

**STUDI BIOREMEDIASI LIMBAH POME (*Palm Oil Mill Effluent*)
MENGUNAKAN MIKROBA LIPOLITIK ISOLAT LOKAL**

(Skripsi)

Oleh

NUR MAYANA PUTRI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

STUDI BIOREMEDIASI LIMBAH POME (*Palm Oil Mill Effluent*) MENGUNAKAN MIKROBA LIPOLITIK ISOLAT LOKAL

Oleh

Nur Mayana Putri

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah cair minyak kelapa sawit yang memiliki tingkat polutan tinggi sehingga jika dibuang langsung ke perairan akan mencemari lingkungan. Metode bioremediasi adalah proses penguraian limbah organik/anorganik dengan menggunakan organisme untuk mengendalikan pencemaran pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya dan mereduksi bahan pencemar dari lingkungan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan masing-masing mikroba lipolitik isolat lokal LKMA3, LKMG1, dan konsorsium (LKMA3 dan LKMG1) dalam menurunkan parameter baku mutu limbah POME. Metode yang dilakukan meliputi uji COD, BOD, TSS, suhu, dan pH. Hasil menunjukkan bahwa pada penambahan inokulum 1% isolat LKMA3 lebih efektif dalam menurunkan parameter baku mutu limbah dengan penurunan nilai COD, BOD, dan TSS sebesar 92,38%; 83,34%; 89% serta kenaikan pH menjadi 4,66. Pada penambahan inokulum 5% isolat LKMA3 mengalami penurunan nilai COD, BOD, dan TSS sebesar 95,41%; 91,62%; 73,14% serta kenaikan pH menjadi 4,86. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa isolat LKMA3 relatif lebih baik dalam menurunkan baku mutu limbah POME dibandingkan dengan isolat LKMG1 dan konsorsium (LKMA3 dan LKMG1).

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

ABSTRACT

STUDY BIOREMEDIATION OF POME WASTE (*Palm Oil Mill Effluent*) USING LOCAL ISOLATED LIPOLYTIC MICROBE

By

Nur Mayana Putri

Palm Oil Mill Effluent (POME) is palm oil liquid waste which has a high pollutant level so that if it is discharged directly into the waters it will pollute the environment. The bioremediation method is the process of decomposing organic/inorganic waste using organisms to control pollution in calm conditions into a harmless material and reduce pollutants from the environment. The purpose of this study was to determine the ability of each lipolytic microbial local isolate LKMA3, LKMG1, and the consortium (LKMA3 and LKMG1) to reduce POME waste quality standard parameters. The method used includes COD, BOD, TSS, temperature, and pH tests. The results show that the addition of 1% inoculum isolate LKMA3 is more effective in reducing the parameters of waste quality standards with a decrease in COD, BOD, and TSS values of 92.38%; 83.34%; 89% and the increase in pH to 4.66. With the addition of 5% inoculum, the LKMA3 isolates decreased the values of COD, BOD, and TSS by 95.41%; 91.62%; 73.14% and the increase in pH to 4.86. Based on these results, it was found that the LKMA3 isolate was relatively better at reducing POME waste quality standards compared to the LKMG1 isolates and the consortium (LKMA3 and LKMG1).

Key words: POME waste, bioremediation, lipolytic microbes, waste quality standards.

**STUDI BIOREMEDIASI LIMBAH POME (*Palm Oil Mill Effluent*)
MENGUNAKAN MIKROBA LIPOLITIK ISOLAT LOKAL**

Oleh

Nur Mayana Putri

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul : **STUDI BIOREMEDIASI LIMBAH POME (*Palm Oil Mill Effluent*) MENGGUNAKAN MIKROBA LIPOLITIK ISOLAT LOKAL**

Nama : **Nur Mayana Putri**

NPM : **1817011028**

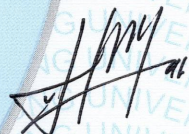
Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

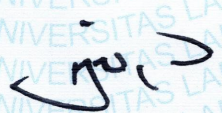


1. **Komisi Pembimbing**


Dra. Aspita Laila, M.S.
NIP. 196009091988112001


Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si.
NIP. 197412111998022001

2. **Ketua Jurusan Kimia**
FMIPA Universitas Lampung


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dra. Aspita Laila, M.S.**

Sekretaris : **Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si.**

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

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 Januari 2023**



**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Mayana Putri
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011028
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya berjudul "**Studi Bioremediasi Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Menggunakan Mikroba Lipolitik Isolat Lokal**" adalah benar hasil karya saya sendiri, baik ide, hasil penelitian, maupun analisisnya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 26 Januari 2023
Yang menyatakan,



Nur Mayana Putri
NPM1817011028

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Nur Mayana Putri, lahir di Gisting, 6 Mei 2000. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Sugiarto dan Ibu Sumiatun. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di TK RAMA Lansbaw, SDN 1 Gisting Bawah, SMPN 1 Gisting, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Sumberejo. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2018.

Penulis mengikuti berbagai organisasi selama di perguruan tinggi, salah satunya himpunan mahasiswa jurusan kimia (Himaki) kepengurusan tahun 2019 sebagai anggota Biro Kesekretariatan hingga tahun 2020 sebagai Sekretaris Umum. Selama kepengurusan penulis aktif mengikuti kegiatan yang diadakan himpunan baik tingkat jurusan hingga tingkat nasional. Penulis juga mengikuti organisasi tingkat nasional yaitu Ikatan Himpunan Mahasiswa Kimia Indonesia (Ikahimki) pada tahun 2020-2021 sebagai Sekretaris Departemen Sosial Masyarakat dan pada tahun 2021-2022 sebagai Kepala Departemen Sosial Masyarakat.

Pada tahun 2021, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) Putra Daerah di Desa Purwodadi, Kecamatan Gisting, Kabupaten Tanggamus. Selama menjadi mahasiswi penulis pernah menjadi asisten praktikum Biokimia pada tahun 2022 dan Pengantar Kimia Analisis pada tahun 2021-2022. Penulis menyelesaikan Praktek Kerja Lapangan di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung. Penulis menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Bioremediasi Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Menggunakan Mikroba Lipolitik Isolat Lokal”.

MOTTO

“Jangan lelah untuk menuntut ilmu, karena Allah *Subhanahu wa ta'ala* selalu memberi kesempatan untuk hamba-Nya yang mau berusaha dan berdo'a”

(Penulis)

“Sesungguhnya bersama kesulitan pasti ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyirah : 5)

“Sesungguhnya manusia tidak memperoleh selain apa yang diusahakannya”

(Q.S. An-Najm : 39)

“Nilai suatu hal tak hanya dilihat dari hasil, namun juga dari perjuangannya, juga dari prosesnya”

(Alfi Alghazi)

“Terus bersemangatlah, mengukir ikhtiar dan bergerak dalam kebaikan. Berbaiksangkalah karena hanya yang terbaiklah yang akan Allah *Subhanahu wa ta'ala* berikan”

(Dewi Nur Aisyah)

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

Dengan mengucap *Alhamdulillah robbil 'alamin* atas ridho Allah dengan segala rasa syukur kupersembahkan karya kecil ini kepada:

Keluargaku tercinta

Bapak, Ibu, Mamas dan Adik yang selalu mendoakan dan mendukung penulis.

Dengan rasa hormat kepada:

Ibu Dra. Aspita Laila, M.S., Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si., Bapak Dr. Agung Abadi Kiswando, M.Sc. serta seluruh dosen Kimia FMIPA Unila yang telah membimbing dan memberikan ilmu serta nasehatnya hingga penulis mencapai gelar sarjana.

