

**UJI BIODEGRADASI MINYAK SOLAR OLEH ISOLAT BAKTERI
HIDROKARBONOKLASTIK DARI PANTAI SENDANGBIRU
KABUPATEN MALANG**

SKRIPSI

**Oleh:
IBROHIM
NIM.16620124**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**UJI BIODEGRADASI MINYAK SOLAR OLEH ISOLAT BAKTERI
HIDROKARBONOKLASTIK DARI PANTAI SENDANGBIRU
KABUPATEN MALANG**

SKRIPSI

**Oleh:
IBROHIM
NIM. 16620124**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana (S.Si)**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**UJI BIODEGRADASI MINYAK SOLAR OLEH ISOLAT BAKTERI
HIDROKARBONOKLASTIK DARI PANTAI SENDANGBIRU
KABUPATEN MALANG**

SKRIPSI

Oleh:

IBROHIM

NIM. 166200124

telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
tanggal November 2021

Dosen Pembimbing I



Bayu Agung Prahardika, M.Si
NIP. 199008072019031011

Dosen Pembimbing II



Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I
NIDT. 19890113201802011244

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Evika Sandi Savitri, M. P
NIP. 197410182003122002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengharap ridho Allah Subhanahu Wa Ta'Ala di bawah naungan rahmat dan hidayahNya, sebuah karya yang begitu sederhana ini kupersembahkan untuk orang-orang special, terkhusus bagi kedua orang tua penulis yaitu Bapak Su'udi dan Ibu Saniyah yang senantiasa memberikan dukungan dan doa yang tiada hentinya demi keberhasilan penulis. Teruntuk kakek Penulis juga H. Nursalim dan keluarga besar yang juga senantiasa memberikan motivasi terbaik dan selalu mendoakan penulis sehingga terselesaikannya skripsi ini. Terimakasih juga kepada teman-teman jurusan Biologi yang banyak memberikan pengalaman berharga bagi penulis, terkhusus untuk teman-teman kelas D yang telah bersama-sama dari awal pertemuan hingga di akhir pertemuan, dengan duka yang tak terlupakan. Terimakasih juga kepada Mutia yang telah membantu pengerjaan skripsi ini dari awal hingga akhir.

Tidak lupa ucapan terimakasih penulis kepada rekan-rekan Pondok Pesantren Al-Jans yang telah membimbing penulis hingga menjadi orang yang mengerti akan pentingnya untuk selalu bersyukur pada setiap keadaan, melatih fisik dan mental untuk lebih kuat dan tegar, memberikan arti pertemanan dan saling membantu dalam kesusahan. Terakhir untuk Almamater Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Malang yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk dapat menimba ilmu di Jurusan Biologi, yang telah memberikan banyak pelajaran baik dari segi materi, praktek dan paling penting memeberikan pelajaran dalam kehidupan yang akan datang.

MOTTO

**“If you look inside your heart, You don’t have to be afraid of what you are.
There’s an answer if you reach into your soul and the sorrow that you know
will melt away, and be strong.” (Hero – Mariah Carey)**

PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ibrohim
NIM : 166200124
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Uji Biodegradasi Minyak Solar
Oleh Isolat Bakteri
Hidrokarbonoklastik dari Pantai
Sendangbiru Kabupaten Malang

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa hasil penelitian ini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah dan disebutkan dalam sumber kutipan atau daftar pustaka. Apabila pernyataan hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk bertanggung jawab serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 23 Desember 2021
Yang membuat pernyataan,



Ibrohim
16620124

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar Pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang telah memberikan nikmat berupa rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam*, para sahabat, keluarga dan pengikut-Nya yang taat kepada ajaran agama-Nya, yang telah rela berkorban untuk mengeluarkan manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang diridhoi oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala yaitu ajaran agama islam.

Alhamdulillah berkat taufiq serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Uji Biodegradasi Minyak Solar Oleh Isolat Bakteri Hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang”**. Dalam proses penyelesaian skripsi ini penulis banyak mendapat bimbingan dan bantuan, serta saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis haturkan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P Selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Bayu Agung Prahardika, M.Si selaku dosen pembimbing penulis dan Dr. Nur Kusmiyati, M.Si selaku dosen wali biologi yang telah memberikan banyak waktu, bimbingan, serta arahan selama perkuliahan hingga dapat terselesaikannya skripsi ini dengan baik.
5. Bapak Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I selaku dosen pembimbing integrasi sains

dan islam yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing penulis tentang sains dan perspektif agama islam.

6. Dr. Dwi Suheriyanto, M.P dan Dr. Nur Kusmiyati, M.Si selaku dosen penguji yang memberikan masukan serta saran terkait pengerjaan skripsi penulis hingga terselesaikan dengan baik.
7. Seluruh Dosen, Laboran dan Staff Administrasi Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya kepada penulis selama studi.
8. Kedua orang tua penulis Bapak Su'udi dan Ibu Saniyah, serta keluarga yang selalu memberikan doa dan restu kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini
9. Segenap teman-teman Biologi angkatan 2016 yang telah memberikan pengalaman dan waktu yang sangat berharga bagi penulis untuk bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
10. Teman-teman Keluarga Besar Biologi D yang selalu memberi semangat antar sesama, bahu membahu ikut menemani dalam penelitian.
11. Teman-teman Pondok Pesantren Al-Jans yang selalu memberikan dukungan dan pengalaman yang sangat berharga kepada penulis, menemani penulis dalam pengambilan data skripsi, dan saling support satu sama lain dalam hal kebaikan.
12. Semua pihak yang terlibat dalam memberikan bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga bantuan yang tulus dari berbagai pihak, mendapatkan imbalan yang setimpal dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan baik dalam penulisan atau pokok bahasannya, untuk itu dengan hati yang terbuka penulis selalu menerima kritikan dan saran untuk kesempurnaan skripsi ini. Dengan mengucap *Alhamdulillahirabbil 'alamin*, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan juga bagi para pembaca

pada umumnya, untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan pendidikan di masa depan.

**UJI BIODEGRADASI MINYAK SOLAR OLEH ISOLAT BAKTERI
HIDROKARBONOKLASTIK DARI PANTAI SENDANGBIRU
KABUPATEN MALANG**

Ibrohim., Bayu Agung Prahardika, M.Si, Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I,

Program Study Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

Kabupaten Malang merupakan salah satu Kabupaten di Jawa Timur yang memiliki 14 pantai dengan panjang garis pantai berjumlah 77 km dan berada di perairan Samudra Hindia. Salah satu pantai di Kabupaten Malang yaitu pantai Sendangbiru. Pantai Sendangbiru yang merupakan pusat aktifitas perikanan menjadikan jumlah aktifitas transportasi perahu nelayan di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang meningkat setiap tahunnya. Semakin banyak jumlah kapal yang digunakan oleh nelayan akan meningkat pula kapasitas pengisian minyak pada perahu serta aktifitas buangan yang mengandung minyak, terutama solar. Senyawa penyusun bahan bakar solar dapat berdampak buruk bagi perairan, diantaranya dapat menimbulkan penyakit serius pada manusia, hewan laut, dan lingkungan. Cara-cara yang umumnya digunakan untuk meanggulangi pencemaran minyak solar memang tergolong lebih mudah dan cepat, akan tetapi membutuhkan biaya yang mahal dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan metode lain yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan yaitu menggunakan metode bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada pencemar tertentu sebagai upaya dalam menurunkan kadar pencemaran tersebut. Pada proses bioremediasi enzim-enzim yang diproduksi oleh suatu mikroorganisme memodifikasi pencemar beracun dengan mengubah struktur kimianya. Mikroorganisme yang dapat membantu dalam proses biodegradasi minyak solar salah satunya yaitu bakteri hidrokarbonoklastik. Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk membantu mendapatkan isolat bakteri hidrokarbonoklastik yang paling berpotensi dalam mendegradasi minyak solar pencemar di Pantai Sendangbiru secara ramah lingkungan. Metode yang dilakukan yaitu pengambilan sampel menggunakan metode purposive sampel, isolasi bakteri pendegradasi minyak solar yang berasal dari sampel air pantai Sendangbiru, kemudian dilakukan uji biodegradasi dan dilakukan penghitungan sisa kadar minyak menggunakan uji gravimetri. Langkah selanjutnya yaitu karakterisasi untuk mengetahui jenis bakteri. Hasil yang diperoleh yaitu ditemukan 5 isolat bakteri yang masing-masing memiliki kemampuan degradasi yang berbeda. Bakteri genus *Bacillus* memiliki kemampuan mendegradasi minyak solar sejumlah 74,71 %, genus *Micrococcus* 73,68%, genus *Enterobacter* 73,39%, genus *Klebsiella* 74,14% dan genus *Pseudomonas* 74,43%.

Kata kunci : Bakteri hidrokarbonoklastik, biodegradasi minyak solar, uji gravimetri, karakterisasi

BIODEGRADATION OF SOLAR OIL BY HYDROCARBONOCLASTIC BACTERIA ISOLATED FROM SENDANGBIRU BEACH MALANG

Ibrohim., Bayu Agung Prahardika, M.Si, Oky Bagas Prasetyo, M.Pd.I.

Biology Study Program, Fakultas of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim, Malang

ABSTRACT

Malang is a regency in East Java that has 14 beaches with a coastline length of 77 km and located in the Indian Ocean. One of the beaches in Malang Regency is Sendangbiru. As the center of fishing activities, it makes the number of fishing boat activities in there increasing every year. The higher the number of boats utilized by fishermen, the higher the capacity for filling oil on the boats and so the discharge activities that contains oil, particularly diesel. Chemical compounds of diesel fuel can have a negative impact on waters, including causing serious diseases to humans, marine animals, and environment. Some methods that are generally used to treat diesel oil pollution are indeed easier and faster, yet they are expensive and not environmentally friendly. Hence, it needs another method in more economical and eco-friendly, that is applying bioremediation. Bioremediation is a process of using selected microorganism that have been grown on certain pollutants as an effort to reduce the level of pollution. In this process, the enzymes produced by microorganism modify the toxic contaminant by changing its chemical structure to be a simpler form. A microorganism that can assist in the biodegradation process of diesel oil is hydrocarbonoclastic bacteria. This research aims to assist obtaining the most potential hydrocarbonoclastic bacteria isolated in degrading polluting diesel oil at Sendangbiru Beach in an environmental-friendly process. Several methods applied were purposive sampling methods, isolating diesel oil degraded bacteria from Sendangbiru water samples, then conducting biodegradation and calculating the remaining oil content using gravimetric analysis. The following step was characterization to determine the types of the bacteria. The result found 5 bacterial isolates, each of which had different degradation abilities. Bacteria of the genus *Bacillus* have the ability to degrade diesel oil for 74,71%, genus *Micrococcus* for 73,68%, genus *Enterobacter* for 73,39%, genus *Klebsiella* 74,14%, and genus *Pseudomonas* for 74,43%.

Keywords: *Hydrocarbonoclastic bacteria, biodegradation of diesel oil, gravimetric analysis, characterization*

التحلل البيولوجي لوقود الديزل عن طريق العزلة البكتيرية الهيدروكربونات البلاستيكية في

شاطئ سيندانج بيرو بمنطقة مالانج

إبراهيم، بايو أجونج براهاردريكا، الماجستير، أوكي باجاس براسيتيو، الماجستير.

مستخلص البحث

منطقة مالانج هي إحدى المناطق في جاوى الشرقية لديها 14 شاطئاً بطول الساحل 77 كيلو متراً وتقع في المحيط الهندي. من إحدى الشواطئ في منطقة مالانج هي شاطئ سيندانج بيرو. وهي مركز الأعمال السمكية حيث ترقى عملية المواصلات البحرية فيها سنوياً. كلما ازداد عدد القوارب التي يستخدمها الصيادون ازدادت قدرة القوارب على تعبئة الديزل وعملية التخلص من النفايات المحتوية على الزيت، خاصة ديزل. يمكن أن يكون للمركبات التي يتكون منها وقود الديزل تأثير سلبي على المياه، بما في ذلك التسبب في أمراض خطيرة للإنسان والحيوانات البحرية والبيئة. تعتبر الطرق المستخدمة بشكل عام للتعامل مع تلوث زيت الديزل أسهل وأسرع بالفعل، ولكنها تتطلب تكاليف باهظة وليست صديقة للبيئة. لذلك، هناك حاجة إلى طريقة أخرى أكثر اقتصاداً وصديقة للبيئة، وهي استخدام طريقة المعالجة الحيوية. المعالجة الحيوية هي عملية استخدام الكائنات الحية الدقيقة التي تم اختيارها لتنمو على ملوثات معينة كمحاولة لتقليل مستوى التلوث. في عملية المعالجة الحيوية، تقوم الإنزيمات التي تنتجها الكائنات الحية الدقيقة بتعديل الملوثات السامة عن طريق تغيير هيكلها الكيميائي، بحيث يصبح شكلاً أبسط. تعد بكتيريا الهيدروكربونات البلاستيكية إحدى الكائنات الدقيقة التي يمكن أن تساعد في عملية التحلل البيولوجي لوقود الديزل.. كان الهدف من هذا البحث هو المساعدة في الحصول على عزلات من بكتيريا الهيدروكربونات البلاستيكية ذات الإمكانيات الأكبر في تحطيم وقود الديزل الملوث في شاطئ سيندانج بيرو بطريقة صديقة للبيئة. الطريقة المستخدمة هي أخذ العينات باستخدام طريقة أخذ العينات الهادفة، وعزل البكتيريا المهينة لوقود الديزل من عينات المياه الساحلية في سيندانج بيرو، ثم إجراء اختبارات التحلل البيولوجي وحساب محتوى الزيت المتبقي باستخدام اختبارات قياس الجاذبية. الخطوة التالية هي التوصيف لتحديد نوع البكتيريا. تم العثور على 5 عزلات بكتيرية لكل منها قدرة تحلل مختلفة. البكتيريا من جنس *Bacillus* لها القدرة على تحلل وقود الديزل بقدر 74,71٪، والجنس *Micrococcus* 73,68٪، والجنس *Enterobacter* 73,39٪، والجنس *Klebsiella* 74,14٪، والجنس *Pseudomonas* 74,43٪.

