Kabupaten Kampar*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Buck, R., Rondinini, S., Covington, A., Baucke, F., Brett, C., Camoes, M., and Wilson, G. 2002. Measurement of pH Definition, Standards, and Procedures. *Pure and Applied Chemistry*. 74 (11): 2169–2200.
- Budiarsa, W. S. 2015. *Pencemaran Air dan Pengolahan Air Limbah*. Udayana University Press. Denpasar.
- Chairunnisa, Riyanto, dan Karim, A. 2019. Isolasi dan Uji Bakteri Lipolitik dalam Mendegradasi Minyak pada Limbah Cair Kelapa Sawit di Kebun Marihat, Pematang Siantar. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA*. 1 (2): 44–52.
- Chandra, B. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Jakarta.
- Chapman, D. 2000. *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, Second Edition*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Citra, S., dan Nurhasanah. 2021. Skrining Bakteri Penghasil Biosurfaktan dari Air Laut Tercemar Minyak di Pelabuhan Panjang Lampung. *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*. 1 (1): 50–58.
- Deffy, T., Nilandita, W., dan Munafarida, I. 2020. Bioremediasi Limbah Cair Industri Tahu menggunakan Larutan EM4 secara Anaerob-Aerob. *Jurnal Presipitasi*. 17 (3): 233-241.

- Deublein, D., and Steinheuster, A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Wiley-VHC Verlag GmbH and CO. KgA. Weinheim.
- Eddy. 2008. Karakteristik Limbah Cair. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 2 (2): 20.
- Fardiaz, S. 1992. *Mikrobiologi Pangan I*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Fransiska, L. 2019. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Lipolitik pada Proses Pengomposan Limbah Domestik. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Fuentes, M. S., Alvarez, A., Saez, J. M., Benimeli, C. S., and Amoroso, M. J. 2014. Methoxychlor Bioremediation by Defined Consortium of Environmental *Streptomyces* Strains. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 11 (4): 1147–1156.
- Ganapathy, B., Yahya, A., and Ibrahim, N. 2019. Bioremediation of Palm Oil Mill Effluent (POME) using Indigenous *Meyerozyma guilliermondii*. *Environmental Science and Pollution Research*. 26 (11): 11113–11125.
- Hadi, A. 2007. *Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Irawan, B., dan Soesilo, N. I. 2021. Dampak Kebijakan Hilirisasi Industri Kelapa Sawit terhadap Permintaan CPO pada Industri Hilir. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Publik*. 12 (1): 29–43.
- Islam, M. A., Yousuf, A., Karim, A., Pirozzi, D., Khan, M. R., and Wahid, Z. A. 2018. Bioremediation of Palm Oil Mill Effluent and Lipid Production by *Lipomyces starkeyi*: A Combined Approach. *Journal of Cleaner Production*. 172 : 1779–1787.
- Iwuagwu, J. O., and Ugwuanyi, J. O. 2014. Treatment and Valorization of Palm Oil Mill Effluent Through Production of Food Grade Yeast Biomass. *Journal of Waste Management*. 2014 (1): 1–9.

- Jaeger, K.-E., Ransac, S., Dijkstra, B. W., Colson, C., Heuvel, M., and Misset, O. 1994. Bacterial Lipases. *FEMS Microbiology Reviews*. 15 (1): 29–63.
- Juliani, A., dan Rahman, F. 2011. Bioremediasi Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) dengan Penambahan Kompos sebagai *Bulking Agent* dan Sumber Nutrien Tambahan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*. 3 (1): 1–18.
- Kardila. 2011. *Karakteristik Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Karim, A., Islam, M. A., Mishra, P., Muzahid, A. J. M., Yousuf, A., Khan, M. M. R., and Faizal, C. K. M. 2021. Yeast and Bacteria Co-Culture-Based Lipid Production Through Bioremediation of Palm Oil Mill Effluent: A Statistical Optimization. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 13 (4): 2947–2958.
- Karim, A., Islam, M. A., Yousuf, A., Khan, M. M. R., and Faizal, C. K. M. 2019. Microbial Lipid Accumulation Through Bioremediation of Palm Oil Mill Wastewater by *Bacillus cereus*. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 7 (17): 14500–14508.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah*. Sekretariat Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Sekretariat Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kementrian Pertanian. 2021. *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019–2021*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Kesuma, L. R., Mayasari, U., dan Nasution, R. A. 2020. Potensi *Trichoderma* sp. sebagai Agen Bioremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit. *Spizaetus : Jurnal Biologi Dan Pendidikan Biologi*. 1 (1): 21–26.
- Khofifah, K., dan Utami, M. 2022. Analysis of Total Dissolved Solid (TDS) and Total Suspended Solid (TSS) Levels in Liquid Waste from Sugar Cane Industry. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 7 (1): 43–49.