Sahabat-sahabatku dan semua orang baik yang telah mendoakan dan memberikan semangat.

Almamater Universitas Lampung

Dan untuk diriku sendiri yang telah semangat berjuang.

SANWACANA

Puji dan syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa ta'ala* atas segala rahmat dan karunia yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Studi Bioremediasi Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Menggunakan Mikroba Lipolitik Isolat Lokal**”. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad *Shalallahu 'alaihi wassalam*, beserta keluarga dan para sahabatnya.

Skripsi ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Sugiarto dan Ibu Sumiatun yang selalu mendo'akan, mendengarkan keluh kesah, menyemangati, memberikan motivasi serta dukungan kepada penulis.
2. Kakak dan adik penulis, Muhammad Arizar dan Faizar Davika Soleh yang telah memberikan semangat, serta dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
3. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S., selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, saran, kritik, serta dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, kritik serta dukungan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku Dosen Pembahas saya yang telah memberikan banyak masukan hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

6. Bapak Mulyono Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, yang telah memberikan arahan selama perkuliahan.
7. Rizka Nalia Pumita, Reyzka Aulia Wihardini, dan Wulandari Agustin teman pejuang S.Si-ku yang selalu memberikan do'a, dukungan, dan semangat kepada penulis.
8. Aulia Siti Pradina, Salsabila, dan Vezhia Sheiscatamya yang telah memberikan do'a dan motivasi kepada penulis selama mengerjakan penelitian.
9. Berlian Ananda, Indah Nurul Khasanah, Norma Weldania, Poppy Devi Lestari, Sindi Apriliana dan Mellinda Okiandara teman-teman terbaikku yang selalu mendo'akan, menyemangati, dan memberikan dukungan kepada penulis.
10. Teman-teman Kimia Angkatan 2018 yang telah memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan baik dalam isi maupun cara penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. *Aamiin.*

Bandar Lampung, Januari 2023

Nur Mayana Putri

3.3.9 Pengukuran Suhu	20
3.3.10 Pengukuran pH (<i>Potencial of Hydrogen</i>)	20
3.3.11 Skema Penelitian	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Parameter COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	22
4.2 Parameter BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>)	25
4.3 Parameter TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	28
4.4 Parameter pH (<i>Potencial of Hydrogen</i>)	30
4.5 Parameter Suhu	31
4.6 Pengaruh Penambahan Jumlah Inokulum Pada Proses Bioremediasi Terhadap Baku Mutu Limbah POME	33
V. KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Simpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik limbah cair POME (Irvan, 2012)	8
2. Baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit (Permen LH No. 5 Tahun 2014)	9
3. Data aktivitas unit, kadar protein dan aktivitas spesifik isolat lipolitik (Fransiska, 2019).....	12
4. Hasil Perhitungan Nilai DO (<i>Dissolved oxygen</i>)	26
5. Perubahan Nilai pH Sampel	30
6. Data Perubahan Suhu Sampel	31
7. Perubahan pH dengan inokulum 5%	35
8. Data Perubahan Suhu dengan inokulum 5%	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Trigliserida pada minyak kelapa sawit.....	11
2. Skema Alur Penelitian	21
3. Grafik Perubahan Nilai COD Sampel.....	24
4. Grafik Perubahan Nilai BOD Sampel.....	27
5. Grafik Perubahan Nilai TSS Sampel	29
6. Grafik Perubahan Nilai COD dengan inokulum 5%.....	33
7. Grafik Perubahan Nilai BOD dengan inokulum 5%.....	34
8. Grafik Perubahan Nilai TSS dengan inokulum 5%	35

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kelapa sawit merupakan industri ekspor terpenting di Indonesia. Industri kelapa sawit menyerap lebih dari 4,5 juta petani dan tenaga kerja serta menyumbang sekitar 4,5% dari total nilai ekspor nasional. Hal ini tidak terlepas dari peran Indonesia sebagai negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia sejak tahun 2006 (Shigetomi *et al.*, 2020). Dua pulau utama sentra perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah Sumatra dan Kalimantan. Sekitar 90% perkebunan kelapa sawit di Indonesia berada di kedua pulau tersebut dan menghasilkan 95% produksi minyak sawit mentah (*crude palm oil/CPO*) (Purba dan Sipayung, 2017). Di Pulau Sumatra, Lampung menjadi salah satu daerah yang potensial dengan total produksi kelapa sawit sebesar 420,70 ribu ton pada tahun 2021 (BPS Lampung, 2021). CPO yang dihasilkan dari minyak sawit dapat digunakan untuk berbagai industri salah satunya industri minyak goreng.

Industri minyak biasanya menghasilkan limbah yang bersifat cair atau padat serta kaya akan zat organik yang telah mengalami peruraian (Chairunnisa, dkk., 2019). Limbah cair minyak kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent (POME)* adalah limbah cair dengan tingkat polutan tinggi, memiliki pH rendah yang timbul dari degradasi parsial buah sawit sebelum diproses (Iwuagwu *and* Ugwuanyi, 2014). POME mengandung *Biological Oxygen Demand (BOD)* berkisar antara 20.000 mg/L-30.000 mg/L dan *Chemical Oxygen Demand (COD)* berkisar antara 40.000 mg/L-60.000 mg/L yang akan menjadi bahan pencemar apabila langsung dibuang ke perairan bebas (Irvan, 2012).

POME sering dibuang langsung dari pabrik ke perairan terbuka sehingga dapat mencemari sungai dan tanah di sekitarnya (Okwute *and* Isu, 2007). Ketika POME dibuang ke badan air, air berubah menjadi coklat, berbau, berlendir, dan

menyebabkan de-oksigenasi, hal ini dapat membunuh ikan serta organisme air lainnya. Pembuangan POME yang tidak diolah ke dalam tanah dapat mengubah sifat fisikokimia dan nutrisinya serta menyebabkan penurunan pH dan peningkatan salinitas yang tidak diinginkan (Islam *et al.*, 2017). Limbah berupa minyak atau lemak yang terdapat di permukaan air dapat menghambat masuknya cahaya matahari ke dalam air, lingkungan menjadi anaerob, dan menghambat proses biologis dalam air (Nurhasanah dan Dian, 2008). Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan limbah agar dapat mengurangi polutan yang ada di dalam air.

Limbah POME dapat diolah secara fisika, kimia dan biologi (Chairunnisa, dkk., 2019). Pada umumnya pengolahan air limbah yang dilakukan dengan cara menambahkan bahan kimia (misalnya bahan koagulan), harganya semakin meningkat dan dikhawatirkan adanya resiko hasil akhir yang tidak dikehendaki serta pengolahan limbah secara fisika hanya dapat dimanfaatkan untuk limbah yang tidak mengandung polutan berbahaya seperti minyak atau lemak, maka alternatif penambahan koagulan yang berasal dari mikroorganisme bisa dijadikan pilihan (Buthelezi *et al.*, 2009).