الكلمات المفتاحية: البكتيرية الهيدروكربونات البلاستيكية، التحلل البيولوجي لوقود الديزل، اختبار الجاذبية، التوصيف

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
MOTTO	v
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN.....	vi
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
مستخلص البحث	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix

BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat	7
1.5 Batasan Masalah.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Kajian Keislaman Kerusakan Lingkungan dalam Al-Qur'an	9
2.2 Minyak Bumi	10
2.3 Minyak Solar.....	11
2.4 Dampak Pencemaran Laut Oleh Minyak Solar.....	12
2.5 Biodegradasi Minyak Solar.....	14
2.6 Bakteri Hidrokarbonoklastik.....	16

2.7 Penelitian Sebelumnya Terkait Bakteri Hidrokarbonoklastik Pendegradasi Minyak Solar	19
2.8 Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang	20
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Rancangan Penelitian	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Alat dan Bahan	24
3.4.1 Alat	24
3.4.2 Bahan	24
3.5 Prosedur Penelitian.....	24
3.5.1 Pengambilan Sampel.....	24
3.5.2 Pembuatan Media Pertumbuhan Isolat Bakteri.....	26
3.5.3 Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar	27
3.5.4 Karakterisasi Pengamatan Bakteri.....	28
3.5.4.1 Pengamatan Makroskopis.....	28
3.5.4.2 Pengamatan Mikroskopis	28
3.5.4.3 Pengamatan Biokimia.....	29
3.5.5 Uji Biodegradasi	31
3.5.5.1 Uji Pengukuran Sisa Berat Minyak	32
3.6 Analisis Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Isolasi Bakteri dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang.....	34
4.2 Identifikasi Bakteri Hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang	35
4.3 Hasil Pengamatan Visual Biodegradasi Minyak Solar oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik	47
4.4 Kurva Pertumbuhan Bakteri Hidrokarbonoklastik dalam Mendegradasi Minyak Solar.....	49
4.4 Hasil Kuantitatif Uji Biodegradasi Minyak Solar Oleh Isolat Bakteri	57
BAB V PENUTUP	59

5.1 Simpulan	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Standart Kekeruhan Mc Farland	31
Tabel 4.1	Hasil Identifikasi Makroskopis Bakteri Hidrokarbonoklastik Pendegradasi Minyak Solar dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang	35
Tabel 4.2	Hasil Identifikasi Mikroskopis Bakteri Hidrokarbonoklastik Pendegradasi Minyak Solar dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang	36
Tabel 4.3	Hasil Identifikasi Biokimia Bakteri Hidrokarbonoklastik Pendegradasi Minyak Solar dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang	37
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Biodegradasi Oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik Menggunakan gravimetric berdasarkan rumus	58

TABEL GAMBAR

Gambar 3.1	Lokasi Titik Pengambilan Sampel di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang	25
Gambar 3.2	Teknis Isolasi Bakteri dari Sampel air di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang.....	28
Gambar 4.1	Hasil Identifikasi Makroskopis, Mikroskopis dan Biokimia isolat BL4A2	38
Gambar 4.2	Hasil Identifikasi Makroskopis, Mikroskopis dan Biokimia isolat BL4A3	41
Gambar 4.3	Hasil Identifikasi Makroskopis, Mikroskopis dan Biokimia isolat BL4A4	43
Gambar 4.4	Hasil Identifikasi Makroskopis, Mikroskopis dan Biokimia isolat BL4B1	45
Gambar 4.5	Hasil Identifikasi Makroskopis, Mikroskopis dan Biokimia isolat BL4B2	47
Gambar 4.6	Hasil Pengamatan Visual Uji Biodegradasi	48
Gambar 4.7	Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri BL4A2 Berdasarkan nilai OD.....	51
Gambar 4.8	Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri BL4A3 Berdasarkan nilai OD	53
Gambar 4.9	Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri BL4A4 Berdasarkan nilai OD	54
Gambar 4.10	Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri BL4B1 Berdasarkan nilai OD	55
Gambar 4.11	Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri BL4B2 Berdasarkan nilai OD	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki jumlah luas perairan lebih banyak dibandingkan daratan. Jumlah luas perairan mencapai 3,25 juta km² yang terbentang dari Sabang sampai Merauke, sedangkan jumlah luas daratan mencapai 2,1 juta km² (Kementrian Kelautan dan Perikanan, 2020). Hal itu menjadikan Indonesia sebagai negara dengan keanekaragaman hayati tertinggi di Asia Tenggara. Secara geografis nelayan merupakan mata pencaharian yang tersebar luas di Indonesia. Menurut data statistik dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (2013) diketahui bahwa sekitar 1,4 juta kepala rumah tangga berprofesi sebagai nelayan. Provinsi Jawa Timur memiliki jumlah nelayan lebih dari 334.000 nelayan (Badan Pusat Statistik, 2013).

Kabupaten Malang merupakan salah satu Kabupaten di Jawa Timur yang memiliki 14 pantai dengan panjang garis pantai berjumlah 77 km dan berada di perairan Samudra Hindia. Terdapat 6 wilayah kecamatan sepanjang 102,62 km yang memiliki potensi perikanan laut, diantaranya kecamatan Donomulyo, Ampelgading, Gedangan, Tirtoyudo, Sumbermanjing Wetan dan Bantur. Potensi perikanan laut terbesar berada di kawasan pesisir Sendangbiru yang berada di Sumbermanjing wetan. Pesisir Pantai Sendangbiru telah memiliki Pusat Pendaratan Ikan Pondokdadap dan juga merupakan pusat aktifitas perikanan terbesar yang berada di Kabupaten Malang (DKP Kab Malang, 2012).

Pantai Sendangbiru yang merupakan pusat aktifitas perikanan menjadikan jumlah aktifitas transportasi perahu nelayan di Pantai Sendangbiru Kabupaten

Malang meningkat setiap tahunnya. Jumlah perahu yang bersandar meningkat dari 430 buah di tahun 2001 sampai sekitar 700 buah di tahun 2009 (Hermawan, 2002). Menurut Nurjannah (2018) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penambahan jumlah kapal yang terdapat pada pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dapat menimbulkan masalah cemaran minyak, hal itu dapat terjadi karena meningkatnya pula kapasitas pengisian minyak (*bunkering*) dan mengakibatkan volume buangan yang mengandung minyak meningkat. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah kapal yang digunakan oleh nelayan akan meningkat pula kapasitas pengisian minyak pada perahu serta aktifitas buangan yang mengandung minyak, terutama solar. Solar merupakan bahan bakar yang tersusun dari toluena, benzena, xylene, dan berbagai alkil pada hidrokarbon poliaromatik. Senyawa penyusun bahan bakar solar dapat berdampak buruk bagi perairan, diantaranya dapat menimbulkan penyakit serius pada manusia, hewan laut, dan lingkungan karena limbah minyak solar mengandung B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) (Nugroho, 2007). Selain itu kandungan senyawa pada minyak solar akan menimbulkan efek kronik pada mamalia seperti gangguan imunologis, reproduktif serta timbulnya efek fetotoksik dan genotoksik. Pencemaran minyak solar juga dapat menyebabkan berkurangnya habitat yang layak huni bagi populasi hewan dan tumbuhan laut (Ristiati, 2013).

Komponen pada limbah minyak solar dapat merusak lingkungan terutama pada perairan. Perusakan lingkungan yang dilakukan oleh aktifitas manusia telah dijelaskan dalam firman Allah subhanahu wata'ala yang tertuang dalam Q.S. Ar-Rum (30) ayat 41:

ضَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka

sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (kejalan yang benar).”(Q.S Ar-Rum /30:41).

Kata **الْفَسَادُ** dalam ayat tersebut memiliki arti “kerusakan”. Menurut tafsir al mishbah, al-fasad adalah keluarnya sesuatu dari keseimbangan, baik sedikit maupun banyak. Kata keseimbangan ini dapat digunakan untuk menunjuk pada keseimbangan lingkungan, yaitu suatu keadaan dimana interaksi antara organisme dan faktor lingkungan serta komponen yang ada di dalamnya dapat berjalan dengan proporsional (Shihab, 2002).

Surat Ar-Rum ayat 41 tersebut menyebutkan bahwa darat dan laut merupakan salah satu tempat terjadinya *kerusakan*, artinya bahwa darat dan laut mengalami ketidakseimbangan serta kurang bermanfaat. Perairan telah tercemar, kualitasnya menurun, serta terjadi perubahan tatanan dan fungsi ekologi. Dampaknya adalah dapat menyebabkan terganggunya kehidupan biota, sumberdaya, dan kenyamanan ekosistem perairan. Salah satu penyebab terjadinya kerusakan lingkungan terutama pada perairan yaitu limbah minyak solar.

Pengolahan cemaran minyak bumi umumnya menggunakan metode secara fisika yaitu dengan proses penyaringan, penyerapan dan pembakaran. Selain itu proses lain yang sering digunakan yaitu metode kimia dengan menggunakan pengemulsi. Cara-cara yang umumnya digunakan memang tergolong lebih mudah dan cepat, akan tetapi membutuhkan biaya yang mahal dan tidak ramah lingkungan. Cara tersebut dapat menimbulkan resiko pencemaran lain dan dapat mengakibatkan bertambahnya polusi udara akibat pembakaran. Oleh karena itu dibutuhkan metode lain yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan yaitu menggunakan metode bioremediasi (Zam, 2011).

Bioremediasi merupakan proses penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada pencemar tertentu sebagai upaya dalam menurunkan kadar pencemaran tersebut. Pada proses bioremediasi enzim-enzim yang diproduksi oleh suatu mikroorganisme memodifikasi pencemar beracun dengan mengubah struktur kimianya yang disebut biotransformasi. Setelah proses biotransformasi, bakteri akan melakukan proses biodegradasi dimana biodegradasi terjadi saat pencemar terdegradasi, struktur kimianya menjadi tidak kompleks dan akhirnya menjadi metabolit dengan struktur yang lebih sederhana dan tidak beracun (Priadie, 2012). Salah satu yang dapat dijadikan agen bioremediasi di perairan yaitu mikroorganisme.

Mikroorganisme yang dapat membantu dalam proses biodegradasi minyak solar salah satunya yaitu bakteri. Menurut Mangkoedihardjo (2005) bioremediasi lingkungan tercemar dapat dilakukan oleh bakteri hidrokarbonoklastik. Bakteri hidrokarbonoklastik merupakan kelompok bakteri yang dapat dengan mudah beradaptasi dengan lingkungan dengan cara menggunakan residu minyak bumi salah satunya yaitu minyak solar sebagai sumber karbon dan energi. Bakteri hidrokarbonoklastik dapat melakukan proses emulsifikasi, yaitu ketika bakteri menempel pada senyawa hidrokarbon dalam minyak solar, maka bakteri akan memproduksi biosurfaktan yang berfungsi untuk membuat minyak solar yang semula sulit larut menjadi larut. Biosurfaktan diekskresikan pada senyawa minyak solar untuk membantu melepaskan ikatan hidrokarbon pada minyak solar. Proses tersebut dapat menurunkan tegangan permukaan suatu cairan dan tegangan antar muka antara dua fase yang berbeda serta meningkatkan stabilitas emulsi. Setelah proses tersebut bakteri hidrokarbonoklastik akan melakukan proses biodegradasi

dengan memecahan senyawa organik menjadi bentuk biomassa dan senyawa yang lebih sederhana berupa air, karbondioksida, maupun metana yang aman bagi lingkungan (Gouma, 2014).

Metode yang dilakukan dengan memanfaatkan bakteri secara ramah lingkungan merupakan metode yang digunakan dalam upaya memperbaiki kerusakan di lingkungan periran. Sebagaimana firman Allah dalam Surah Az-Zumar (39) ayat 21:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعٌ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيَجُ فَتَرَاهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ

Artinya: *“Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudianditumbuhkan-Nya dengan air itu tanaman-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal.”*(Q.S Az-Zumar / 39:21).

Makna ayat di atas berdasarkan tafsir Jalalain (2010) bahwa Allah telah menurunkan air hujan untuk menumbuhkan suatu tanaman dengan bentuk yang beragam dan dijadikannya hancur berkeping-keping. Dalam kondisi tersebut terdapat suatu proses perpindahan dari satu kondisi ke kondisi lain. Sama halnya pada penguraian bahan pencemar oleh bakteri hirokarbonoklastik. Hal tersebut dapat terjadi bagi orang-orang yang mau berfikir.

Kemampuan bakteri dalam mendegradasi minyak solar telah dilakukan dalam beberapa penelitian diantaranya Nurjannah (2018) menjelaskan bahwa ditemukan 5 genus isolat bakteri yang dapat mendegradasi minyak solar pada 2 stasiun

pengambilan sampel yaitu genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter* dan *Citrobacter*. Penelitian tersebut menunjukkan bakteri *Pseudomonas* dapat mendegradasi minyak solar sebesar 91,94% dan bakteri *Bacillus* dapat mendegradasi minyak solar sebesar 88,61% dalam jangka waktu degradasi 7 hari. Penelitian lain yaitu Puspitasari (2020) menjelaskan bahwa ditemukan 2 bakteri unggul spesies *Alcanivorax nanhaiticus* dapat mendegradasi minyak solar sebesar 54% dan *Halomonas meridian* mendegradasi minyak solar sebesar 72% minyak solar dalam waktu 14 hari.

Berdasarkan beberapa potensi yang telah dimiliki oleh bakteri hidrokarbonoklastik dalam mendegradasi minyak solar tersebut, maka kemudian dalam penelitian ini dilakukan beberapa cara yang serupa untuk mengetahui keberadaan dan kemampuan bakteri hidrokarbonoklastik dalam mendegradasi minyak solar di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang. Penelitian ini perlu dilakukan untuk membantu mendapatkan isolat bakteri hidrokarbonoklastik yang paling berpotensi dalam mendegradasi minyak solar pencemar dari Pantai Sendangbiru secara ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

1. Apakah terdapat genus bakteri hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang yang berpotensi dalam mendegradasi minyak solar?
2. Bagaimana kemampuan masing-masing isolat bakteri hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang dalam mendegradasi minyak solar?

1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui adanya genus bakteri hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang yang berpotensi dalam mendegradasi minyak solar.
2. Mengetahui kemampuan masing-masing isolat bakteri hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang dalam mendegradasi minyak solar.

1.4 Manfaat

Manfaat dengan adanya penelitian ini yaitu:

1. Mengeksplorasi bakteri hidrokarbonoklastik yang berpotensi dalam mendegradasi minyak solar di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang.
2. Menjadi informasi untuk upaya pemulihan lingkungan Pantai Sendangbiru dari pencemaran minyak solar.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ditetapkan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Penelitian tentang uji biodegradasi minyak solar oleh isolat bakteri hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang dilakukan secara *ex situ* dengan skala laboratorium.
2. Sampel air yang digunakan berasal dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang, tepatnya di area berlabuhnya perahu nelayan di kedalaman 20cm di bawah permukaan air.
3. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *indigenous* (bakteri asli) hasil isolasi dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang.

4. Minyak solar yang digunakan sebagai bahan uji adalah minyak solar SPBU Pertamina daerah Kota Malang.
5. Uji biodegradasi dilakukan selama 7 hari, uji biodegradasi dilakukan secara visual dan kuantitatif dengan hasil gravimetri yang diperoleh.
6. Karakterisasi bakteri menggunakan karakter morfologi secara makroskopis, mikroskopis dan biokimia berdasarkan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition* (Buchanan, R.E dan N.E Gibbons, 1974).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Keislaman Kerusakan Lingkungan dalam Al-Qur'an

Alam merupakan hasil ciptaan Allah subhanahu wata'ala sebagai tempat manusia hidup. Allah subhanahu wata'ala telah menciptakan langit dan bumi serta lautan dan daratan. Laut dan ekosistem di dalamnya merupakan suatu karunia Allah subhanahu wata'ala yang begitu luas, yang telah diciptakan oleh-Nya untuk kebermanfaatan manusia (Ummah, 2020).

Dalam Q.S Al-Fatir (35) ayat 12 Allah subhanahu wata'ala berfirman:

وَمَا يَسْتَوِي الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ سَائِغٌ شَرَابُهُ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَمِنْ كُلِّ تَأْكُلُونَ لَحْمًا طَرِيًّا
وَتَسْتَخْرِجُونَ حُلِيَّةً تَلْبَسُونَهَا وَتَرَى الْفُلْكَ فِيهِ مَوَاجِرَ لَتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ وَلِعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ

Artinya : *Dan tidak sama (antara) dua lautan; yang ini tawar, segar, sedap diminum dan yang lain asin lagi pahit. Dan dari (masing-masing lautan) itu kamu dapat memakan daging yang segar dan kamu dapat mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai, dan di sana kamu melihat kapal-kapal berlayar membelah laut agar kamu dapat mencari karunia-Nya dan agar kamu bersyukur.*

Ketidakseimbangan pada lingkungan dapat mengakibatkan kerusakan atau bencana bagi makhluk hidup didalamnya (Suhendra, 2013). Kata bencana atau musibah telah Allah sebutkan didalam Al Qur'an Surah Al-Qashash (28) ayat 47

وَأُولَآءِ أَنْ تُصِيبَهُمْ مُصِيبَةٌ بِمَا قَدَّمَتْ أَيْدِيهِمْ فَيَقُولُوا رَبَّنَا لَوْلَا أَرْسَلْتَ إِلَيْنَا رَسُولًا فَنَتَّبِعَ
آيَاتِكَ وَنَكُونَ مِنَ الْمُؤْمِنِينَ

Artinya: *“Dan agar mereka tidak mengatakan ketika azab menimpa mereka disebabkan apa yang mereka kerjakan: “Ya Tuhan kami, mengapa Engkau tidak mengutus seorang rasul kepada kami, lalu kami mengikuti ayat-ayat Engkau dan jadilah kami termasuk orang-orang mukmin.” (Q.S Al-Qashah / 28:47).*

Bencana pada alam akibat lingkungan yang tidak seimbang dapat diakibatkan oleh ulah manusia. Salah satu penyebab bencana adalah pembuangan limbah minyak bumi sembarangan ataupun penanganan yang kurang benar. Padahal Allah telah berkali-kali mengancam manusia yang merusak alam (Suhendra, 2013), seperti dalam Q.S Al-Baqarah (2) ayat 60.