- Lehninger, A. L. 1995. *Dasar-dasar Biokimia*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Malau, L. R. E., dan Rambe, K. R. 2022. Efek Sertifikasi RSPO dan Determinan Lainnya terhadap Kinerja Keuangan Perusahaan Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Modernisasi*. 18 (2): 184–198.
- Metcalf, and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, Fourth Edition, International Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Mohammad, S., Baidurah, S., Kamimura, N., Matsuda, S., Abu Bakar, N. A. S., Muhamad, N. N. I., Ahmad, A. H., Dominic, D., and Kobayashi, T. 2021. Fermentation of Palm Oil Mill Effluent in the Presence of *Lysinibacillus* sp. LC 556247 to Produce Alternative Biomass Fuel. *Sustainability*. 13 (21): 1-18.
- Munir, E. 2006. *Pemanfaatan Mikroba dalam Bioremediasi: Suatu Teknologi Alternatif untuk Pelestarian Lingkungan*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Murni, S. W., Kholisoh, S. D., L., T. D., dan M., P. E. 2011. *Produksi, Karakterisasi, dan Isolasi Lipase dari Aspergillus niger*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. Yogyakarta.
- Nasution, M. A., Wulandari, A., Ahamed, T., and Noguchi, R. 2020. Alternative POME Treatment Technology in the Implementation of Roundtable on Sustainable Palm Oil, Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO), and Malaysian Sustainable Palm Oil (MSPO) Standards using LCA and AHP Methods. *Sustainability*. 12 (10): 1-16.
- Notoadmodjo, S. 2003. *Ilmu Kesehatan Masyarakat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Nuraini, E., Fauziah, T., dan Lestari, F. 2019. Penentuan Nilai BOD dan COD Limbah Cair Inlet Laboratorium Pengujian Fisis Politeknik Atk Yogyakarta. *Integrated Lab Journal*. 7 (2): 10–15.
- Okwute, O. L., and Ijah, U. J. J. 201). Bioremediation of Palm Oil Mill Effluent (POME) Polluted Soil using Microorganisms Found in Organic Wastes. *The International Journal of Biotechnology*. 3 (3): 32–46.