Proses penguraian limbah (pencemar) menggunakan agen biologi (mikroba) yang dilakukan dalam kondisi terkendali (*controlled condition*) disebut dengan bioremediasi. Bioremediasi adalah proses penguraian limbah organik/anorganik polutan dari sampah organik dengan menggunakan organisme (bakteri, fungi, tanaman atau enzimnya) dalam mengendalikan pencemaran pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya di bawah batas yang ditentukan oleh lembaga berwenang dengan tujuan mengontrol atau mereduksi bahan pencemar dari lingkungan (Munir, 2006). Salah satu jenis mikroba yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair minyak kelapa sawit yaitu mikroba lipolitik. Mikroba lipolitik merupakan mikroorganisme yang memiliki kemampuan memproduksi enzim lipase dan membutuhkan konsentrasi lemak minimal tertentu untuk pertumbuhannya. Lipase (*Triasilgliserol lipase*) adalah *soluble enzyme* yang menghidrolisis *triasilgliserol* untuk membebaskan asam lemak bebas dan gliserol (Bestari dan Suharjono, 2015). Pada kondisi

tertentu lipase juga mampu mengkatalis reaksi sebaliknya, yaitu sintesis ester dari asam lemak bebas dan gliserol atau substrat lainnya (Pera *et al.*, 2006). Hal ini menunjukkan bahwa mikroba lipolitik mampu mendegradasi minyak atau lemak sehingga dapat digunakan sebagai alternatif pemecahan masalah pencemaran lingkungan akibat limbah cair industri minyak sawit.

Beberapa penelitian yang menggunakan mikroba lipolitik dalam proses bioremediasi telah dilaporkan, diantaranya: mikroba lipolitik *Lipomyces starkeyi* pada proses bioremediasi limbah POME dengan variasi pengenceran 50% memiliki pertumbuhan mikroba, akumulasi lipid, serta tingkat bioremediasi yang jauh lebih tinggi dengan kandungan lipid 21,32% dan penurunan kandungan COD sebesar 75% sehingga dapat mengurangi tingkat pencemaran lingkungan (Islam *et al.*, 2017). Penelitian lain melaporkan adanya penggunaan bakteri lipolitik *Bacillus cereus* dalam proses bioremediasi limbah penyulingan minyak sawit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar minyak pada semua perlakuan pada setiap minggu pengamatan dalam kurun waktu satu bulan. Pada minggu ke-4 terjadi penurunan tingkat pencemaran sebesar 90,43% (Lusia, *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini digunakan dua isolat mesofilik LKMA3 dan LKMG1 yang diperoleh dari pengomposan limbah domestik untuk bioremediasi limbah cair minyak kelapa sawit. Kedua jenis isolat memiliki kemampuan untuk menghasilkan aktivitas lipolitik yang ditunjukkan dari aktivitas spesifik sebesar 0,4689 U/mg dan 0,4227 U/mg (Fransiska, 2019). Studi pendahuluan terhadap kedua isolat dalam menurunkan tingkat pencemaran menunjukkan adanya penurunan nilai BOD dan COD, namun belum memenuhi standar baku mutu limbah. Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini dilakukan bioremediasi terhadap limbah POME menggunakan mikroba lipolitik isolat lokal lalu dianalisis parameter BOD, COD, TSS, suhu, dan pH sehingga limbah yang masuk ke badan air telah memenuhi standar baku mutu air limbah yang ada.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan masing-masing mikroba serta konsorsium mikroba lipolitik isolat lokal dalam menurunkan nilai BOD, COD, TSS, suhu dan menaikkan nilai pH pada limbah cair minyak kelapa sawit.
2. Menentukan mikroba lipolitik isolat lokal yang efektif dalam menurunkan nilai BOD, COD, TSS, suhu, dan menaikkan nilai pH pada limbah cair minyak kelapa sawit.

1.3 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi tentang jenis mikroba lipolitik isolat lokal yang dapat digunakan sebagai agen bioremediasi limbah minyak kelapa sawit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

Air limbah adalah air yang telah digunakan manusia dalam berbagai aktivitasnya seperti, rumah tangga, perkantoran, pertokoan, fasilitas umum, industri maupun dari tempat-tempat lain. Air limbah juga dapat didefinisikan sebagai air bekas yang tidak terpakai dan dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia dalam memanfaatkan air bersih (Supriyatno, 2000). Air limbah yang dikeluarkan oleh suatu industri akibat proses produksi pada umumnya sulit diolah karena mengandung beberapa zat seperti: pelarut organik zat padat terlarut, *suspended solid*, minyak, dan logam berat sehingga dapat membahayakan kehidupan manusia serta mengganggu kelestarian lingkungan (Metcalf and Eddy, 2003).

Menurut Dewata dan Danhas (2018), air limbah dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain sebagai berikut:

1. Limbah industri, seperti industri minyak, pabrik cat, karet, dan lain sebagainya. Limbah industri biasanya mengandung bahan pencemar seperti Pb, Hg, Zn, dan CO sehingga menjadi racun yang berbahaya bagi makhluk hidup.
2. Pestisida dan residu pestisida dalam kegiatan pertanian dapat menyebabkan pencemaran air melalui badan air karena pestisida secara langsung mengalir bersama air irigasi.
3. Limbah domestik misalnya sisa deterjen hasil cucian, aktivitas pasar, dan lain sebagainya.
4. Tumpahan minyak bumi di laut dapat menyebabkan kematian flora dan fauna di laut.

2.2 Karakteristik Limbah Cair

Karakteristik limbah cair dapat digolongkan menjadi 3 yaitu karakteristik fisik, kimia, dan biologi. Karakteristik fisik mencakup suhu, kekeruhan, warna, bau,

dan padatan. Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh BOD, COD, nilai keasaman (pH) dan alkalinitas, lemak dan minyak serta logam-logam berat yang terkandung dalam air limbah. Sedangkan karakteristik biologi mencakup mikroorganisme yang terdapat di dalam air berasal dari berbagai sumber seperti udara, tanah, sampah, lumpur, tanaman hidup atau mati, hewan hidup atau mati (bangkai), bahan organik lainnya dan sebagainya. Kualitas air untuk kebutuhan hidup sehari-hari harus memenuhi beberapa parameter. Berikut adalah parameter yang umumnya digunakan dalam analisis limbah cair:

2.2.1 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD adalah suatu sifat yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik pada kondisi aerobik (Nuraini, dkk., 2019). Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, melainkan hanya mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik tersebut (Andika, 2020). Peningkatan kadar BOD pada limbah berbahaya bagi ekosistem perairan, bahkan dapat menghilangkan keanekaragaman hayati yang ada di dalamnya. Hal ini disebabkan oleh asupan oksigen pada sungai akan diserap sepenuhnya oleh bakteri-bakteri yang ada untuk mendegradasi bahan-bahan organik (Atima, 2015).

2.2.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai bahan organik yang ada di dalam air dengan proses oksidasi secara kimiawi (Lumaela *et al.*, 2013). Bahan organik diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Metcalf *and* Eddy, 2003), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah terurai maupun yang kompleks atau sulit terurai akan teroksidasi. Nilai COD yang rendah dalam suatu limbah menunjukkan semakin baik kualitas dari air limbah itu.

2.2.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan Total Tersuspensi (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1 mikrometer) yang tertahan pada saringan *milipore* dengan diameter pori 0,45 mikrometer. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2003). Oksigen terlarut yang ada di dalam air sangat dipengaruhi oleh adanya partikel tersuspensi. Sinar matahari yang diserap oleh partikel tersuspensi, meningkatkan suhu air yang mengurangi kapasitas menahan oksigen dari air hangat dan mengganggu spesies air dingin. Keberadaan TSS lebih lanjut mengurangi produksi oksigen karena mengganggu penetrasi cahaya yang diperlukan untuk fotosintesis oleh tanaman (Shah *et al.*, 2014).