وَإِذْ أَسْتَسْقَىٰ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِ فَقُلْنَا اضْرِبْ بِعَصَاكَ الْحَجَرَ فَانْفَجَرَتْ مِنْهُ اثْنَتَا عَشْرَةَ عَيْنًا قَدْ عَلِمَ كُلُّ أُنَاسٍ مَّشْرَبَهُمْ كُلُوا وَاشْرَبُوا مِنْ رِزْقِ اللَّهِ وَلَا تَعْتُوا فِي الْأَرْضِ مُسِيِدِينَ

Artinya: “Dan (ingatlah) ketika Musa memohon air untuk kaumnya, lalu Kami berfirman: "Pukullah batu itu dengan tongkatmu". Lalu memancarlah daripadanya dua belas mata air. Sungguh tiap-tiap suku telah mengetahui tempat minumnya (masing-masing). Makan dan minumlah rezeki (yang diberikan) Allah, dan janganlah kamu berkeliaran di muka bumi dengan berbuat kerusakan.”(Q.S Al-Baqarah / 2:60).

2.2 Minyak Bumi

Minyak bumi adalah campuran dari senyawa organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme yang telah tertimbun selama berjuta-juta tahun lamanya. Minyak bumi tersusun atas senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon dengan jumlah hidrokarbon lebih besar yaitu 90% dibandingkan dengan jumlah non hidrokarbon (Kussuryani, 2003). Terdapat empat golongan dari senyawa hidrokarbon didalam minyak bumi, diantaranya paraffin, naftena, olefin dan aromatik. Minyak bumi tersusun atas golongan paraffin dengan jumlah yang paling banyak yaitu mencapai 30-60%. Selain itu minyak bumi juga mengandung senyawa lain yaitu belerang 0-6%, nitrogen 0-0,05 % dan oksigen 0-3,5% (Hadi, 2011).

Minyak bumi dan turunannya salah satu contoh dari hidrokarbon yang banyak digunakan dalam kehidupan. Hidrokarbon merupakan salah satu kontaminan

berbahaya yang dapat mencemari lingkungan ataupun berbahaya bagi makhluk hidup. Senyawa hidrokarbon tersusun dari karbon dan hidrogen. Limbah minyak dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Kimia Berbahaya dan Beracun) menurut UU No.23 tahun 1997 dan PP No. 18 tahun 1999 (Notodarmojo, 2005).

Limbah minyak bumi umumnya digunakan pada kegiatan usaha minyak dan gas bumi berupa proses pemurnian dan pengilangan minyak bumi yang menghasilkan produk gas atau LPG, avtur, gasoline, minyak solar, minyak tanah, minyak diesel, residu, pelarut, aspal, dan naptha. Proses pembuatan oli, minyak pelumas, pengolahan minyak bumi lain, dan *heat exchanger* (PP No 101 Tahun 2014).

2.3 Minyak Solar

Minyak solar merupakan produk dari proses destilasi minyak bumi yang digunakan khusus sebagai bahan bakar mesin *compression ignition*. *Compression ignition* yaitu mesin udara yang di kompresi sehingga dapat menimbulkan suatu tekanan dan panas yang tinggi dan dapat membakar solar yang telah disemprotkan pada injektor. Minyak solar berawal dari gas oil dengan kisaran titik didih diantara 250 °C hingga 350 °C yang biasa disebut dengan *midle destilat*. Komposisi dari minyak solar yaitu senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon pada minyak solar berupa naftenik, olepin, parafinik dan aromatik. Sedangkan untuk senyawa non-hidrokarbon berupa kandungan unsur non logam dan logam. Unsur non logam seperti nitrogen, sulfur dan oksigen, sedangkan unsur logam berupa nikel, besi dan vanadium (Pertamina, 2005).

Minyak solar memiliki syarat umum yang harus ada yaitu dapat menyala dan terbakar sesuai dengan kondisi luar. Karakteristik dari minyak solar dipengaruhi oleh beberapa sifat seperti *cetana number* (CN), nilai panas, *cetana index* (CI), titik analin, densitas dan kandungan sulfur (Pertamina, 2005).

Beberapa sifat yang dimiliki oleh minyak solar diantaranya (Pertamina, 2005):

1. Tidak memiliki warna atau memiliki warna kuning muda dan berbau.
2. Tidak mudah menguap pada suhu normal.
3. Memiliki suhu nyala (*flash point*) 350 °C.
4. Memiliki titik nyala atau suhu minimum terbakar apabila dekat api adalah 40 - 100 °C, artinya angka tersebut lebih aman dalam pemakaian dibandingkan bensin yaitu pada suhu 10 - 15 °C.
5. Minyak solar mempunyai berat jenis sekitar 0,82 – 0,86.
6. Energi panas yang dihasilkan yaitu 10.170 kcal/kg.

2.4 Dampak Pencemaran Laut oleh Minyak Solar

Pencemaran laut dapat ditandai dengan perubahan-perubahan pada lingkungan laut yang menimbulkan dampak buruk sehingga dapat menyebabkan rusaknya sumber daya laut yaitu sumber daya hayati (*marine living resources*), berdampak buruk terhadap kesehatan manusia, menyebabkan perubahan aktivitas pada laut, timbulnya penurunan hasil perikanan, penurunan kualitas air laut serta kualitas pemanfaatannya (Misran, 2002)

Beberapa sumber pencemaran laut diantaranya dapat disebabkan karena tumpahan minyak, sisa dari damparan amunisi perang, hasil buangan dari proses penggunaan kapal, hasil buangan dari industri di laut, terjadinya proses pengeboran

minyak di laut, hasil buangan sampah organik maupun anorganik yang dilakukan oleh transportasi darat dari aliran sungai, hasil emisi dari transportasi laut serta hasil buangan produk pestisida dari pertanian. Akan tetapi, faktor utama pencemaran pada laut yaitu bersumber dari tumpahan minyak yang terjadi di laut baik dari proses kapal, hasil pengeboran lepas di pantai ataupun akibat kecelakaan kapal (Sulistiyono, 2012).

Air laut yang telah dicemari oleh tumpahan minyak bumi akan menjadi sulit untuk dibersihkan sehingga mengakibatkan terhalangnya sinar matahari yang akan masuk dan dapat menjadikan kadar oksigen terlarutnya berkurang sehingga dapat berdampak pada kemusnahan total (*catastrophic*) makhluk hidup didalam air laut (Nugroho, 2007). Limbah minyak bumi juga mengandung senyawa berbahaya yang dapat menyebabkan air laut bersifat toksik dan beberapa senyawa seperti anthrasen, phenanthren, dan naphthalene bersifat karsinogenik sehingga menyebabkan keracunan pada makhluk hidup didalam air dan dalam jangka panjang dapat menyebabkan terjadinya akumulasi senyawa hidrokarbon dalam senyawa lemak dan protein, sehingga menyebabkan larutnya lapisan lemak dan protein yang menyusun membran sel makhluk hidup (Misran, 2002).

Beberapa komponen minyak hasil dari dampak pencemaran akan tenggelam dan terakumulasi didalam sedimen sebagai suatu deposit hitam pada pasir dan batuan di pantai. Sedangkan komponen minyak yang tidak dapat larut di dalam air akan mengapung di permukaan air laut dan dapat menyebabkan keruhnya air laut (Mukhtasor, 2006).

2.5 Biodegradasi Minyak Solar

Biodegradasi adalah suatu proses alami yang dilakukan oleh mikroorganisme untuk memecahan senyawa organik menjadi bentuk biomassa dan senyawa yang lebih sederhana berupa air, karbondioksida, maupun metana (Oetomo, 2015). Mikroorganisme menggunakan minyak bumi dalam proses metabolisme sebagai substrat untuk mendapatkan sumber karbon dan energi bagi perkembangbiakannya, mikroorganisme menggunakan minyak bumi untuk di transformasikan sehingga dapat didegradasi. Biodegradasi pada senyawa organik yang dilakukan oleh mikroorganisme akan terjadi apabila senyawa tersebut strukturnya di transformasi sehingga akan terjadi perubahan molekuler. Proses yang dilakukan oleh mikroorganisme membutuhkan reaksi kimia enzimatik atau biokimia, sehingga memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai dengan perkembangbiakan mikroorganisme (Nugroho, 2007).

Bioremediasi merupakan metode yang digunakan untuk merubah lingkungan yang toksik menjadi tidak berbahaya menggunakan mikroorganisme khususnya mikroba. Umumnya pengaplikasian bioremediasi menggunakan bakteri atau fungi yang berasal dari daerah tercemar tersebut (*indigenous*). Penggunaan mikroorganisme juga dapat diisolasi dari daerah tercemar lain dan diaplikasikan pada daerah tujuan (Vidali, 2011). Bioremediasi adalah optimasi dari proses biodegradasi yaitu dimulai dengan pengondisian daerah tertentu sehingga dapat mengatasi faktor-faktor yang dapat menjadi penghalang laju biodegradasi terhadap komponen minyak bumi (Nugroho, 2007).

Menurut Nugroho (2007) mikroorganisme akan mendegradasi minyak bumi dengan cara merubah komposisi minyak bumi menjadi lebih ringan sehingga

densitas dan viskositas minyak bumi menjadi semakin kecil. Mikroorganisme akan memanfaatkan senyawa hidrokarbon dalam minyak bumi sebagai sumber karbon dalam pertumbuhannya. Beberapa parameter lingkungan yang sesuai seperti pH, suhu maupun ketersediaan nutrisi. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

1. pH

Salah satu yang dapat mempengaruhi kemampuan bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon yaitu pH, karena pH merupakan faktor yang dapat menentukan aktivitas enzim secara optimal. Secara umum bakteri memiliki pH rata-rata 7 (Lay, 1992).

2. Temperatur

Faktor yang dapat mempengaruhi biodegradasi hidrokarbon yaitu temperatur, karena temperatur dapat mempengaruhi metabolisme dan laju pertumbuhan bakteri. Peningkatan suhu berpengaruh terhadap aktivitas enzim, ketika temperatur tidak optimal maka bakteri akan tumbuh lambat atau tidak ada pertumbuhan (Lay, 1992).

3. Oksigen

Oksigen dibutuhkan oleh mikroorganisme berupa oksigen bebas yang didapat dari udara ataupun oksigen yang berasal dari larutan dalam air. Oksigen dapat digunakan untuk proses reaksi oksidasi dan pada proses respirasi mikroorganisme. Mikroorganisme pendegradasi minyak bumi sebagian besar merupakan mikroorganisme aerob. Oksigen adalah komponen yang penting untuk pertumbuhan bakteri dilingkungan hidrokarbon. Bakteri akan terhambat ketika oksigen yang didapat terbatas (Alpentri, 1999).

4. Nutrisi

Unsur karbon yang terkandung dalam minyak bumi digunakan oleh mikroorganisme sebagai pertumbuhannya. Karbon adalah elemen yang paling utama yang sangat dibutuhkan dalam jumlah besar, biasanya terikat dengan elemen hidrogen, oksigen dan nitrogen. Elemen ini menyusun hampir 95% berat pada makhluk hidup. Selain itu beberapa mineral lain yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit seperti mangan, kalsium, tembaga, kobalt, dan seng yang biasanya telah terdapat di lingkungan perairan (Nugroho, 2007).

2.6 Bakteri Hidrokarbonoklastik

Mikroorganisme yang bisa hidup dan memiliki peran dalam mengurai hidrokarbon adalah bakteri, sedangkan kehadiran mikroorganisme lain yang cukup berperan yaitu fungi, kapang, alga, dan aktinomicetes (Nugroho, 2007). Bakteri hidrokarbonoklastik yaitu bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon. Secara alami bakteri hidrokarbonoklastik memiliki kemampuan untuk mengikat, mengemulsi, mentranspor, dan mendegradasi hidrokarbon (Zam, 2010). Bioremediasi pada lingkungan tercemar minyak bumi membutuhkan mikroba hidrokarbonoklastik. Bakteri hidrokarbonoklastik memiliki kelebihan dibandingkan dengan bakteri lain yaitu kemampuannya dalam mengekspresikan enzim ω -hidroksilase, yaitu enzim pengoksidasi hidrokarbon yang dapat memutus rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek. Selain itu bakteri hidrokarbonoklastik juga memiliki kemampuan untuk menempel pada hidrokarbon kemudian menghasilkan emulsifier dan memiliki kemampuan untuk membebaskan

diri (desorption) dari hidrokarbon. Bakteri hidrokarbonoklastik dapat ditemukan pada ekosistem yang tercemar oleh minyak bumi (Nugroho, 2007).

Biosurfaktan merupakan hasil dari ekskresi mikroba yang memiliki karakteristik sama dengan surfaktan. Biosurfaktan adalah hasil dari permukaan sel mikroba yang diekskresikan pada lingkungan untuk membantu pelepasan senyawa hidrokarbon dalam senyawa organik dan dapat meningkatkan konsentrasi hidrokarbon didalam air melalui emulsifikasi. Mikroba penghasil biosurfaktan mampu menggunakan hidrokarbon sebagai substrat dengan cara menguraikan senyawa hidrokarbon untuk mengurangi pencemaran minyak di perairan (Nababan, 2008).

Bakteri hidrokarbonoklastik merupakan kelompok bakteri yang dapat dengan mudah beradaptasi dengan lingkungan dengan cara menggunakan residu minyak bumi salah satunya yaitu minyak solar sebagai sumber karbon dan energi. Bakteri hidrokarbonoklastik dapat memproduksi senyawa biosurfaktan sehingga minyak bumi yang semula sulit larut menjadi larut dan menyatu dengan air (emulsifikasi). Proses tersebut terjadi karena biosurfaktan yang dikeluarkan oleh bakteri dapat menurunkan tegangan permukaan suatu cairan dan tegangan antar muka antara dua fase yang berbeda serta meningkatkan stabilitas emulsi. Setelah proses tersebut bakteri hidrokarbonoklastik akan melakukan proses biodegradasi dengan cara melepaskan enzim lipase yang memiliki kemampuan menghidrolisis lemak menjadi senyawa sederhana dan digunakan sebagai sumber karbon oleh bakteri hidrokarbonoklastik. Hasil akhir dari proses metabolisme bakteri berupa H_2O dan CO_2 yang aman bagi lingkungan (Gouma, 2014).

Mikroba hidrokarbonoklastik berjumlah lebih dari 10 % pada lingkungan tercemar minyak bumi penelitian.

Bakteri memiliki beberapa fase pertumbuhan yaitu:

1. Fase Adaptasi (*Lag Phase*)

Fase adaptasi tidak terdapat pertumbuhan bakteri. Proses ini mencakup proses sintesis enzim yang sesuai dengan media dan proses pemulihan pada metabolit yang bersifat racun (alkohol, asam, basa) pada saat media lama. Fase adaptasi tidak terdapat pertumbuhan jumlah sel kecuali jika sel pada media lama pada fase perbanyakan dan dipindahkan ke media baru dengan nutrisi yang sama (Purwoko, 2007).