- Pescod, M. 1973. *Investigation of Rational Effluent and Stream Standarts for Tropical Countries*. Asean Institut of Technology. Bangkok.
- Primadasa, R., dan Sokhibi, A. 2020. Model *Green Scor* untuk Pengukuran Kinerja *Green Supply Chain Management* (Gscm) Industri Kelapa Sawit di Indonesia. *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*. 1 (2): 55–62.
- Putri, N. M. 2023. Studi Bioremediasi Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Menggunakan Mikroba Lipolitik Isolat Lokal. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rachmawati, F. 2021. Skrining Aktivitas Lipase dari Isolat Bakteri – Bakteri Air Laut Tercemar Minyak di Pelabuhan Panjang Lampung. *Praktik Kerja Lapangan*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rachmawati, F. 2022. Studi Biodegradasi Minyak Solar oleh Bakteri Lipolitik Isolat Lokal Penghasil Biosurfaktan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rahmanto, A. D., Iriana, D., dan Ihsan, Y. N. 2016. Bioremediasi Sedimen Tercemar Limbah Amonia Menggunakan Teknologi *Microbial Fuel Cell* di Kawasan Mangrove Nusa Dua Bali. *Jurnal Perikanan Kelautan*. 7 (1): 157–164.
- Ratri, J. S., dan Mahayana, A. 2022. Analisis Kadar *Total Suspended Solid* (TSS) dan Amonia (NH₃ -N) pada Limbah Cair Tekstil. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*. 3 (1): 1–10.
- Sarjono, A. 2009. Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadae. *Jurnal Makara Sains*. 10 (1): 35–40.
- Sawyer, N, C., McCarty, P. L., and Parkin, G. F. 1994. *Chemistry for Environmental Engineering, 4th Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Sawyer, N, C., McCarty, P. L., and Parkin, G. F. 2003. *Chemistry for Enviromental Engineering and Science, 5th Edition*. Mc. Graw-Hill. New York.

Sharma, R., Chisti, Y., and Banerjee, C. U. 2001. Production, Purification, Characterization, and Applications of Lipases. *Biotechnology Advances*. 19 : 627–662.

Siregar, S. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Kanisius. Yogyakarta.

Soemirat, J. 2004. *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Standarisasi Nasional. 2004. *Air dan Air Limbah-Bagian 14 : Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida) (SNI. 06-6989.14-2004)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Standarisasi Nasional. 2009. *Air dan Air Limbah-Bagian 72 : Cara Uji kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD) (SNI. 06-6989.722009)*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia. Jakarta.

Standarisasi Nasional. 2019. *Air dan Air Limbah-Bagian 3 : Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri (SNI. 066989.3-2019)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Standarisasi Nasional. 2019. *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri (SNI 6989.2:2019)*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia. Jakarta.

Sumiyati, S. 2019. *Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Kombinasi Reaktor Biofilm Anaerob-Aerob. Disertasi*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Suseela, L., and Muralidhar, P. 2018. Reduction of Organic Load From Palm Oil Mill Effluent (POME) using Selected Fungal Strains Isolated from POME Dump Sites. *African Journal of Biotechnology*. 17 (36): 1138–1145.

Susilowati, A. R. I., dan Listyawati, S. 2001. Keanekaragaman Jenis Mikroorganisme Sumber Kontaminasi Kultur In vitro di Sub-Lab . Biologi Laboratorium MIPA Pusat UNS. *Biodiversitas*. 2 (1): 110–114.

Sutrisno, C. T. 2002. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Rineka Cipta. Jakarta.

- Suyasa, W. 2015. *Pencemaran Air dan Pengolahan Air Limbah*. Udayana University Press. Denpasar.
- Swandi, M. K., dan Nurmiati, P. 2015. Isolasi Bakteri Pendegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit. *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)*. 4 (1): 71–76.
- Vidali, M. K. 2011. Bioremediation - An overview. *Journal of Industrial Pollution Control*. 27 (2): 161–168.
- Wardhana, W. A. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Wignyanto, Hidayat, N., dan Ariningrum, Alfia. 2009. Bioremediasi Limbah Cair Sentra Industri Tempe Sanan serta Perencanaan Unit Pengolahannya (Kajian Pengaturan Kecepatan Aerasi dan Waktu Inkubasi). *Jurnal Teknologi Pertanian*. 10 (2): 123-135.
- Yapasan, E. 2008. *Partial Purification and Characterization of Lipase Enzyme from a Pseudomonas Strain*. İzmir Institute of Technology. İzmir.
- Yonas, R., Irzandi, U., dan Satriadi, H. 2012. Pengolahan Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) dengan Menggunakan Mikroalga. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*. 1 (1): 7–13.
- Zulkifli, A. 2016. Analisis Kelayakan Potensi Pembangunan PLTBg POME di Wilayah Perkebunan Sawit. *PASTI*. 10 (2): 192–207.