2.2.4 Suhu

Keadaan suhu air sangat penting untuk dijadikan parameter karena dapat memberikan efek pada reaksi kimia, kehidupan perairan dan pantas atau tidaknya air tersebut untuk digunakan (Metcalf *and* Eddy, 2003). Air limbah mempunyai suhu lebih tinggi karena digunakan sebagai medium pendingin dalam berbagai proses industri. Kenaikan suhu air tersebut akan mengakibatkan menurunnya oksigen terlarut di dalam air, meningkatnya kecepatan reaksi kimia, terganggunya kehidupan ikan dan hewan air lainnya. Jika suhu tersebut tidak juga kembali pada suhu normal, lama kelamaan dapat menyebabkan kematian ikan dan hewan lainnya (Nugroho, 2006).

2.2.5 pH (*Potencial of Hydrogen*)

pH menyatakan intensitas kemasaman atau alkalinitas dari suatu cairan dan mewakili konsentrasi hidrogen ionnya. pH merupakan parameter penting dalam analisis kualitas air karena pengaruhnya terhadap proses-proses biologis dan kimia di dalamnya (Chapman, 2000). Air yang diperuntukkan sebagai air minum sebaiknya memiliki pH netral. Derajat keasaman (pH) air yang lebih kecil dari 6,5 atau pH asam meningkatkan korosifitas pada benda-benda logam, menimbulkan rasa tidak enak dan dapat menyebabkan beberapa bahan kimia menjadi racun yang mengganggu kesehatan (Sutrisno, 2006).

2.4 Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*)

Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) adalah suspensi koloid yang mengandung 95-96% air, 0,6-0,7% minyak, 4-5% lemak, dan padatan total. POME dikeluarkan dari suatu industri berupa cairan coklat dengan suhu debit antara 80°C - 90°C, nilai pH kisaran 4,0-5,0 dan mempunyai bau asam yang kuat (Ditjen PPHP Departemen Pertanian, 2006). Limbah yang dihasilkan dari industri minyak kelapa sawit berbentuk padat, gas, dan cair. Limbah padat meliputi tandan kosong (sekitar 23%), serat (sekitar 13,5%), dan cangkang (sekitar 5,5%). Limbah padat dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, pupuk, dan pakan ternak. Limbah gas berupa emisi gas dari boiler dan insinerator pada proses produksi CPO. Limbah cair yang dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dihasilkan sebesar 55-67%. POME berupa air buangan yang berasal dari kondensat rebusan, air hidrosiklon, dan lumpur separator. Karakteristik limbah cair POME dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair POME (Irvan, 2012)

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1.	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	mg/L	20.000-30.000
2.	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/L	40.000-60.000
3.	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	mg/L	15.000-40.000
4.	<i>Total Solid</i> (TS)	mg/L	30.000-70.000
5.	Minyak dan Lemak	mg/L	5.000-7.000
6.	NH ₃ -N	mg/L	30-40
7.	Total N	mg/L	500-800
8.	Suhu	°C	90-140
9.	pH	-	4-5

Keberadaan limbah dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti mengganggu transparansi air, mengganggu proses fotosintesis yang berujung pada defisiensi oksigen, menyebabkan tumor ataupun kematian pada

organisme akuatik, serta mengakibatkan iritasi, keracunan, mutasi gen, dan kanker pada manusia (Valerie *et al.*, 2018). Namun disamping itu limbah tersebut masih memiliki substansi organik yang berharga seperti senyawa gula, karbohidrat, nitrogen, asam organik, dan sisa lemak dan senyawa polifenol yang menyebabkan mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang. Nutrisi yang ada di dalam POME sangat lengkap karena terdapat karbohidrat, lemak dan protein (Crognale *et al.*, 2006).

Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh limbah cair industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi di dekat sungai. Limbah cair industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan oleh bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuknya ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir, 2006). Oleh karena itu, perlu adanya suatu standar baku mutu yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar untuk dibuang ke dalam air. Baku mutu limbah cair industri minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit (Permen LH No. 5 Tahun 2014)

No	Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
1.	BOD5	mg/L	100	0,25
2.	COD	mg/L	350	0,88
3.	TSS	mg/L	250	0,63
4.	Minyak dan lemak	mg/L	25	0,063
5.	Nitrogen Total	mg/L	50	0,125
6.	pH	-	6,0-9,0	-

2.5 Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses penguraian limbah organik/anorganik polutan menggunakan organisme (bakteri, fungi, tanaman atau enzim) dalam mengendalikan pencemaran pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya dibawah batas yang ditentukan oleh lembaga berwenang dengan tujuan mengontrol atau mereduksi bahan pencemar dari lingkungan (Munir, 2006). Bioremediasi merupakan salah satu alternatif pengelolaan limbah cair yang ekonomis, mudah, dan ramah lingkungan untuk merombak polutan menjadi substansi yang tidak berbahaya dengan menggunakan mikroorganisme (Juliani dan Rahman, 2011). Mikroorganisme dapat berupa bakteri, fungi, protozoa, dan lain-lain yang terdapat di berbagai tempat seperti tanah, debu, air, udara kulit dan selaput lendir (Susilowati dan listyawati, 2001).

Mikroorganisme dapat menghasilkan enzim dan metabolit sekunder yang dapat mendegradasi bahan kompleks sehingga dapat dimanfaatkan dalam pengelolaan limbah termasuk limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*), selain itu bakteri nonpatogen berperan penting dalam proses degradasi limbah sehingga mampu mengurangi mikroorganisme patogen berkembang biak (Djaja, 2006). Campuran populasi mikroba dalam bentuk komunitas yang mempunyai hubungan kooperatif, komensalisme, dan mutualistik disebut dengan konsorsium mikroba. Konsorsium mikroba akan memberikan hasil lebih efektif karena adanya aktivitas metabolisme yang saling melengkapi satu sama lain dalam sistem degradasi lingkungan (Jadhav *et al*, 2008).

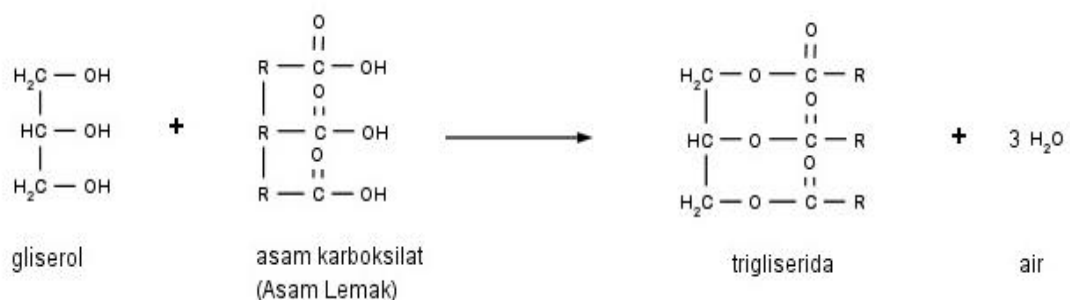
Salah satu penelitian yang telah dilakukan oleh Karim *et al.* (2019) menunjukkan bahwa *B. cereus* dapat menjadi bakteri yang potensial untuk mengakumulasi lipid melalui bioremediasi POME. Pengolahan air limbah dengan penambahan bakteri sangat bermanfaat karena lebih mudah; sumber karbon yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri murah; tingkat pertumbuhan yang cepat, kapasitas produksi biomassa yang lebih tinggi, serta memiliki kemampuan alami untuk menyimpan lipid dan produk lainnya.