2. Fase perbanyakan (*Log Eksponential*)

Pada fase ini terdapat pembiakan bakteri yang terjadi dengan cepat. Bakteri berada pada kondisi yang sesuai sehingga bakteri dapat bertumbuh dan terjadi pembelahan sel. Pada fase perbanyakan sel akan melakukan konsumsi nutrient sehingga jumlah sel akan meningkat, dalam keadaan tertentu akan konstan hingga terjadi perubahan komposisi media yang cukup signifikan (Purwoko, 2007).

3. Fase statis (Konstan)

Fase statis ditandai dengan mulai berkurangnya sumber nutrisi akibat penumpukan produk toksik. Terdapat beberapa sel yang tumbuh dan melakukan pembelahan dengan jumlah sel hidup menjadi tetap dan terdapat pula sel yang mati (Rohmah, 2017). Fase ini dapat dikatakan memiliki garis hampir horizontal dikarenakan jumlah bakteri yang hidup sama dengan jumlah bakteri yang mati (Purwoko, 2007).

4. Fase Kematian

Pada fase ini jumlah sel-sel mati lebih cepat dari pada terbentuk sel baru. Kematian pada bakteri menjadi cepat tergantung dari spesies bakteri tersebut (Rohmah, 2017). Bakteri mampu bertahan dalam beberapa jam di fase statis sebelum akhirnya masuk ke dalam fase kematian. Terdapat bakteri yang mampu bertahan hanya sampai harian atau mingguan sebelum masuk pada fase kematian (Purwoko, 2007).

2.7 Penelitian Sebelumnya Terkait Bakteri Hidrokarbonoklastik Pendegradasi Minyak Solar

Penelitian sebelumnya terkait potensi bakteri hidrokarbonoklastik sebagai agen pendegradasi minyak solar merupakan landasan bagi penelitian yang akan dilakukan. Skripsi Nurjannah (2018) yang berjudul “Uji Potensi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya” diperoleh 7 isolat bakteri pada 2 lokasi pengambilan sampel yaitu 5 isolat diperoleh dari lokasi 1 Dermaga Jamrud Utara sedangkan 2 isolat diperoleh dari lokasi 2 Terminal Gapura Surya. Bakteri yang diperoleh dari lokasi 1 yaitu dari Genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter*, sedangkan dari lokasi 2 Genus *Bacillus* dan *Klebsiella*. Hasil yang diperoleh yaitu bakteri dari kedua lokasi yang dapat mendegradasi minyak solar tertinggi adalah Genus *Pseudomonas* sebesar 91,94 %.

Penelitian lain yaitu Hasyimuddin, dkk. (2016) yang berjudul “Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar dari Perairan Teluk Pare-Pare”. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lokasi berbeda yakni Pelabuhan Nusantara Pare-Pare, Pelabuhan Depot Pertamina Pare - Pare dan Pelabuhan nelayan, diperoleh 3 bakteri

pendegradasi minyak solar yang berbeda berdasarkan pengamatan morfologi meliputi warna koloni, bentuk koloni, tepi koloni, elevasi koloni, pewarnaan gram dan uji biokimia yaitu jenis bakteri *Bacillus* sp., *Pseudomonas aeruginosa* dan isolat *Alkaligenes*. Hasil penelitian ini diperoleh dengan mengamati pertumbuhan bakteri pada masing-masing konsentrasi minyak solar yang digunakan yaitu konsentrasi minyak 1 %, 2 %, dan 3 %. Dari ketiga jenis bakteri *Pseudomonas aeruginosa* merupakan bakteri yang memiliki angka pertumbuhan tertinggi di ketiga konsentrasi minyak solar. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan bakteri mendegradasi minyak solar disebabkan karena bakteri menghasilkan enzim yang mampu memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana yang selanjutnya akan digunakan sebagai sumber karbon dalam pertumbuhannya.

2.8 Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang

Pantai Sendangbiru berada di Desa Tambakrejo, Kecamatan Sumbermanjing wetan, Kabupaten Malang. Pantai Sendangbiru berada di titik koordinat $8^{\circ}26'$ - $8^{\circ}30'$ lintang selatan dan $112^{\circ}38'$ - $112^{\circ}43'$ bujur timur (Arifin, 2006). Pantai Sendangbiru merupakan tempat yang digunakan untuk melakukan aktifitas pelelangan ikan di Malang. Potensi hasil laut yang dapat dimanfaatkan diantaranya beberapa jenis ikan yang dapat dikonsumsi, rumput laut, terumbu karang dan jenis ikan hias. Selain itu pantai ini juga digunakan sebagai tempat pendaratan kapal-kapal yang digunakan sebagai penyebrangan menuju pulau sempu bagi para wisatawan (Ul haq, 2006)

Menurut Lawrence (1998) Pantai Sendangbiru merupakan pesisir dimana wilayah peralihan antara daratan dengan lautan yang mencakup pantai daerah pasang surut dan memiliki daratan yang habitat dan jenis binatang nya beradaptasi secara khusus terhadap lingkungan yang berbeda. Kristyarini (2010) menjabarkan bahwa kondisi di wilayah pesisir memiliki kepekaan terhadap gangguan lingkungan akibat adanya aktivitas di pantai. Pantai Sendangbiru yang digunakan sebagai tempat berlabuhnya kapal dan tempat pelelangan ikan menjadikan pantai Sendangbiru rentan terhadap pencemaran lingkungan. Diantara pencemaran lingkungan tersebut yaitu limbah yang dihasilkan dari aktifitas pembuangan bahan bakar kapal, limbah yang berasal dari wisatawan maupun limbah dari aktifitas pelelangan ikan. Limbah yang dihasilkan berupa limbah cair maupun padat.

Pantai Sendangbiru merupakan wilayah koridor cagar alam Pulau Sempu. Oleh karena itu, beberapa aktifitas yang terdapat di pantai Sendangbiru juga berpengaruh terhadap kelestarian Pulau Sempu (Handartoputra, 2015). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menjaga kelestarian Pantai Sendangbiru yaitu menggunakan mikroorganisme sebagai agen bioremediasi perairan yang telah tercemar.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksploratif dari hasil isolasi bakteri di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang yang diidentifikasi secara makroskopis, mikroskopis dan biokimia. Selain itu merupakan jenis penelitian deskriptif kualitatif berupa hasil visualisasi uji biodegradasi dan kuantitatif berupa hasil pengukuran sisa kadar minyak solar menggunakan metode gravimetri.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April hingga Agustus 2021. Pengambilan sampel dilakukan di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang, tepatnya di lokasi berlabuhnya kapal-kapal nelayan. Proses uji biodegradasi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi dan Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis variabel diantaranya variabel bebas berupa jenis isolat bakteri hidrokarbonoklastik. Variabel terikat berupa hasil perhitungan kadar minyak menggunakan uji gravimetri. Variable kontrol berupa waktu yang digunakan bakteri dalam mendegradasi serta banyaknya jumlah bakteri pendegradasi minyak solar didalam sampel.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: kamera, botol sampel, DO meter, timbangan analitik, gelas ukur, cawan petri, gelas beaker, erlenmeyer, *hotplate*, spatula, *coolbox*, pipet, autoklaf, *Laminar Air Flow* (LAF), bunsen, jarum ose, tabung reaksi, rak tabung, *incubator shaker*, pH meter, spektrofotometer, kaca preparat, mikroskop, kulkas, aluminium foil, plastik wrap, kertas saring, alat uji gravimetri berupa corong pisah, kertas saring.

3.4.2 Bahan

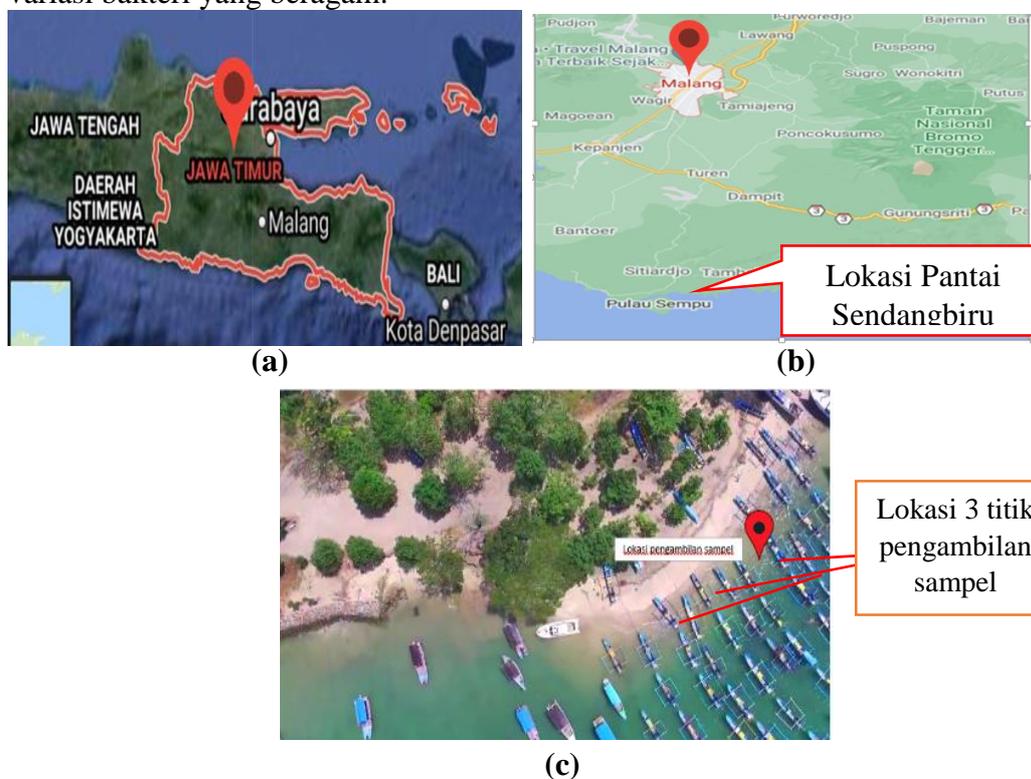
Bahan yang digunakan meliputi: sampel air laut yang tercemar minyak solar di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang, minyak solar dari SPBU Pertamina kota Malang, akuades, alkohol 70%, media pertumbuhan isolat yang digunakan adalah *Stone Mineral Salt Solution Extract Yeast* (SMSSe) yang terdiri dari CaCO_3 , NH_4NO_3 , $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, bahan tersebut untuk media cair SMSSe, sedangkan pada media padat SMSSe ditambahkan dengan *bacto* agar sebagai bahan pematat media. Pada uji identifikasi bakteri dibutuhkan media *Simon Citrate Agar* (SCA), media *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), media Nutrien Gelatin, kristal violet, iodium dan minyak imersi.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel

Sampel air diambil di Pantai Sendangbiru, Kabupaten Malang menggunakan metode *purposive sample* yaitu dengan cara diambil pada lokasi berlabuhnya kapal nelayan di bagian tepi pantai (Gambar 3.1). Lokasi tersebut terdapat aktifitas pembuangan sisa yang mengandung minyak dari bahan bakar perahu yang

digunakan. Sebelumnya kondisi fisika air dicatat pada lingkungan atau tempat pengambilan sampel meliputi suhu, pH dan kelembapan. Pengambilan sampel dilakukan di tiga titik yang berbeda, pengambilan titik pertama dilakukan di tepi pantai tepatnya area padat perahu nelayan, setelah menentukan titik pertama maka titik kedua diambil sejauh 3 meter dari titik pertama, selanjutnya titik ketiga juga diambil sejauh 3 meter dari titik kedua. Kemudian dijadikan satu dalam wadah botol plastik. Tujuan pengambilan sampel air dalam 3 titik berbeda agar ditemukan variasi bakteri yang beragam.



Gambar 3.1 (a) Visual peta Jawa Timur; (b) Visual peta wilayah Malang; (c) Lokasi titik pengambilan sampel di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang

Sampel air laut diambil dengan cara botol plastik dipegang pada bagian bawah, dengan kondisi botol yang telah disterilkan sebelumnya. Kemudian dicelupkan botol tersebut sedalam 20 cm di bawah permukaan air laut dengan posisi botol terbalik berlawanan dengan arah aliran air. Sampel air laut yang telah diambil

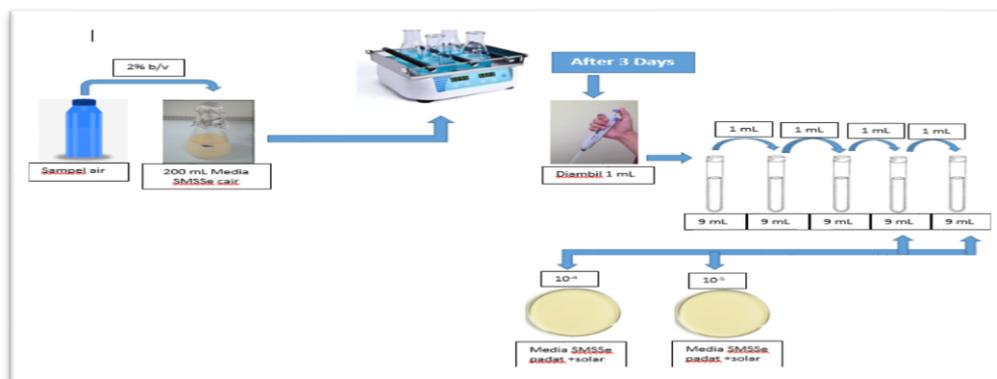
menggunakan botol steril selanjutnya diberi label dan disimpan dalam kondisi dingin yang berada dalam *cool box* agar tidak terjadi degradasi jumlah bakteri dan kematian bakteri pada sampel air laut. Sampel air laut diperlakukan dengan tenggang waktu tidak lebih dari 24 jam untuk dilakukan isolasi.

3.5.2 Pembuatan Media Pertumbuhan Isolat Bakteri

Media yang digunakan dalam isolasi dan uji degradasi minyak solar yaitu menggunakan media *Stone Mineral Salt Solution* (SMSS) yang merupakan media spesifik untuk pertumbuhan dan uji bakteri. Komposisi pembuatan media SMSS cair pada pertumbuhan bakteri terdiri dari 0,5 gram CaCO_3 , 0,25 gram NH_4NO_3 , 0,1 gram $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,05 gram KH_2PO_4 , 0,05 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,02 gram $\text{MnCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dengan ditambahkan ekstrak ragi 0,01% (b/v) atau setara dengan 0,02 gram yang dilarutkan kedalam 200 ml aquades steril. Sedangkan untuk media padat SMSSe padat ditambahkan 2% bacto sebagai bahan pematat pada media (Sharpley, 1966 dalam Andina, 2014). Pada proses isolasi media SMSSe ditambahkan dengan solar agar bakteri yang dapat tumbuh merupakan bakteri hidrokarbonoklastik. Bakteri hidrokarbonoklastik merupakan bakteri yang memiliki kemampuan untuk mengekspresikan enzim ω -hidroksilase sebagai pengoksidasi hidrokarbon yang tidak dimiliki jenis mikroba lain, sehingga bakteri yang mampu tumbuh dalam lingkungan yang mengandung solar merupakan bakteri hidrokarbonoklastik yang akan memanfaatkan minyak solar sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya (Nugroho, 2007). Pada media SMSS ditambahkan ekstrak ragi bertujuan sebagai sumber nitrogen dalam bentuk asam amino dan *growth factor* untuk tambahan pada media (Nababan, 2008).

3.5.3 Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar

Pada tahap isolasi sampel air laut sebesar 2 % (b/v) dimasukkan kedalam media SMSSe cair dan diinkubasi dengan suhu ruang dengan menggunakan inkubator shaker selama 3 hari (Nababan, 2008). Kemudian sampel yang telah homogen diambil sebanyak 1 ml untuk pengenceran dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah ditambahkan 9 ml aquades steril, lalu diaduk sebentar menggunakan vortex agar homogen. Selanjutnya, sebanyak 1 ml untuk pengenceran kedua diambil dari tabung reaksi pertama dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi kedua yang telah ditambahkan 9 ml aquades steril, lalu diaduk sebentar menggunakan vortex agar homogeny dan begitu seterusnya hingga pengenceran kelima (10^{-5}). Masing-masing dari pengenceran 10^{-4} dan 10^{-5} diambil sebanyak 0,1 ml , ditumbuhkan masing-masing di atas cawan petri berisi media SMSSe padat yang telah ditambahkan 2 % minyak solar sebagai seleksi dengan menggunakan metode *spread plate* dan diratakan dengan menggunakan L glass. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 35 °C selama 24 jam (Andina, 2014). Bakteri yang tumbuh dimurnikan berdasarkan karakteristik morfologi yang sama dengan menggunakan metode *streak plate* pada media SMSSe padat dan diinkubasi selama 24 jam agar didapatkan hasil koloni tunggal (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Teknis isolasi bakteri dari sample air di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang

3.5.4 Karakterisasi Pengamatan Bakteri

3.5.4.1 Pengamatan Makroskopis

Pengamatan bakteri dapat dilakukan menggunakan pengamatan makroskopis. Pengamatan makroskopis dilakukan dengan cara diamati karakteristik koloni bakteri. Karakteristik yang dapat diamati diantaranya warna pada koloni, bentuk pada koloni yang dapat diamati dari sisi atas cawan petri, tepian pada koloni bakteri yang dapat diamati dari sisi atas cawan petri, maupun permukaan koloni bakteri atau elevasi yang dapat diamati dari sisi samping cawan petri (Dwijoseputro, 1989).

3.5.4.2 Pengamatan Mikroskopis

Pengamatan bakteri selanjutnya dapat dilakukan dengan cara mikroskopis. Pengamatan secara mikroskopis dilakukan untuk mengetahui sifat gram pada bakteri dan bentuk sel. Langkah yang dapat dilakukan yaitu biakan murni pada media SMSSe padat diambil menggunakan jarum ose dan diletakkan diatas objek glass yang sebelumnya telah diberi akuades dan diratakan. Kemudian ditunggu hingga mengering. Setelah kering, objek glass yang terdapat biakan bakteri difiksasi sebanyak 3 kali dengan cara melewati api. Setelah itu ditetesi dengan

kristal violet pada objek glass yang terdapat biakan bakteri dan diratakan. Selanjutnya didiamkan selama 1 menit. Pewarnaan kedua menggunakan larutan iodium lugol yang di teteskan dan didiamkan selama 1-2 menit. Langkah selanjutnya objek glass dicuci pada air mengalir dan dilakukan decolorisasi menggunakan alkohol sampai warna ungu nya hilang atau kurang lebih 20 detik. Tahap terakhir yaitu dioleskan larutan safranin dan diratakan. Biarkan hingga 1-2 menit, kemudian dibilas dengan air mengalir dan ditunggu hingga kering. Pengamatan dapat dilakukan di mikroskop. Untuk menghindari indeks bias pada saat pengamatan, dapat ditambahkan minyak imersi diatas objek glass (Pelczar, 2008).

Pengamatan pewarnaan gram terdiri dari 2 yaitu jenis yaitu pewarnaan bakteri gram positif dan pewarnaan bakteri gram negatif. Sedangkan pengamatan bentuk sel terdiri dari bentuk batang (*basil*), bulat (*coccus*) dan bentuk spiral (*spirilla*) yang dapat dilihat pada mikroskop (Pelczar, 2008).

3.5.4.3 Pengamatan Biokimia

Pengamatan bakteri lainnya dapat dilakukan dengan uji biokimia. Uji biokimia merupakan cara yang dilakukan untuk mengidentifikasi suatu bakteri maupun mendeterminasi pada biakan murni bakteri. Uji biokimia terkait dengan proses metabolisme sel. Metabolisme yang dilakukan suatu sel pada uji biokimia dapat terlihat dari interaksi metabolit yang dapat dihasilkan oleh reagen-reagen kimia (MacFaddin, 1980). Uji biokimia yang akan dilakukan berupa uji TSIA, uji SCA dan uji nutrien gelatin.

Langkah yang dilakukan untuk uji TSIA atau *Triple Sugar Iron Agar* yaitu biakan bakteri murni diambil menggunakan jarum ose. Kemudian diinokulasikan

ke dalam agar TSIA yang telah dibuat, dengan cara jarum ose yang terdapat biakan murni ditusukkan tegak lurus pada media agar miring TSIA dan digores. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam dan diamati perubahan pada warna orange menjadi hitam bagian miring dan warna pada dasar agar. Uji TSIA dilakukan bertujuan untuk pengamatan kemampuan bakteri dalam memfermentasi glukosa, laktosa dan sukrosa. Perubahan warna dapat terjadi akibat terbentuknya H₂S pada agar (Alexander, 2004).

Langkah yang dilakukan untuk uji SCA atau *Simon Citrate Agar* yaitu biakan murni diambil menggunakan jarum ose. Kemudian diinokulasikan kedalam agar SCA yang telah dibuat, dengan cara jarum ose yang terdapat biakan murni ditusukkan pada agar secara tegak lurus dan di gores. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam dan diamati perubahan pada warna hijau menjadi biru pada bagian tusukan dan bagian miring agar. Uji SCA dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam menggunakan natrium sitrat sebagai sumber metabolisme dan pertumbuhan. Perubahan warna akibat suasana asam yang ditandai dengan warna hijau yang telah diubah menjadi basa yang ditandai berwarna biru merupakan tanda bahwa bakteri telah menggunakan sitrat sebagai sumber karbonnya (Alexander, 2004).

Langkah yang dilakukan untuk uji nutrien gelatin yaitu biakan murni diambil menggunakan jarum ose. Kemudian diinokulasikan kedalam nutrien gelatin yang telah dibuat, dengan cara jarum ose yang terdapat biakan murni ditusukkan pada agar secara tegak lurus dan di gores. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Setelah 24 jam diletakkan dalam kulkas dengan suhu 4 °C selama 30 menit dan diamati cair atau tidaknya nutrien gelatin. Uji nutrien gelatin bertujuan untuk

mengetahui penggunaan nutrisi gelatin oleh bakteri untuk mensekresi enzim proteolitik. Hasil hidrolisis berupa asam amino kemudian digunakan oleh bakteri sebagai sumber nutrisi. Gelatin yang telah terhidrolisis tidak mampu lagi membentuk gel (Cappucino and Sherman, 1983).

3.5.5 Uji biodegradasi

Isolat bakteri yang telah dimurnikan terlebih dahulu dibuat dalam bentuk suspensi 10^8 sel/ml sebelum digunakan dalam uji biodegradasi agar didapatkan jumlah bakteri yang sama dalam pengujian, dengan cara jarum ose steril digunakan untuk mengambil sekitar 1-2 ose biakan bakteri murni, selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung reaksi steril yang telah berisi larutan NaCl 0,85 % sebanyak 0,9 mL. Biakan dan larutan tersebut dihomogenkan dengan menggunakan vortex. Selanjutnya kekeruhan campuran tersebut dibandingkan dengan kekeruhan *Mac Farland* 0,5 standard yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. Bertujuan untuk menunjukkan konsentrasi bakteri permili liter hingga didapatkan isolat bakteri 10^8 sel/ml untuk pengujian (Nababan, 2008).

Tabel 3.1. Standart kekeruhan *Mc Farland* (Ernawati dan Verawati, 2011).

Scale	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
CFU($\times 10^6$ /mL)	<300	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
A	0,191	0,698	0,812	0,959	1,326	1,626	1,83	2,025	2,143

Kemudian setiap suspensi yang digunakan untuk pengujian diambil sebanyak 1 ml dan ditambahkan ke dalam media SMSSe cair (150 ml) dan ditambahkan minyak solar sebesar sebanyak 3 ml sebagai uji (Nababan, 2008). Kultur diinkubasi pada suhu ruang dan diaduk di atas inkubasi shaker dengan kecepatan 120 rpm selama 24 jam untuk menjaga agar proses berlangsung secara aerob (Andina, 2014).

Selanjutnya dilakukan analisis kadar minyak solar yang tersisa dan estimasi kepadatan bakteri dengan inkubasi selama 7 x 24 jam. Dilakukan proses yang sama pada media SMSSe tanpa penambahan suspensi bakteri sebagai kontrol.

Selama masa inkubasi, pada tahap perlakuan ini yaitu mengamati pertumbuhan kultur bakteri murni pada media SMSSe cair yang telah mengandung minyak solar dan diukur berdasarkan kerapatan optik (OD) dengan panjang gelombang 600 nm setiap 24 jam (Ismail, 2015). Selanjutnya kultur bakteri murni dibuat duplo untuk pembuatan kurva pertumbuhan bakteri dan uji biodegradasi bakteri (Nababan, 2008).

3.5.5.1 Uji Pengukuran Sisa Berat Minyak dengan Gravimetri

Analisis berat minyak bumi secara gravimetri dapat dilakukan dengan cara media SMSSe cair yang mengandung minyak solar 3 mL dari uji biodegradasi minyak solar dimasukkan ke dalam corong pisah. Media cair pada corong pisah tersebut selanjutnya ditambahkan 5 ml HCl hingga nilai pada media memiliki pH 2 (Greenberg, 1992) kemudian ditambahkan pelarut sebesar 30 ml kloroform. Selanjutnya corong pisah dikocok dengan kuat selama 2 menit (dengan sekali-kali tutup pada corong pisah dibuka untuk mengeluarkan gas yang terbentuk). Setelah 2 menit, didiamkan corong pisah sampai terbentuk 2 lapisan memisah dan stabil, dan keluarkan lapisan air (SNI, 06-6989.10-2004). Lapisan kloroform dan minyak solar dari corong pisah dikeluarkan dan disaring dengan kertas saring yang telah diolesi 0,5 gram Na_2SO_4 ke dalam gelas beaker yang sebelumnya telah ditimbang. Kemudian gelas beaker berisi kloroform dan minyak dipanaskan pada suhu 60 °C (sesuai titik didih kloroform) sampai kloroform habis, airnya habis menguap dan yang tersisa hanya minyak (APHA, 1981).

Gelas beaker yang berisi minyak diangkat dan didiamkan hingga dingin, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya.

3.6 Analisis Data

Menurut Herdiyantoro (2005), rumus untuk menentukan persentase biodegradasi minyak bumi yang terjadi dapat diketahui dengan cara:

$$\%B = \frac{(Bmo - Bmn)}{Bmo} \times 100$$

Keterangan:

%B = Persentase Biodegradasi

Bmo = Berat minyak awal (sebelum dilakukan proses biodegradasi)

Bmn = Berat minyak akhir (hasil uji biodegradasi yang telah melalui proses uji gravimetri)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Isolasi Bakteri dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang

Bakteri hidrokarbonoklastik diambil secara langsung dari lokasi yang terdapat genangan minyak solar di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang. Bakteri telah berhasil diisolasi dari sampel air Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang, yaitu pada lokasi yang berada di tepi pantai tempat berlabuh kapal nelayan. Pengukuran faktor abiotik di perairan pantai secara langsung menunjukkan hasil pH air rata-rata 7 dan suhu rata-rata 35 °C. Bakteri merupakan mikroorganisme yang membutuhkan kondisi lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhannya. Suhu dan pH sangat mempengaruhi pertumbuhan maupun kegiatan fisiologi bakteri (Surendra, dkk., 1991).

Hasil isolasi yang telah dilakukan menunjukkan terdapat 5 jenis bakteri hidrokarbonoklastik yang dapat tumbuh pada media selektif. Media selektif digunakan untuk menumbuhkan bakteri tertentu dan menghambat tumbuhnya bakteri lain. Bakteri dari hasil isolasi kemudian dimurnikan di media SMSSe padat hingga didapatkan bakteri tunggal yang dominan. Hasil pemurnian dari 5 isolat bakteri tersebut diberi kode isolat BL4A2, BL4A3, BL4A4, BL4B1 dan BL4B2. Pengamatan bakteri tersebut dibedakan berdasarkan karakter morfologinya.

Koloni yang memiliki morfologi berbeda dimurnikan untuk mendapatkan koloni tunggal. Setelah koloni pada cawan petri serupa, dapat menandakan bahwa koloni bakteri pada cawan telah murni. Nurjannah (2018) dalam penelitiannya didapatkan 5 jenis bakteri yang berbeda secara morfologi yang diisolasi dari perairan tercemar solar di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Selain itu pada

penelitian serupa yaitu pada penelitian Puspitasari (2020) bahwa hanya terdapat 2 isolat yang mampu bertahan tumbuh pada media yang terdapat minyak solar. Pengambilan sampel dari penelitian tersebut yaitu pada permukaan perairan Tanjung Mas, Semarang.

4.2 Identifikasi Bakteri Hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang

Berdasarkan hasil isolasi telah dikelompokkan 5 koloni bakteri hidrokarbonoklastik berdasarkan pengamatan makroskopis berupa warna, ukuran, tepian, elevasi dan bentuk. Hasil identifikasi isolasi bakteri hidrokarbonoklastik pendegradasi minyak solar dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil identifikasi makroskopis bakteri hidrokarbonoklastik pendegradasi minyak solar dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang.

Karakteristik	Kode Isolat				
	BL4A2	BL4A3	BL4A4	BL4B1	BL4B2
Ukuran Koloni	Kecil	Kecil	Sedang	Kecil	Sedang
Bentuk Koloni	Irregular	Circular	Circular	Circular	Circular
Tepi Koloni	Undulate	Entire	Entire	Entire	Undulate
Warna Koloni	Cream	Cream	Putih	Transparan putih	Putih
Permukaan Koloni	Raised	Convex	Raised	Convex	Raised

Keterangan :

Irregular : tidak beraturan, bertepi
Circular : bulat, bertepi
Undulate : keriting
Entire : utuh
Raised : timbul-datar
Convex : timbul- melengkun

Berdasarkan hasil pengamatan karakteristik makroskopis didapatkan bahwa kelima isolat bakteri memiliki beberapa karakteristik yang berbeda. Selain itu diamati pula berdasarkan karakteristik mikroskopis. Pengamatan karakteristik mikroskopis dilakukan menggunakan mikroskop agar dapat diketahui bentuk sel dan dapat dibedakan bakteri bersifat gram positif atau negatif berdasarkan pewarnaan. Hasil karakteristik mikroskopis bakteri hidrokarbonoklastik pendegradasi solar di pantai Sendangbiru Kabupaten Malang terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil identifikasi mikroskopis bakteri hidrokarbonoklastik pendegradasi minyak solar dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang.

Kode Isolat	Pewarnaan gram	Bentuk Sel
BL4A2	Positif (+)	Diplococcus (Encapsulated)
BL4A3	Positif (+)	Coccus
BL4A4	Negatif (-)	Basil
BL4B1	Negatif (-)	Basil
BL4B2	Positif (+)	Basil

Berdasarkan hasil pewarnaan gram dan diamati melalui mikroskop dapat diketahui bahwa bakteri yang dapat mempertahankan warna violet merupakan jenis bakteri gram positif, sedangkan bakteri yang tidak dapat mempertahankan zat warna kristal violet sehingga membentuk warna merah merupakan bakteri gram negatif. Pembentukan warna yang dapat membedakan antara bakteri gram positif dan negatif disebabkan karena adanya perbedaan struktur pada dinding sel antara kedua jenis bakteri. Bakteri jenis gram positif memiliki struktur berupa dinding sel yang memiliki kandungan peptidoglikan tebal, sedangkan bakteri jenis gram negatif memiliki struktur dinding sel dengan kandungan lipid yang tinggi (Nurhidayati

dkk., 2015). Pada hasil pengamatan bakteri di mikroskop pada 5 jenis bakteri, masing-masing terdapat jenis bakteri gram positif maupun negatif.