2.6 Bakteri Lipolitik

Bakteri lipolitik merupakan bakteri yang mampu memanfaatkan sumber lemak atau lipid sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya, serta mampu memproduksi enzim lipase yang menghidrolisis lemak menjadi asam lemak dan gliserol (Lusia *et al.*, 2018). Bakteri lipolitik kebanyakan merupakan bakteri yang bersifat aerobik. Lipase dari bakteri lipolitik umumnya diproduksi secara ekstraselular.

Dalam aplikasi modern lipase juga digunakan sebagai katalis yang murah dan serbaguna untuk mendegradasi lipid seperti penggunaan enzim lipase untuk pembuatan deterjen dan biokatalis, serta juga dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk mengubah minyak tumbuhan menjadi bahan bakar. Pada hampir semua kasus, bakteri lipolitik berfungsi dengan baik pada emulsi minyak dalam air, dimana kandungan air tinggi dan area interfacial untuk degradasi tersedia luas (Sharma *et al.*, 2001).

Menurut Hana (2010), bakteri lipolitik dapat menghasilkan beragam enzim phospholipase diantaranya adalah karboksilesterase yang menghidrolisis molekul kecil bergugus ester (sedikit atau sebagiannya larut dalam air), dan lipase sejati yang memotong trigliserida berantai panjang (tidak larut dalam air). Oleh karena itu, sifat dari bakteri lipolitik yang dapat memecah senyawa minyak atau lipid dapat digunakan sebagai agen bioremediasi. Bakteri penghasil enzim lipase merupakan biokatalisator yang mempunyai kemampuan mengkatalis reaksi hidrolisis lipid menjadi asam lemak dan gliserol seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Trigliserida pada minyak kelapa sawit

Salah satu penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan bakteri lipolitik sebagai agen potensial bioremediasi pada limbah minyak SBE (*Spent Bleaching Earth*) diisolasi dari limbah itu sendiri, hal ini disebabkan karena 30% residu minyak pada limbah dapat digunakan bakteri untuk pertumbuhannya, sehingga adanya bakteri mampu menjadi agen bioremediasi pencemaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas enzim lipase yang tinggi menandakan bahwa bakteri lipolitik bekerja optimal merombak zat pencemar. Bakteri yang memiliki potensi sebagai agen bioremediasi terdiri dari genus *Citrobacter* (B1), *Enterobacter* (B2) dan *Acinetobacter* (B3) oleh (Elyza, dkk., 2015).

2.7 Karakteristik Bakteri Lokal

Bakteri lokal isolat LKMA3 dan LKMG1 merupakan jenis bakteri mesofilik yang diisolasi dari pengomposan limbah domestik. Karakteristik isolat LKMA3 yaitu merupakan bakteri gram negatif (-), berbentuk basil, dan bersifat motil sedangkan isolat LKMG1 merupakan bakteri gram negatif (-), berbentuk kokus, dan bersifat motil. Kedua jenis isolat memiliki kemampuan untuk menghasilkan aktivitas lipolitik yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data aktivitas unit, kadar protein dan aktivitas spesifik isolat lipolitik (Fransiska, 2019).

Kode isolat	Aktivitas Unit (U/mL)	Kadar Protein (mg/mL)	Aktivitas Spesifik (U/mg)
LKMA3	0,1666	0,3553	0,4689
LKMG1	0,1666	0,3941	0,4227

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2022 sampai dengan November 2022 di Laboratorium Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi alat-alat gelas (tabung reaksi, labu ukur 10 mL, labu ukur 100 mL, erlenmeyer 250 mL, corong gelas, cawan petri), jarum ose, *hot plate* merk Behr-Labor Technic, neraca digital, *autoclave* (model S-90N), pH meter, botol winkler 100 mL, inkubator, pipet mikro, oven (T60 Heraeus), buret dan klem, tip, *magnetic stirrer*, *centrifuge*, *centrifuge tube*, *laminar air flow*, dan spektrofotometer UV-Vis Agilent Cary 100.

Bahan-bahan yang digunakan adalah bakteri mesofilik isolat lokal LKMG₁ dan LKMA₃ dari pengomposan limbah domestik (Fransiska, 2019), limbah POME, KH₂PO₄, NH₄Cl, NaOH 30%, MgSO₄, CaCl₂, FeCl₃, MnSO₄, KI, NaN₃, Na₂S₂O₃, Ag₂SO₄, K₂Cr₂O₇, HgSO₄, H₂SO₄ pekat, akuades, amilum, dan asam salisilat.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Tahap Persiapan

3.3.1.1 Persiapan Alat

Peralatan gelas yang digunakan dicuci bersih, dikeringkan dan disterilisasi agar alat-alat terhindar dari kontaminasi mikroba yang tidak diinginkan. Sterilisasi alat dilakukan menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama

15 menit. Seluruh kegiatan dilakukan secara aseptik di dalam *Laminar Air Flow* (LAF).

3.3.1.2 Pembuatan Media Padat

Media padat yang digunakan adalah medium *Nutrient Agar* (NA) untuk media pertumbuhan bakteri. Medium NA dibuat dengan cara 2,8 gram NA ditimbang, lalu ditambahkan 100 mL akuades dan dipanaskan hingga larut. Media disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.1.3 Pembuatan Media Cair

Media cair yang digunakan adalah medium *Nutrient Broth* (NB) untuk media pertumbuhan bakteri. Medium cair dibuat dengan cara 1,3 gram NB ditimbang, lalu ditambahkan 100 mL akuades dan dipanaskan hingga larut. Media disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

3.3.1.4 Peremajaan Isolat LKMG1 dan LKMA3

Bakteri isolat lokal masing-masing diambil sebanyak 1 ose dan digores ke media NA miring secara aseptik, lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30°C dan disimpan sebagai isolat stok.

3.3.1.5 Perbanyak Strain Bakteri Isolat LKMG1 dan LKMA3

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

3.3.1.6 Sampel Air Limbah

Sampel air limbah diambil dari stok yang telah tersedia pada salah satu Perusahaan Minyak Kelapa Sawit yang ada di Bandar Lampung sebanyak ± 5 liter menggunakan wadah derigen.

3.3.2 Pembuatan Larutan Untuk Uji COD (*Chemical Oxygen Demand*)

3.3.2.1 Pembuatan Larutan Asam Sulfat

1,012 gram serbuk atau kristal Ag_2SO_4 dilarutkan ke dalam 100 mL H_2SO_4 pekat lalu aduk hingga larut.

3.3.2.2 Pembuatan Larutan Baku $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (*digestion solution*) 0,01 M (0,1 N)

0,4903 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 150°C selama 2 jam dilarutkan ke dalam 50 mL akuades. Tambahkan 16,7 mL H_2SO_4 pekat dan 3,33 gram HgSO_4 . Larutkan dan dinginkan pada suhu ruang dan encerkan sampai 100 mL.

3.3.3 Pembuatan Larutan Untuk Uji BOD (*Biological Oxygen Demand*)

3.3.3.1 Pembuatan Larutan *Buffer* Fosfat

4,25 gram kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4), 0,17 gram ammonium klorida (NH_4Cl) dilarutkan dalam 70 mL akuades, atur sampai pH larutan 7,2 dengan penambahan larutan NaOH 30% kemudian diencerkan hingga 100 mL.

3.3.3.2 Pembuatan Larutan Magnesium Sulfat

2,25 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan akuades, kemudian encerkan hingga 100 mL.

3.3.3.3 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida

2,75 gram CaCl_2 anhidrat dilarutkan dengan akuades, kemudian encerkan hingga 100 mL.