Selain pengamatan jenis bakteri gram positif dan negatif, diamati pula bentuk bakteri di mikroskop. Dalam pengamatan terdapat jenis bakteri yang memiliki bentuk *coccus* atau bulat yaitu kode isolat BL4A3, yang memiliki bentuk *diplococcus* yaitu kode isolat BL4A2, sedangkan ketiga jenis bakteri lain berbentuk *basil* atau batang. Hal itu menunjukkan kelima isolat bakteri merupakan jenis yang berbeda.

Berdasarkan hasil pengamatan karakteristik makroskopis dan mikroskopis didapatkan bahwa kelima isolat bakteri memiliki beberapa karakteristik yang berbeda. Selanjutnya identifikasi dilakukan untuk mengetahui metabolisme kelima isolat melalui uji biokimia. Uji biokimia dilakukan menggunakan uji TSIA, SCA dan nutrient gelatin. Hasil dari uji biokimia dapat diamati pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji biokimia bakteri hidrokarbonoklastik pendegradasi minyak solar dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang.

Jenis Uji		Isolat Bakteri				
		BL4A2	BL4A3	BL4A4	BL4B1	BL4B2
Uji Biokimia	TSIA	-/+	-/+	+/+	+/+	-/+
	SCA	+	+	+	+	+
	Nutrien Gelatin	+	+	+	+	+

Keterangan :

TSIA +/+ => permukaan kuning / dasar kuning

TSIA -/- => permukaan merah / dasar merah

TSIA -/+ => permukaan merah /dasar kuning

+ => reaksi positif

- => reaksi negatif

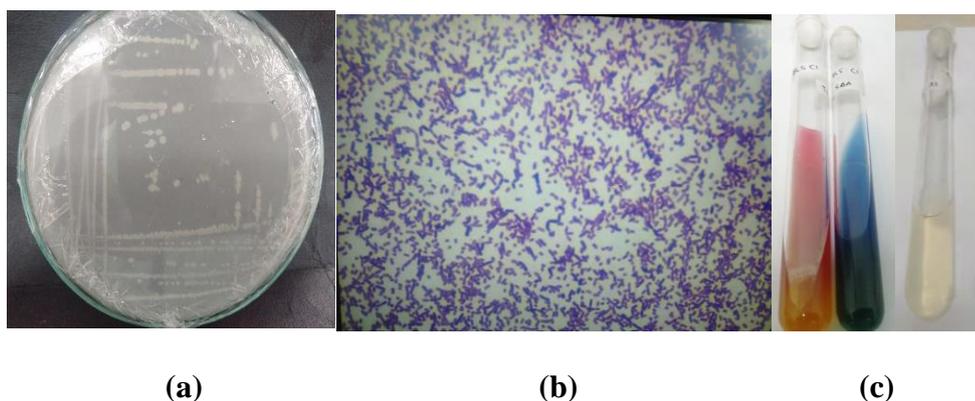
-

Berdasarkan Tabel 4.1., Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa isolat bakteri yang berasal dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang yang telah

diidentifikasi secara makroskopis, mikroskopis dan biokimia memiliki kemiripan dengan bakteri dari beberapa genus berikut ini:

a. Isolat BL4A2

Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia, Isolat bakteri dengan kode BL4A2 hasil isolasi dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang merupakan isolat bakteri genus *Bacillus*. Pada isolat BL4A2 memiliki karakteristik yang sama dengan genus *Bacillus*, yaitu bentuk koloni *irregular* (bertepi tidak beraturan), memiliki tepi koloni *undulate* (keriting), warna koloni *cream*, bentuk koloni kecil dan permukaan koloni *raised* (timbul datar). Selain itu pada pengamatan mikroskopis merupakan jenis bakteri gram positif dan memiliki bentuk sel *diplococcus encapsulated*.



Gambar 4.1 Hasil identifikasi (a) pengamatan makroskopis : ukuran koloni kecil, bentuk koloni tidak beraturan dan bertepi, tepi koloni keriting, warna koloni cream, permukaan koloni timbul-datar (b) pengamatan mikroskopis : pewarnaan gram berwarna biru, bentuk sel *diplococcus* (c) uji TSIA perubahan warna dasar media menjadi kuning dan permukaan berwarna merah (-/+), uji SCA perubahan warna media hijau menjadi berwarna biru (+), uji nutrient gelatin media padat menjadi cair (reaksi positif).

Karakteristik tersebut berdasarkan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition* yang menyebutkan bahwa genus *Bacillus* merupakan

bakteri jenis gram positif yang memiliki bentuk *encapsulated*, warna koloni cream, kuning menuju orange. Klasifikasi *Bacillus* yaitu:

Divisi : Schizophyta

Kelas : Schizomycetes

Ordo : Eubacteriales

Famili : Bacillaceae

Genus : *Bacillus*.

Pada uji biokimia TSIA yang dilakukan pada genus *Bacillus* menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus* sebagian mampu memfermentasikan karbohidrat. Pengamatan uji TSIA menunjukkan perubahan warna dasar media menjadi warna kuning dan warna permukaan media merah, sehingga bakteri *Bacillus* mampu memfermentasikan glukosa sebagai bahan nutrisi untuk pertumbuhannya. Menurut Yulvizar (2013) bakteri genus *Bacillus* mampu memfermentasikan glukosa yang dimanfaatkan sebagai nutrisinya.

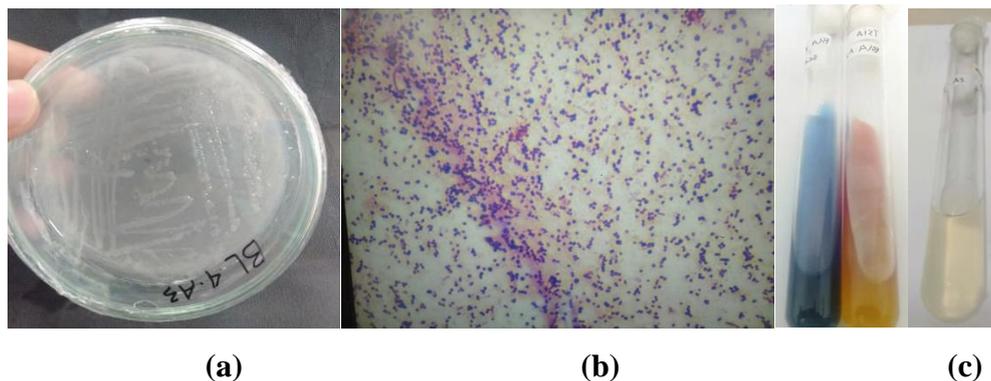
Pada uji biokimia SCA yang dilakukan pada genus *Bacillus* menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus* menunjukkan reaksi positif, yaitu dapat merubah media SCA hijau menjadi biru. Hal tersebut membuktikan bahwa bakteri genus *Bacillus* dapat menggunakan sitrat sebagai salah satu sumber karbon dalam metabolisme nya. Selain itu, dilakukan pula uji nutrient gelatin yang menunjukkan hasil yang positif, yaitu media pada nutrient gelatin yang semula berbentuk gel menjadi cair dan setelah didinginkan tetap mencair. Menurut Mahmudah (2006) hal tersebut terjadi karena bakteri *Bacillus* mampu menghidrolisis gelatin menggunakan enzim proteolitik yang disebut gelatinase. Bakteri akan memanfaatkan asam amino sebagai sumber nutrisinya.

Menurut Trinanda (2015) Genus *Bacillus* merupakan bakteri yang banyak dipergunakan sebagai agen bioremediasi minyak bumi. Genus *Bacillus* memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa yang ada pada minyak bumi berupa senyawa poli aromatic hidrokarbon seperti dibenzotipen, florin dan penatren yang terkandung dalam limbah minyak berat.

Keberhasilan genus *Bacillus* dalam mendegradasi minyak bumi telah dibuktikan dalam beberapa jurnal diantaranya jurnal Nurjannah (2018) membuktikan bahwa *Bacillus* mampu mendegradasi minyak solar hingga 89,99 %. Menurut Trikurniadewi (2015) juga menjelaskan bahwa bakteri *Bacillus* mampu mendegradasi minyak bumi sebesar 70,5 %.

b. Isolat BL4A3

Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia, Isolat bakteri dengan kode BL4A3 hasil isolasi dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang merupakan isolat bakteri genus *Micrococcus*. Pada isolat BL4A3 memiliki karakteristik yang sama dengan genus *Micrococcus*, yaitu bentuk koloni *circular* (bulat), memiliki tepi koloni *entire* (rata), warna koloni putih, bentuk koloni sedang dan permukaan koloni *raised* (timbul datar). Selain itu pada pengamatan mikroskopis merupakan jenis bakteri gram positif dan memiliki bentuk sel *coccus*.



Gambar 4.2 Hasil identifikasi (a) pengamatan makroskopis : ukuran koloni kecil, bentuk koloni bulat dan bertepi, tepi koloni utuh, warna koloni cream, permukaan koloni timbul melengkung (b) pengamatan mikroskopis : pewarnaan gram berwarna biru, bentuk sel *coccus* (c) uji TSIA perubahan warna dasar media menjadi kuning dan permukaan berwarna merah (-/+), uji SCA perubahan warna media hijau menjadi berwarna biru (+), uji nutrient gelatin media padat menjadi cair (reaksi positif).

Karakteristik tersebut berdasarkan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition* yang menyebutkan bahwa genus *Micrococcus* merupakan bakteri jenis gram positif yang memiliki bentuk *coccus*. Klasifikasi *Micrococcus* yaitu:

Kelas : Actinobacteria

Ordo : Micrococcales

Famili : Micrococcaceae

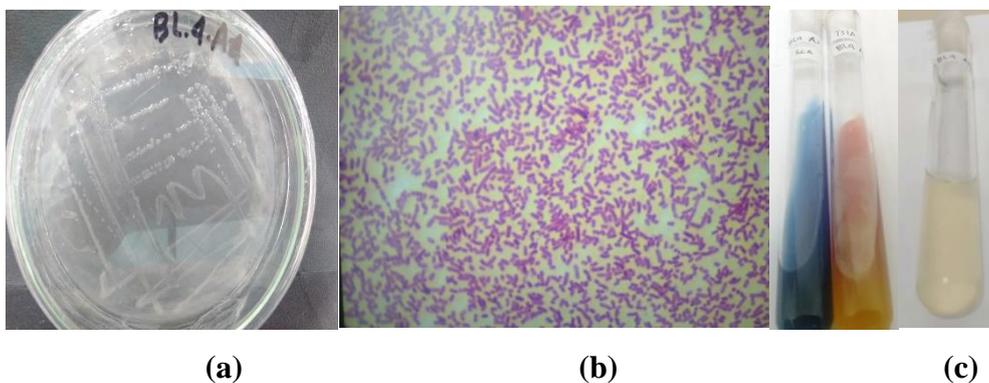
Genus : *Micrococcus*

Pada uji biokimia TSIA yang dilakukan pada genus *Micrococcus* menunjukkan bahwa bakteri *Micrococcus* sebagian mampu memfermentasikan karbohidrat. Pengamatan uji TSIA menunjukkan perubahan warna dasar media menjadi warna kuning dan warna permukaan media merah, sehingga bakteri *Micrococcus* mampu memfermentasikan glukosa sebagai bahan nutrisi untuk pertumbuhannya.

Pada uji biokimia SCA yang dilakukan pada genus *Micrococcus* menunjukkan bahwa bakteri *Micrococcus* menunjukkan reaksi positif, yaitu dapat merubah media SCA hijau menjadi biru. Hal tersebut membuktikan bahwa bakteri genus *Micrococcus* dapat menggunakan sitrat sebagai salah satu sumber karbon dalam metabolisme nya. Selain itu, dilakukan pula uji nutrient gelatin yang menunjukkan hasil yang positif, yaitu media pada nutrient gelatin yang semula berbentuk gel menjadi cair dan setelah didinginkan tetap mencair. Menurut Yudono (2013) dalam jurnal nya bahwa bakteri *Micrococcus* mampu tumbuh dalam media yang mengandung minyak bumi. Bakteri *Micrococcus* mampu memanfaatkan minyak bumi sebagai sumber nutrisi.

c. Isolat BL4A4

Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia, Isolat bakteri dengan kode BL4A4 hasil isolasi dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang merupakan isolat bakteri genus *Enterobacter*. Pada isolat BL4A4 memiliki karakteristik yang sama dengan genus *Enterobacter*, yaitu memiliki ukuran bakteri sedang, bentuk koloni *circular* (bulat), tepi koloni *entire* (rata), warna koloni putih dan memiliki permukaan koloni *raised* (timbul-datar). Selain itu pada pengamatan mikroskopis merupakan jenis bakteri gram negatif dan memiliki bentuk sel basil.



Gambar 4.3 Hasil identifikasi (a) pengamatan makroskopis : ukuran koloni sedang, bentuk koloni bulat, tepi koloni rata, warna koloni putih, permukaan koloni timbul datar (b) pengamatan mikroskopis : pewarnaan gram berwarna merah muda, bentuk sel batang (c) uji TSIA perubahan warna dasar media menjadi kuning dan permukaan berwarna kuning (+/+), uji SCA perubahan warna media hijau menjadi berwarna biru (+), uji nutrient gelatin media padat menjadi cair (reaksi positif).

Karakteristik tersebut berdasarkan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition* yang menyebutkan bahwa genus *Enterobacter* merupakan bakteri gram negatif. Klasifikasi *Enterobacter* yaitu:

Divisi : Schizophyta

Kelas : Schizomycetes

Ordo : Eubacteriales

Famili : Enterobacteriaceae

Genus : *Enterobacter*.

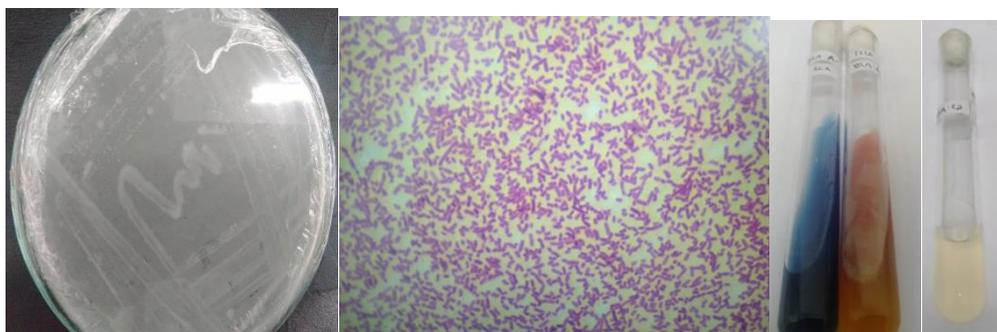
Pada uji biokimia TSIA yang dilakukan pada genus *Enterobacter* menunjukkan bahwa bakteri *Enterobacter* mampu memfermentasikan karbohidrat. Pengamatan uji TSIA menunjukkan perubahan warna dasar media menjadi warna kuning dan warna permukaan media juga menjadi kuning, sehingga bakteri *Enterobacter* mampu memfermentasikan glukosa sebagai sumber nutrisinya.

Pada uji biokimia SCA yang dilakukan pada genus *Enterobacter* menunjukkan bahwa terjadi reaksi positif, yaitu dapat merubah media SCA hijau menjadi biru. Hal tersebut membuktikan bahwa bakteri genus *Enterobacter* dapat menggunakan sitrat sebagai salah satu sumber karbon dalam metabolisme nya. Selain itu, dilakukan pula uji nutrient gelatin yang menunjukkan hasil yang positif, yaitu media pada nutrient gelatin yang semula berbentuk gel menjadi cair dan

setelah didinginkan tetap mencair. Menurut Hidayat dkk. (2006) bahwa bakteri genus *Enterobacter* merupakan bakteri yang memiliki kemampuan dalam memanfaatkan komponen hidrokarbon sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhan.

d. Isolat BL4B1

Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia, Isolat bakteri dengan kode BL4B1 hasil isolasi dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang merupakan isolat bakteri genus *Klebsiella*. Pada isolat BL4B1 memiliki karakteristik yang sama dengan genus *Klebsiella*, yaitu memiliki ukuran bakteri kecil, bentuk koloni *circular* (bulat), tepi koloni *entire* (rata), warna koloni transparan putih dan permukaan koloni *convex* (timbul-melengkung). Selain itu pada pengamatan mikroskopis merupakan jenis bakteri gram negatif dan memiliki bentuk sel basil.



(a)

(b)

(c)

Gambar 4.4 Hasil identifikasi (a) pengamatan makroskopis : ukuran koloni kecil, bentuk koloni bulat, tepi koloni rata, warna koloni putih, permukaan koloni timbul melengkung (b) pengamatan mikroskopis : pewarnaan gram berwarna merah muda, bentuk sel batang (c) uji TSIA perubahan warna dasar media menjadi kuning dan permukaan berwarna kuning (+/+), uji SCA perubahan warna media hijau menjadi berwarna biru (+), uji nutrient gelatin media padat menjadi cair (reaksi positif).

Karakteristik tersebut berdasarkan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition* yang menyebutkan bahwa genus *Klebsiella* merupakan bakteri gram negatif yang memiliki bentuk sel basil. Klasifikasi *Klebsiella* yaitu:

Divisi : Schizophyta

Kelas : Schizomycetes

Ordo : Eubacteriales

Famili : Enterobacteriaceae

Genus : *Klebsiella*.

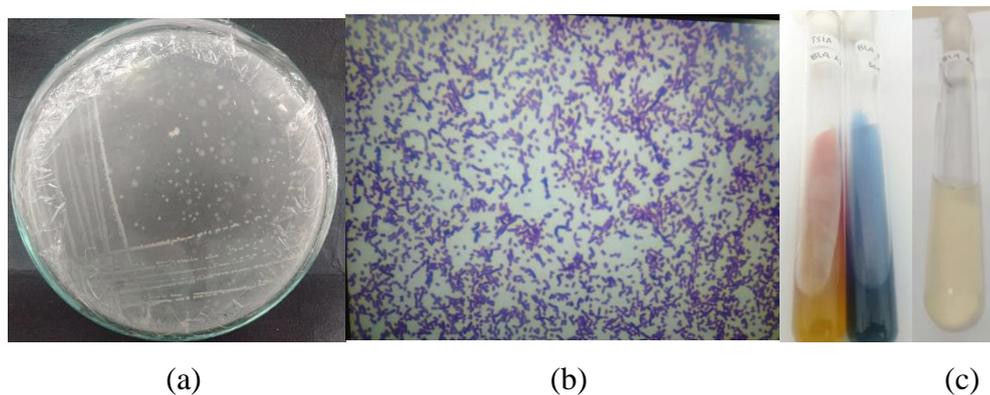
Pada uji biokimia TSIA yang dilakukan pada genus *Klebsiella* menunjukkan bahwa bakteri *Klebsiella* mampu memfermentasikan karbohidrat. Pengamatan uji TSIA menunjukkan perubahan warna dasar media menjadi warna kuning dan warna permukaan media juga menjadi kuning, sehingga bakteri *Klebsiella* mampu memfermentasikan glukosa sebagai sumber nutrisinya.

Pada uji biokimia SCA yang dilakukan pada genus *Klebsiella* menunjukkan bahwa terjadi reaksi positif, yaitu dapat merubah media SCA hijau menjadi biru. Hal tersebut membuktikan bahwa bakteri genus *Klebsiella* dapat menggunakan sitrat sebagai salah satu sumber karbon dalam metabolisme nya. Selain itu, dilakukan pula uji nutrient gelatin yang menunjukkan hasil yang positif, yaitu media pada nutrient gelatin yang semula berbentuk gel menjadi cair dan setelah didinginkan tetap mencair. Menurut Feliatra (2007) bahwa bakteri genus *Klebsiella* merupakan bakteri yang mampu hidup dengan kondisi lingkungan yang tercemari hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi dan dapat mendegradasi hidrokarbon.

e. Isolat BL4B2 (Genus *Pseudomonas*)

Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia, Isolat bakteri dengan kode BL4A2 hasil isolasi dari pantai Sendangbiru Kabupaten Malang merupakan isolat bakteri genus *Pseudomas*. Pada isolat BL4A3 memiliki

karakteristik yang sama dengan genus *Pseudomonas*, yaitu bentuk koloni *circular* (bulat ber tepi), memiliki tepi koloni *undulate* (keriting), warna koloni putih *cream*, bentuk koloni sedang dan permukaan koloni *raised* (timbul datar). Selain itu pada pengamatan mikroskopis merupakan jenis bakteri gram negatif dan memiliki bentuk sel basil.



Gambar 4.5 Hasil identifikasi (a) pengamatan makroskopis : ukuran koloni sedang, bentuk koloni bulat, tepi koloni keriting, warna koloni putih, permukaan koloni timbul datar (b) pengamatan mikroskopis : pewarnaan gram berwarna biru, bentuk sel batang (c) uji TSIA perubahan warna dasar media menjadi kuning dan permukaan berwarna merah (-/+), uji SCA perubahan warna media hijau menjadi berwarna biru (+), uji nutrient gelatin media padat menjadi cair (reaksi positif).

Karakteristik tersebut berdasarkan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition* yang menyebutkan bahwa genus *Pseudomonas* merupakan bakteri jenis gram negatif yang memiliki bentuk basil. Klasifikasi *Pseudomonas* yaitu:

Divisi : Schizophyta

Kelas : Schizomycetes

Ordo : Pseudomondales

Family : Pseudomonadaceae

Genus : *Pseudomonas*.

Pada uji biokimia TSIA yang dilakukan pada genus *Pseudomonas* menunjukkan bahwa bakteri *Pseudomonas* sebagian mampu memfermentasikan karbohidrat. Pengamatan uji TSIA menunjukkan perubahan warna dasar media menjadi warna kuning dan warna permukaan media merah, sehingga bakteri *Pseudomonas* mampu memfermentasikan glukosa sebagai bahan nutrisi untuk pertumbuhannya. Pada uji biokimia SCA yang dilakukan pada genus *Pseudomonas* menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus* menunjukkan reaksi positif, yaitu dapat merubah media SCA hijau menjadi biru. Hal tersebut membuktikan bahwa bakteri genus *Pseudomonas* dapat menggunakan sitrat sebagai salah satu sumber karbon dalam metabolisme nya. Selain itu, dilakukan pula uji nutrien gelatin yang menunjukkan hasil yang positif, yaitu media pada nutrient gelatin yang semula berbentuk gel menjadi cair dan setelah didinginkan tetap mencair. Menurut Robert *et al.* (1989) bakteri *Pseudomonas* merupakan bakteri yang mampu memproduksi rhamnolipid pada C₁₂ n-alkana sebagai surfaktan.

4.3 Hasil Pengamatan Visual Biodegradasi Minyak Solar oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik

Hasil pengamatan bakteri dilakukan secara visual dan kuantitatif. Berdasarkan pengamatan visual dapat dilakukan dengan mengamati perubahan campuran media cair SMSSe yang ditambahkan isolat bakteri dan minyak solar pada inkubasi hari pertama dan hari ke 7. Pengamatan visual berdasarkan perubahan kekentalan solar pada media cair, kekeruhan media cair, perubahan warna maupun perubahan-perubahan lain yang terjadi pada hari pertama dan hari ke 7. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil pengamatan visual uji biodegradasi (a) pengamatan hari pertama isolat BL4A2, BL4A3, BL4A4, BL4B1, BL4B2 tampak putih keruh, kekentalan minyak diatas permukaan (b) pengamatan hari ke-7 isolat BL4A2, BL4A3, BL4A4, BL4B1, BL4B2 tampak menjadi bening, minyak terurai.

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada media SMSSe cair dapat diketahui bahwa media cair mengalami beberapa perubahan. Pada hari pertama inkubasi, media berwarna putih keruh, kekentalan minyak solar terdapat pada permukaan atas media. Kelima bakteri mempunyai penampakan yang sama pada hari pertama inkubasi. Setelah terjadi proses biodegradasi selama 7 hari, media mengalami perubahan. Pada hari ke-7 inkubasi, media cair berubah menjadi berwarna kuning bening isolat BLA2, BL4A3 dan BLB2, sedangkan pada isolat BL4A4 dan BL4B1 warna berubah menjadi putih transparan. Keadaan media menjadi keruh. Kekentalan minyak solar tidak hanya berada pada permukaan atas akan tetapi terurai dan menempel pada dinding-dinding botol. Terdapat butiran-butiran kecil yang menyebar pada media.

Perubahan warna pada media terjadi akibat bakteri yang memanfaatkan hidrokarbon yang terkandung dalam media yang ditempatinya. Lapisan antara minyak dan air disebut biofilm yang merupakan tempat hidup bakteri. Pemanfaatan hidrokarbon oleh bakteri sebagai hasil biodegradasi akan menyebabkan perubahan warna media buatan. Warna yang akan terbentuk pada larutan minyak yaitu antara warna kuning hingga jingga tua (Nugroho, 2006).

Minyak solar yang terurai menunjukkan adanya proses biodegradasi oleh bakteri. Menurut Ristiati (2013) terdapatnya butiran-butiran yang menyebar dipermukaan merupakan hasil biosurfaktan yang diperoleh bakteri. Butiran-butiran yang terbentuk semakin banyak menandakan semakin banyak pula biosurfaktan didalamnya. Sedangkan kekeruhan yang terjadi pada media menurut Astuti (2012) merupakan hasil metabolit sekunder yang diinokulasikan bakteri hasil perombakan hidrokarbon minyak solar dan tanda bahwa jumlah sel bakteri semakin melimpah.

4.4 Kurva Pertumbuhan Bakteri Hidrokarbonoklastik dalam Mendegradasi Minyak Solar

Pengamatan kurva pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui terjadinya respon bakteri terhadap minyak solar sebagai bahan uji yang dibandingkan dengan respon bakteri pada media tanpa minyak solar. Pengamatan dilakukan dengan menghitung nilai OD (*Optical Density*) yaitu menghitung kekeruhan pada media selama 7 hari atau 168 jam. Ketika jumlah kekeruhan yang terjadi pada media dengan penambahan solar lebih besar dibandingkan dengan media tanpa solar, maka bakteri telah menggunakan solar sebagai bahan untuk nutrisinya.

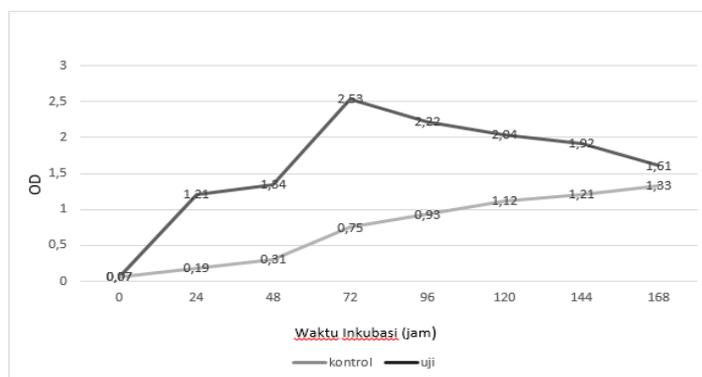
3.6 Kurva pertumbuhan *Bacillus*

Pengamatan yang dilakukan pada bakteri *Bacillus* menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri pada media yang ditambahkan solar lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan bakteri pada media kontrol. Selain itu pertumbuhan genus isolat *Bacillus* di media dengan penambahan solar juga merupakan pertumbuhan yang paling cepat dibandingkan dengan isolat bakteri lain. Penambahan tingkat kekeruhan isolat *Bacillus* pada media yang ditambahkan solar memiliki nilai OD sebesar 1,21 dibandingkan dengan bakteri dengan media tanpa solar yang memiliki nilai OD sebesar 0,19. Isolat *Bacillus* memiliki fase adaptasi yang tidak terlalu lama dibandingkan dengan bakteri pada media kontrol yang memiliki fase adaptasi hingga 48 jam.

Fase selanjutnya yaitu fase eksponensial dimana bakteri *Bacillus* mengalami fase tersebut pada waktu inkubasi 48 jam dan 72 jam. Nilai OD pada inkubasi 48 jam sebesar 1,34 sedangkan nilai OD pada inkubasi 72 jam meningkat tajam sejumlah 2,53. Kondisi tersebut terjadi karena bakteri *Bacillus* memanfaatkan solar sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya. Sedangkan pada media kontrol, bakteri melakukan fase eksponensial dengan laju yang konstan dimulai pada waktu inkubasi 72 jam hingga 168 jam.

Selanjutnya isolat bakteri BL4A2 dalam media mengandung solar mengalami fase statis atau konstan pada waktu inkubasi 96 jam hingga 168 jam, dengan nilai OD berturut-turut 2,22 ; 2,04 ; 1,92 ; 1,61. Fase statis terjadi akibat mulai berkurangnya nutrisi yang terkandung didalam media serta mulai adanya produk beracun yang dihasilkan, sehingga terdapat bakteri yang tetap melakukan

pertumbuhan dan adapula yang mati. Kurva pertumbuhan isolat *Bacillus* pada media yang ditambahkan solar dan media kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kurva pertumbuhan isolat bakteri *Bacillus* berdasarkan nilai OD

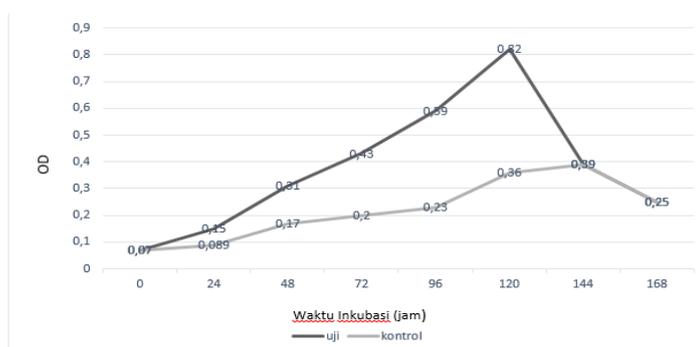
b. Kurva Pertumbuhan *Micrococcus*

Pengamatan yang dilakukan pada isolat *Micrococcus* menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri pada media yang ditambahkan solar memiliki tingkat kekeruhan yang meningkat menjadi 0,15 dibandingkan dengan bakteri dengan media tanpa solar yang memiliki nilai OD sebesar 0,089. Isolat *Micrococcus* pada fase lag memerlukan waktu pada media dengan penambahan solar, sehingga bakteri genus *Micrococcus* dapat memanfaatkan solar sebagai nutrisinya. Sedangkan bakteri genus *Micrococcus* pada media tanpa solar memiliki waktu hingga inkubasi ke 48 jam untuk mengalami fase lag dengan nilai OD sebesar 0,17.

Selanjutnya yaitu fase eksponensial dimana bakteri isolat *Micrococcus* mengalami fase ini selama 4 hari, yaitu pada waktu inkubasi 48 jam hingga 96 jam. Nilai OD pada jam inkubasi 48 jam sebesar 0,31; nilai OD pada inkubasi 72 jam sejumlah 0,43; pada inkubasi 96 jam sejumlah 0,59; pada inkubasi 120 jam nilai

OD sejumlah 0,82. Kondisi tersebut terjadi karena isolat *Micrococcus* memanfaatkan solar sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya. Sedangkan pada media kontrol, bakteri isolat *Micrococcus* melakukan fase eksponensial dengan laju konstan dimulai pada waktu inkubasi 72 jam hingga 168 jam.