3.3.3.4 Pembuatan Larutan Feri Klorida

0,025 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan akuades, kemudian encerkan hingga 100 mL.

3.3.3.5 Pembuatan Larutan Suspensi Mikroba

Strain bakteri yang telah diinkubasi pada *shaker incubator* dengan kecepatan 110 rpm selama 24 jam kemudian di sentrifuse dan diambil supernatannya.

3.3.3.6 Pembuatan Larutan Mangan Sulfat

3,64 gram $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan akuades ke dalam labu ukur 10 mL, tepatkan sampai tanda tera.

3.3.3.7 Pembuatan Larutan Alkali Yodida Azida

5 gram NaOH dan 1,5 gram KI dilarutkan dengan akuades, encerkan sampai 10 mL. Tambahkan 5 gram NaN_3 dalam 20 mL akuades.

3.3.3.8 Pembuatan Larutan Kanji/Amilum

2 gram amilum dan 0,2 gram asam salisilat sebagai pengawet dilarutkan dalam 100 mL akuades yang dipanaskan (mendidih).

3.3.3.9 Pembuatan Larutan Asam Sulfat 6 N

1 bagian volume asam sulfat pekat dicampurkan ke dalam 5 bagian akuades.

3.3.3.10 Pembuatan Larutan Sodium Thiosulfat 0,025 N

0,6205 gram $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan akuades yang telah dididihkan (bebas oksigen), tambahkan 0,04 gram NaOH dan encerkan hingga 100 mL.

3.3.3.11 Pembuatan Larutan Air Pengencer

1 L akuades dalam botol gelas yang bersih ditambahkan masing-masing 1 mL larutan nutrisi yang terdiri dari larutan *buffer* fosfat, MgSO_4 , CaCl_2 dan FeCl_3 . Tambahkan juga bibit mikroba sebanyak 1 mL (SNI 6989.72 : 2009).

3.3.4 Perlakuan Contoh uji COD dan BOD

Sampel air limbah di bagi menjadi 5 bagian yang setiap bagiannya terdiri dari 50 mL air limbah yang diencerkan dalam 50 mL akuades, lalu ditambahkan bibit mikroba LKMA3 pada bagian 1, LKMG1 pada bagian 2, LKMA3 dan LKMG1 pada bagian 3 sebanyak 1 mL, serta LKMA3 sebanyak 5 mL pada bagian 4 sementara satu bagian lainnya tidak diberikan mikroba dan dijadikan kontrol (Islam *et al.*, 2017). Setelah itu, sampel air limbah ditutup dengan sumbat dan diinkubasi dalam *shaker* inkubator selama 28 hari.

Contoh uji pada hari ke 0 langsung diuji nilai COD, BOD, TSS, suhu dan pH nya sebagai limbah dengan nilai COD, BOD, TSS, suhu dan pH hari ke 0. Kemudian air limbah yang telah dibioremediasi selama 28 hari diuji menurut hari yang telah ditentukan dengan rentang 0, 7, 14, 21 dan 28 hari. Perbedaan hasil akhir dari setiap pengujian hari-hari tersebut dengan kontrol menunjukkan perubahan nilai COD, BOD, suhu, dan pH limbah yang telah diperlakukan oleh mikroba LKMA3, LKMG1, serta konsorsium.

3.3.5 Pengukuran COD

2,5 mL contoh uji dipipet dan ditambahkan 1,5 mL larutan *digestion solution* lalu tambahkan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat ke dalam tabung reaksi tertutup. Tabung ditutup dan dikocok secara perlahan sampai homogen lalu letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C selama 2 jam. Kemudian dinginkan perlahan-lahan contoh uji yang sudah dipanaskan sampai suhu ruang, saat pendinginan sesekali tutup contoh uji dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas. Kemudian lakukan pengukuran contoh uji dengan menggunakan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm (SNI 6989. 2 : 2019). Lakukan langkah serupa terhadap kontrol.

3.3.6 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Spektrofotometer UV-Vis dinyalakan dan dioptimalkan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat pengujian COD. Alat uji Spektrofotometer diatur pada panjang

gelombang 600 nm untuk konsentrasi tinggi/*high range* (HR). Larutan deret standar dimasukkan dan diukur serapan masing-masing larutan deret standar tersebut. Kemudian dicatat dan diplotkan terhadap kadar COD. Data pada serapan masing-masing larutan deret standar yang telah didapatkan, dibuat kurva kalibrasi dan ditentukan persamaan garis lurusnya. Kondisi alat di periksa dan diulangi prosedurnya jika nilai koefisien regresi linier $r < 0,995$ hingga diperoleh nilai koefisien $r > 0,995$.

3.3.7 Pengukuran BOD

2 buah botol DO atau Winkler disiapkan dan ditandai masing-masing botol dengan notasi A1;A2;dst. Contoh uji dimasukkan ke dalam masing-masing botol DO A1 dan A2 sampai meluap, lalu tutup masing-masing botol secara hati-hati untuk menghindari terbentuknya gelembung udara, lakukan pengocokan beberapa kali, kemudian tambahkan akuades pada sekitar mulut botol DO yang telah ditutup. Simpan botol A2 dalam lemari inkubator $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari. Lakukan pengukuran oksigen terlarut terhadap larutan dalam botol A1 dengan menggunakan metode titrasi secara iodometri (modifikasi azida) sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004. Prosedur cara uji oksigen terlarut secara iodometri (modifikasi azida) sebagai berikut, ambil contoh yang sudah disiapkan lalu tambahkan 1 mL MnSO_4 dan 1 mL alkali iodida azida dengan ujung pipet tepat diatas permukaan larutan kemudian tutup segera dan homogenkan hingga terbentuk gumpalan sempurna, biarkan gumpalan mengendap 5 menit sampai dengan 10 menit lalu tambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat, tutup dan homogenkan hingga endapan larut sempurna. Sampel dipipet sebanyak 50 mL, dimasukkan ke dalam erlenmeyer 150 mL lalu dititrasi dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dengan indikator amilum/kanji sampai warna biru tepat hilang.

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 mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

N adalah normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

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

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

Perhitungan nilai BOD_5 seperti pada Persamaan 2.

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

Keterangan :

BOD_5 adalah nilai BOD_5 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).

3.3.8 Pengukuran TSS (*Total Suspended Solid*)

Contoh uji diambil secara kuantitatif dengan volume tertentu dan dimasukkan ke dalam media penyaring. Media penyaring dibilas sebanyak 3 kali dengan masing-masing 10 mL akuades, lanjutkan penyaringan dengan sistem vakum hingga tiris. Media penyaring (*glass-fiber filter*) dipindahkan ke media penimbang (cawan petri). Media penimbang yang berisi media penyaring dikeringkan dalam oven minimal selama 1 jam pada kisaran suhu 103°C sampai dengan 105°C , dinginkan

dalam desikator, dan timbang. Lakukan hingga diperoleh berat tetap (SNI 6989.3:2019).

Perhitungan 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)

$W1$ adalah berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg)

V adalah volume contoh uji (mL)

1000 adalah konversi mililiter ke liter.

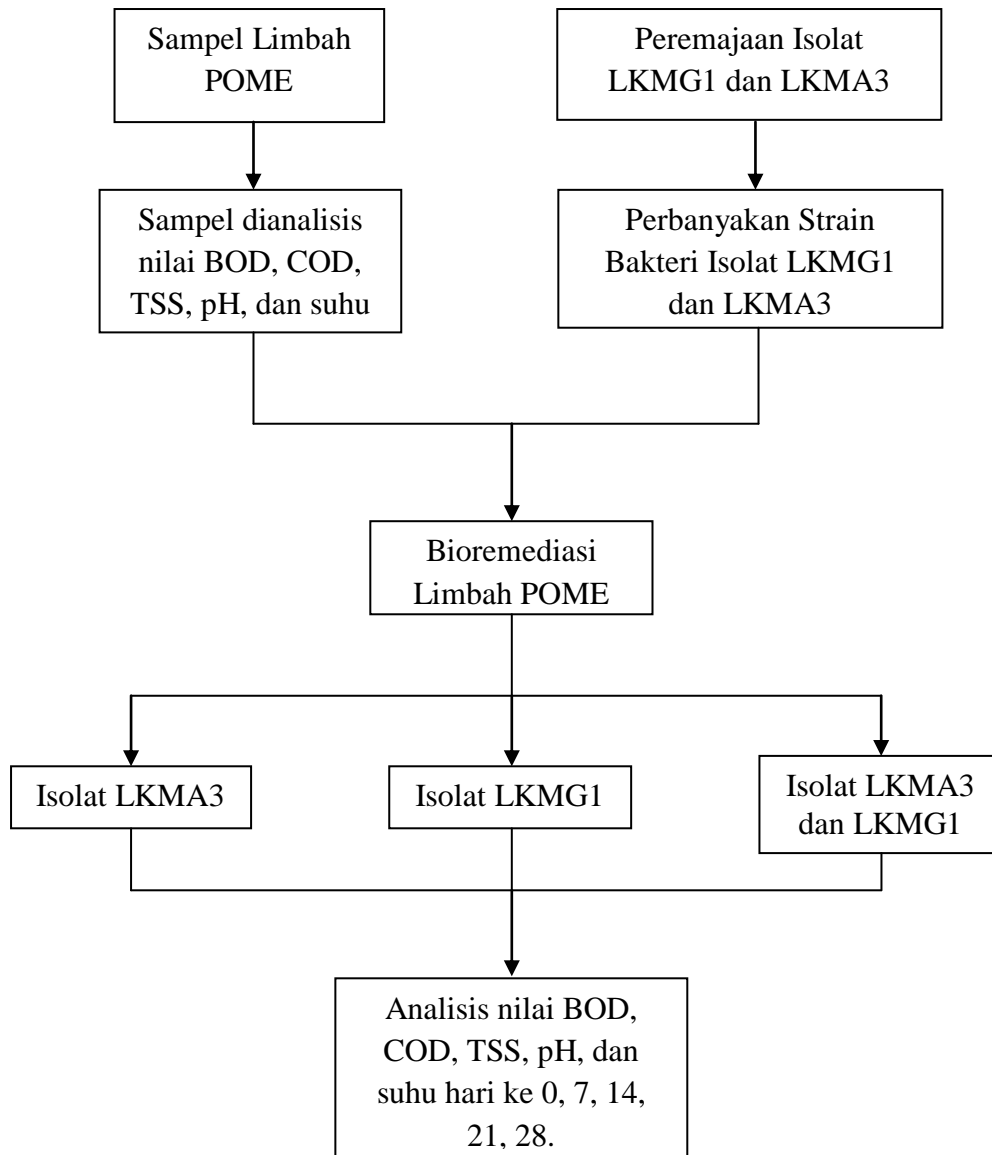
3.3.9 Pengukuran Suhu

Termometer batang dibersihkan bagian ujungnya, lalu dicelupkan ujung termometer ke dalam larutan. Tunggu 2-5 menit, kemudian catat suhu yang terbaca. Setelah itu bersihkan termometer dengan akuades dan keringkan menggunakan tisu.

3.3.10 Pengukuran pH (*Potencial of Hydrogen*)

Alat pH meter dilakukan kalibrasi terlebih dahulu, kemudian dimasukkan elektroda ke dalam sampel dan tunggu 1-2 menit hingga proses pembacaan selesai, dicatat pH yang terbaca. Setelah itu bersihkan elektroda dengan akuades dan keringkan menggunakan tisu.

3.3.11 Skema Penelitian



Gambar 2. Skema Alur Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sampel limbah yang telah dibioremediasi menggunakan 1% inokulum mikroba LKMA3, LKMG1 dan konsorsium mengalami penurunan nilai COD berturut-turut sebesar 92,38%; 91,90%; 91,90% , penurunan nilai BOD sebesar 83,34%; 83,33%; 83,33%, penurunan nilai TSS sebesar 89%; 75,03%; 75,03% serta kenaikan pH menjadi 4,66; 5,42; dan 5,42.
2. Sampel limbah yang telah dibioremediasi menggunakan 5% inokulum mikroba LKMA3 mengalami penurunan nilai COD, BOD, dan TSS sebesar 95,41%; 91,62%; dan 73,14% serta kenaikan pH menjadi 4,86 lebih baik dibandingkan dengan kontrol yang mengalami penurunan nilai COD, BOD, dan TSS sebesar 36,61%; 33,38%; 67,83% dan nilai pH 3,84.
3. Sampel limbah dengan penambahan inokulum bakteri LKMA3 lebih efektif dalam menurunkan nilai parameter baku mutu limbah POME. Namun, penurunan yang telah memenuhi standar baku mutu limbah POME hanya nilai BOD. Sedangkan untuk parameter lain seperti COD, TSS, dan pH belum memenuhi standar baku mutu.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan untuk melakukan variasi penambahan jumlah inokulum dan variasi waktu inkubasi mikroba dalam proses bioremediasi agar dapat diketahui efektivitas mikroba dalam menurunkan tingkat pencemaran oleh limbah cair minyak kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- 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. *Jurnal Kimia Sains dan Terapan*. 2(1): 14-22.
- Atima, W. 2015. BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*. 4(1): 83- 93.
- Azwir. 2006. *Analisa Pencemaran Air Sungai Tapung Kiri Oleh Limbah Industri Kelapa Sawit PT. Peputra Masterindo Di Kabupaten Kampar*. Tesis. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Bala, J.D., Lalung, J., and Ismail, N. 2015. Studies on the Reduction of Organic Load from Palm Oil Mill Effluent (POME) by Bacterial Strains. *Int J Recycl Org Waste Agricult*. 4: 1-10.
- Bestari, N.C. dan Suharjono. 2015. Uji Kualitatif dan Kuantitatif Isolat Bakteri Lipolitik dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Ikan Kecamatan Muncar, Banyuwangi. *Jurnal Biotropika*. 3(3): 151-155.
- Buthelezi, S. P., Olaniran, A. O., and Pillay, B. 2009. Turbidity and Microbial Load Removal From River Water Using Biofloculants From Indigenous Bacteria Isolated From Wastewater in South Africa. *African Journal of Biotechnology*. 8 (14): 3261-3266. ISSN 1684–5315.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Produksi Tanaman Perkebunan (Ribu Ton), 2019-2021. <http://bps.go.id>. Diakses pada tanggal 20 April 2021 pada pukul 10.00 WIB.
- Chairunnisa, Riyanto, dan Abdul, K. 2019. Isolasi dan Uji Bakteri Lipolitik dalam Mendegradasi Minyak Pada Limbah Cair Kelapa Sawit di Kebun Marihat, Pematang Siantar. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*. 1(2): 44-52.

- Chapman. D. 2000. *Water Quality Assesment- A Guide To Use Of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring-Second Edition*. Cambridge University Press. Inggris.
- Crognale, S., D'Annibale, A., Federici, F., Fenice, M., Quaratino, D., and Petruccioli, M. 2006. Olive Oil Mill Wastewater Valorisation by Fungi. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 81: 1547-1555.
- Dasgupta, M. and Yildiz, Y. 2016. Assessment of Biochemical Oxygen Demand as Indicator of Organic Load in Wastewaters of Morris County, New Jersey, USA. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*. 6(3): 1-3.
- Dewata, I. dan Danhas, Y.H. 2018. *Pencemaran Lingkungan*. PT.Raja Grafindo Persada. Depok.
- Ditjen PPHP. 2006. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Subdit Pengelolaan Lingkungan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Djaja, I. M. dan Maniksulistya, D. 2006. Gambaran Pengelolaan Limbah Cair di Rumah Sakit X Jakarta Februari 2006. *Jurnal Makara-Kesehatan*. 10(2): 60-63.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Elyza, F., Nuni. G., dan Munawar. 2015. Identifikasi dan Uji Potensi Bakteri Lipolitik dari Limbah SBE (*Spent Bleaching Earth*) Sebagai Agen Bioremediasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 13(1): 12-18. ISSN: 1829-8907.
- Fransiska, L. 2019. *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Lipolitik pada Proses Pengomposan Limbah Domestik*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Geerdink, R. B., Hurk, R. S. V. D., and Epema, O, J. 2017. Chemical Oxygen Demand: Historical Perspective and Future Challenges. *Analytica Chimica Acta*. 30: 1-11.

- Hana, S. A. 2010. *Penyelamatan Tanah, Air dan Lingkungan*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Hayati, M. 2016. Perbandingan Kadar Oksigen Terlarut Antara Air PDAM dengan Air Sumur. *The Journal of Muhammadiyah Medical Laboratory Technologist*. 2(2): 8-15.
- Indrayani, L. dan Rahmah, N. 2018. Nilai Parameter Kadar Pencemar sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Rekayasa Proses*. 12(1): 41-50.
- Irvan, Trisakti, B., Vincent, M., dan Tandean. Y. 2012. Pengolahan Lanjut Limbah Cair Kelapa Sawit Secara Aerobik Menggunakan *Effective Microorganism* Guna Mengurangi Nilai TSS. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 1(2): 27-30.
- Islam, M. A., Yousuf, A., Karim, A., Domenico, P., Khan, M. R., and Wahid, Z. A. 2017. Bioremediation of Palm Oil Mill Effluent and Lipid Production by *Lipomyces starkeyi*: A Combined Approach. *Journal of Cleaner Production*. 30: 1-9.
- 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*. 1-9.
- Jadhav, S. U., Jadhav, U. U., Dawkar, and Govindwar. 2008. Biodegradation of Disperse Dye Brown 3REL by Microbial Consortium of *Galactomyces geotrichum* MTCC 1360 and *Bacillus sp.* VUS. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 13: 232-239.
- Juliani, A. dan Rahman. F. 2011. Bioremediasi Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) dengan Penambahan Kompos sebagai *Bulking Agent* dan Sumber Nutrien Tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 3(1): 001-018. ISSN: 2085-1227.
- 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*. Article Biomass Conversion and Biorefinery. 1-12.

- Khongkhaem, P., Suttinun, O., Intasiri, A., Pinyakong, O., and Luepromchai, E. 2016. Degradation of Phenolic Compounds in Palm Oil Mill Effluent by Silica Immobilized Bacteria In Internal Loop Airlift Bioreactors. *Clean-soil. Air Water*. 44: 383-392.
- Louhasakul, Y., Cheirsilp, B., and Prasertsan, P. 2016. Valorization of Palm Oil Mill Effluent Into Lipid and Cell-Bound Lipase by Marine Yeast *Yarrowia lipolytica* and their application in biodiesel production. *Waste Biomass Valorization*. 7: 417-426.
- Lumaela, A.K., Otok, B.W., dan Sutikno. 2013. Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai Di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 2(1): 100-105.
- Lusia, M., Gofar, N., and Widjajanti, H. 2018. Bioremediation of Spent Bleaching Earth (SBE) Wastes Using Lipolytic Bacteria (*Bacillus cereus*) with Variation of Inoculum Volume. *Science & Technology Indonesia*. 3(1): 35-40.
- Metcalf, R. and Eddy, I. 2003. *Wastewater Enggineering : Treatment, Disposal, and Reuse*. McGraw-Hill Co. Newyork.
- Munir, E. 2006. *Pemanfaatan Mikroba dalam Bioremediasi: Suatu Teknologi Alternatif untuk Pelestarian Lingkungan*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Nugroho, A. 2006. *Bioindikator Kualitas Air*. Universitas Trisakti. Jakarta.
- Nuraini, E., Fauzia, 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.
- Nurhasanah dan Dian, H. 2008. *Pemurnian Enzim Lipase dari Bakteri Lokal dan Aplikasinya Dalam Reaksi Esterifikasi*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II. Universitas Lampung.
- Nwuche, C. O., Aoyagi, H., and Ogbonna, J. C. 2014. Treatment of Palm Oil Mill Effluent by a Microbial Consortium Developed From Compost Soils. *Int. Sch. Res. Notices*. 8: 1-8.

- Okwute, O. L. and Isu, N. 2007. Impact Analysis of Palm Oil Mill Effluent on the Aerobic Bacterial Density and Ammonium Oxidizers in a Dumpsite in Anyigba, Kogi State. *African Journal of Biotechnology*. 6(2): 116-119.
- Pera, L. M., Romero, C. M., Baigori, M. D., and Castro, G. R. 2006. Catalytic Properties of Lipase Extracts From *Aspergillus niger*. *Food Technology and Biotechnology*. 44(2): 247-252.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Sekretariat Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Purba, H.V. dan Sipayung, T. 2017. Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia Dalam Perspektif Pembangunan Berkelanjutan. *Masyarakat Indonesia*. 43(1): 81-94.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal Osean*. 30(3): 21-26.
- Shah, S. M. H., Yusof, K. W., Mustaffa, Z., and Mustafa, A. 2014. Concentration of Total Suspended Solids (TSS) Influenced by the Simulated Rainfall Event on Highway Embankment. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*. 6(6): 493-496.
- Sharma, R., Chisti, Y., and Banerje, U. C. 2001. Production, Purification, Characterization, and Applications of Lipases. *Biotechnology Advances*. 19: 627-662.
- Shigetomi, Y., Ishimura, Y., dan Yamamoto, Y. 2020. Trends in Global Dependency on The Indonesian Palm Oil and Resultant Environmental Impacts. *Scientific Reports*. 10(2): 1-11.
- 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.
- Standarisasi Nasional. 2019. *Air dan Air Limbah-Bagian 3 : Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri (SNI. 06-6989.3-2019)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- 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. 06-6989.72-2009)*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia. Jakarta.
- Supriyatno, B. 2000. Pengelolaan Air Limbah Yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi dan Langkah Penanganannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 1(1): 17-26
- Susilowati, A. 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, T. 2006. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Szymanski, N. and Patterson, R. A. 2003. *Effective Microorganism (EM) and Wastewater Systems*. Proceedings of On-site '03 Armidale. ISBN 0-9579438-1-4 pp. 347-355.
- Valerie, Wijaya, J. C., and Pinontoan, R. 2018. Kajian Pustaka: Pemanfaatan Mikroba yang Berpotensi sebagai Agen Bioremediasi Limbah Pewarna Tekstil. *FaST-Jurnal Sains dan Teknologi*. 2(1): 32-47.