Selanjutnya *Micrococcus* dalam media mengandung solar mengalami fase statis atau konstan pada waktu inkubasi 122 jam dan 168 jam, dengan nilai OD 0,39 dan 0,25. Fase statis terjadi akibat mulai berkurangnya nutrisi yang terkandung didalam media serta mulai adanya produk beracun yang dihasilkan, sehingga terdapat bakteri yang tetap melakukan pertumbuhan dan adapula yang mati. Kurva pertumbuhan genus *Micrococcus* pada media yang ditambahkan solar dan media kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Kurva pertumbuhan bakteri isolat *Micrococcus* berdasarkan nilai OD

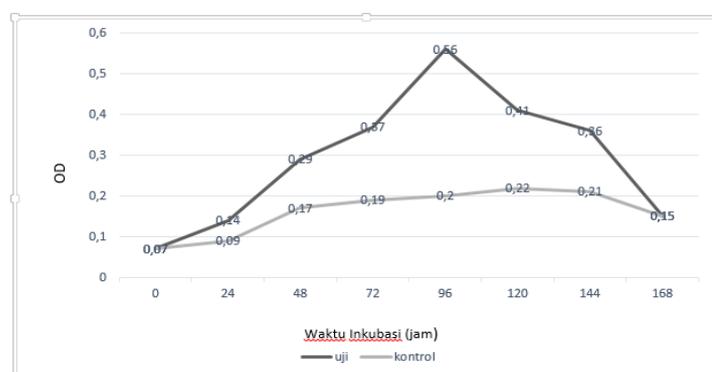
c. Kurva Pertumbuhan *Enterobacter*

Pengamatan yang dilakukan pada isolat *Enterobacter* menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri pada media yang ditambahkan solar memiliki tingkat kekeruhan yang meningkat menjadi 0,14 dibandingkan dengan bakteri dengan media tanpa solar yang memiliki nilai OD sebesar 0,09. Isolat *Enterobacter* pada fase lag memerlukan waktu pada media dengan penambahan solar, sehingga isolat

Enterobacter dapat memanfaatkan solar sebagai nutrisinya. Sedangkan isolat *Enterobacter* pada media tanpa solar memiliki waktu hingga inkubasi ke-48 jam untuk mengalami fase lag dengan nilai OD sebesar 0,17.

Selanjutnya yaitu fase eksponensial dimana isolat *Enterobacter* mengalami fase ini selama 3 hari, yaitu pada waktu inkubasi 48 jam hingga 96 jam. Nilai OD pada jam inkubasi 48 jam sebesar 0,29; nilai OD pada inkubasi 72 jam sejumlah 0,37; pada inkubasi 96 jam sejumlah 0,56. Kondisi tersebut terjadi karena isolat *Enterobacter* memanfaatkan solar sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya. Sedangkan pada media kontrol, isolate *Enterobacter* melakukan fase eksponensial dengan laju konstan dimulai pada waktu inkubasi 72 jam hingga 168 jam.

Selanjutnya isolat *Enterobacter* dalam media mengandung solar mengalami fase statis atau konstan pada waktu inkubasi 120 jam, 144 jam dan 168 jam, dengan nilai OD 0,41; 0,36 dan 0,15. Fase statis terjadi akibat mulai berkurangnya nutrisi yang terkandung didalam media serta mulai adanya produk beracun yang dihasilkan, sehingga terdapat bakteri yang tetap melakukan pertumbuhan dan adapula yang mati. Kurva pertumbuhan isolat *Enterobacter* pada media yang ditambahkan solar dan media kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.9.



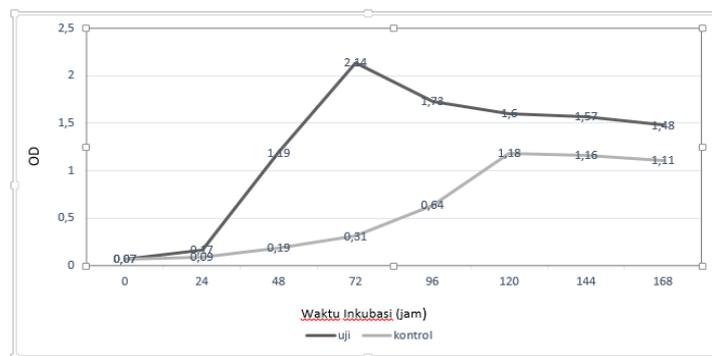
Gambar 4.9 Kurva pertumbuhan *Enterobacter* berdasarkan nilai OD

d. Kurva Pertumbuhan *Klebsiella*

Pengamatan yang dilakukan pada isolat *Klebsiella* menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri pada media yang ditambahkan solar memiliki tingkat kekeruhan yang meningkat menjadi 1,17 dibandingkan dengan bakteri dengan media tanpa solar yang memiliki nilai OD sebesar 0,09. Isolat *Klebsiella* pada fase lag memerlukan waktu pada media dengan penambahan solar, sehingga isolat *Klebsiella* dapat memanfaatkan solar sebagai nutrisinya. Sedangkan isolat *Klebsiella* pada media tanpa solar memiliki waktu hingga inkubasi ke-48 jam untuk mengalami fase lag dengan nilai OD sebesar 0,19.

Fase selanjutnya yaitu fase eksponensial dimana isolat *Klebsiella* mengalami fase tersebut pada waktu inkubasi 48 jam dan 72 jam. Nilai OD pada inkubasi 48 jam sebesar 1,19 sedangkan nilai OD pada inkubasi 72 jam meningkat sejumlah 2,14. Kondisi tersebut terjadi karena isolat *Klebsiella* memanfaatkan solar sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya. Sedangkan pada media kontrol, bakteri melakukan fase eksponensial dengan laju yang konstan dimulai pada waktu inkubasi 72 jam hingga 168 jam.

Selanjutnya isolat *Klebsiella* dalam media mengandung solar mengalami fase statis atau konstan pada waktu inkubasi 96 jam hingga 168 jam, dengan nilai OD berturut-turut 1,73; 1,60; 1,57 dan 1,48. Fase statis terjadi akibat mulai berkurangnya nutrisi yang terkandung didalam media serta mulai adanya produk beracun yang dihasilkan, sehingga terdapat bakteri yang tetap melakukan pertumbuhan dan adapula yang mati. Kurva pertumbuhan isolat *Klebsiella* pada media yang ditambahkan solar dan media kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Kurva pertumbuhan bakteri isolat *Klebsiella* berdasarkan nilai OD

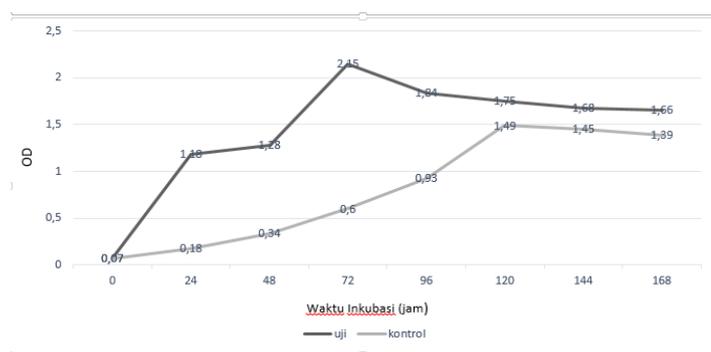
e. Kurva Pertumbuhan *Pseudomonas*

Pengamatan yang dilakukan pada isolat *Pseudomonas* menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri pada media yang ditambahkan solar memiliki tingkat kekeruhan yang meningkat menjadi 1,18 dibandingkan dengan bakteri dengan media tanpa solar yang memiliki nilai OD sebesar 0,18. Isolat *Pseudomonas* pada fase lag memerlukan waktu pada media dengan penambahan solar, sehingga isolat *Pseudomonas* dapat memanfaatkan solar sebagai nutrisinya. Sedangkan isolat *Pseudomonas* pada media tanpa solar memiliki waktu hingga inkubasi ke-48 jam untuk mengalami fase lag dengan nilai OD sebesar 0,34.

Fase selanjutnya yaitu fase eksponensial dimana isolat *Pseudomonas* mengalami fase tersebut pada waktu inkubasi 48 jam dan 72 jam. Nilai OD pada inkubasi 48 jam sebesar 1,28 sedangkan nilai OD pada inkubasi 72 jam meningkat sejumlah 2,15. Kondisi tersebut terjadi karena isolat *Pseudomonas* memanfaatkan solar sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya. Sedangkan pada media kontrol, bakteri melakukan fase eksponensial dengan laju yang konstan dimulai pada waktu inkubasi 72 jam hingga 168 jam.

Selanjutnya isolat *Pseudomonas* dalam media mengandung solar mengalami fase statis atau konstan pada waktu inkubasi 96 jam hingga 168 jam, dengan nilai

OD berturut-turut 1,84; 1,75; 1,68 dan 1,66. Fase statis terjadi akibat mulai berkurangnya nutrisi yang terkandung didalam media serta mulai adanya produk beracun yang dihasilkan, sehingga terdapat bakteri yang tetap melakukan pertumbuhan dan adapula yang mati. Kurva pertumbuhan isolat *Pseudomonas* pada media yang ditambahkan solar dan media kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kurva pertumbuhan bakteri isolat *Pseudomonas* berdasarkan nilai OD

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri melalui fase pertumbuhan yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stationer, dan fase kematian. Pertumbuhan bakteri menunjukkan adanya perubahan jumlah, ukuran sel, serta lebar dari organisme tersebut. Adanya tingkatan pertumbuhan oleh makhluk hidup telah Allah sampaikan dalam QS. Al-Insyiqaaq ayat 19 yang berbunyi :

لَنْزُ كِبْنًا طَبَقًا عَن طَبَقٍ

Artinya : “*Sesungguhnya kamu melalui tingkat demi tingkat (dalam Kehidupan)*”

Menurut tafsir Ibnu Kasir bahwa Imam Al Bukhari meriwayatkan dari Mujahid, ia berkata bahwa Ibnu Abbas mengatakan suatu keadaan ke keadaan yang lain. Dalam konteks pertumbuhan bakteri kalimat tersebut dapat dikatakan sebagai tahap pertumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bukti kekuasaan Allah Subhanahu wata’ala bahwa adanya tahapan-tahapan kehidupan dalam makhluk

hidup termasuk bakteri. Seperti halnya yang ditunjukkan pada bakteri hidrokarbonoklastik yang dapat tumbuh melalui fase lag, fase eksponensial, fase statis maupun fase terakhir yaitu kematian bakteri. Maha Suci Allah atas segala kekuasaan dan kebesarannya.

4.5 Hasil Uji Kuantitatif Biodegradasi Minyak Solar oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik

Pengujian bakteri hidrokarbonoklastik dalam mendegradasi solar tidak hanya dilihat secara visual maupun menurut pertumbuhan bakteri tersebut, akan tetapi dapat dilakukan pula menggunakan uji kuantitatif berupa penghitungan kadar solar menggunakan gravimetri. Penghitungan kadar minyak solar dilakukan setelah proses biodegradasi selama 7 hari. Pengurangan jumlah berat minyak solar dari jumlah berat awal dapat menentukan bahwa bakteri telah melakukan proses biodegradasi pada minyak solar. Hasil perhitungan gravimetri dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Berdasarkan perhitungan dapat diketahui bahwa kelima genus bakteri memiliki kemampuan dalam mendegradasi minyak solar yang ditandai dengan adanya penurunan jumlah berat minyak solar setelah 7 hari. Penurunan jumlah berat minyak diperoleh bervariasi berdasarkan kemampuan masing-masing bakteri. Bakteri genus *Bacillus* memiliki kemampuan mendegradasi terbanyak. Berat minyak awal sebelum dilakukan uji biodegradasi sebesar 241,74g, bakteri *Bacillus* mampu mendegradasi sebanyak 74,71%. Sedangkan bakteri *Enterobacter* merupakan bakteri yang dapat mendegradasi dalam jumlah terkecil. Bakteri *Enterobacter* dapat mendegradasi sejumlah 73,39%. Isolat bakteri yang berhasil diisolasi memiliki kemampuan yang hampir sama dalam mendegradasi minyak

solar berdasarkan persentase pengurangan jumlah minyak solar setelah dilakukan uji biodegradasi.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan biodegradasi oleh bakteri hidrokarbonoklasti menggunakan gravimetri berdasarkan rumus.

Genus Isolat	Perhitungan		
	Berat minyak awal (Bmo)	Berat minyak akhir (Bmn)	Persentase mendegradasi
<i>Bacillus</i>	241,74 g	61,1288 g	74,71%
<i>Enterobacter</i>	241,74 g	64,314 g	73,39%
<i>Micrococcus</i>	241,74 g	63,6241 g	73,68%
<i>Klebsiella</i>	241,74 g	62,4988 g	74,14%
<i>Pseudomonas</i>	241,74 g	61,7949 g	74,43%

Seluruh bakteri hasil pengamatan dapat menunjukkan kemampuannya dalam mendegradasi solar. Menurut Nugroho (2006) bakteri hidrokarbonoklastik merupakan kelompok bakteri pendegradasi senyawa alkana karena kemampuannya dalam mendegradasi fraksi alifatik. Menurut Siregar (2009) bahwa senyawa alkana merupakan komponen dari minyak solar terbesar. Minyak solar mengandung komponen alkana sejumlah 76 % dengan rantai karbon lurus sehingga mudah terdegradasi oleh bakteri.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil isolasi di Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang diperoleh 5 isolat bakteri hidrokarbonoklastik yang berpotensi mampu mendegradasi minyak solar serta memiliki karakteristik berbeda, dengan kode isolat BL4A2, BL4A3, BL4A4, BL4B1, BL4B2. Hasil karakterisasi secara makroskopis, makroskopis maupun uji biokimia menunjukkan bahwa isolat BL4A2 merupakan bakteri genus *Bacillus*, isolat BL4A3 merupakan genus *Micrococcus*, isolat BL4A4 merupakan bakteri genus *Enterobacter*, isolat BL4B1 merupakan genus *Klebsiella* dan isolat BL4B2 merupakan bakteri genus *Pseudomonas*.
2. Berdasarkan proses uji biodegradasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa kelima isolat bakteri mampu mendegradasi minyak solar. Berdasarkan hasil visual terhadap media cair SMSSe, kelima bakteri dapat merubah kekentalan solar pada media cair, kekeruhan media cair, perubahan warna maupun perubahan-perubahan lain. Hasil uji gravimetri menunjukkan bakteri isolat BL4A2 merupakan bakteri yang dapat mendegradasi minyak solar terbanyak, yaitu 89 % dengan jumlah minyak terdegradasi sebanyak 2,67 g. Dilanjutkan dengan isolat BL4B2 yang dapat mendegradasi sebanyak 79 %, isolat BL4B1 sejumlah 74 %, isolat BL2A3 67 % dan BL4A4 61 %..

5.2 Saran

Saran yang dapat diuraikan berdasarkan kesimpulan diatas yaitu:

1. Dapat dilakukan karakterisasi bakteri secara molekuler agar diketahui klasifikasi bakteri hingga tingkat spesies.
2. Dapat dilakukan uji lanjut GCMS untuk mengetahui jenis enzim yang dikeluarkan bakteri dalam mendegradasi minyak solar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, Steve L. Strete, D. Niles, M.J. 2004. *Laboratory Exercise In Organismal and Molekular Microbiology*. New York : The Mc. Grew Hill.
- Alpentri. 1999. Evaluasi Kemampuan Isolat Jamur dan Salah Satu Sumur Minyak Bumi Minas dalam Mendegradasi Minyak Bumi. Tesis. ITB Bandung.
- Andina, Fika. 2014. Biodegradasi Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) dengan Bakteri Penghasil Biosurfaktan Asal Air Laut dan Sedimen Pantai Karangsong Kabupaten Indramayu Jawa Barat. *Skripsi*. Universitas Padjadjaran Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Program Studi Ilmu Kelautan Jatinangor.
- Anggreani dan Fida Rachmadiarti. 2021. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada *Padina australis* di Pantai Sendangbiru Malang. *Jurnal Lentera Bio*. Vol 10. No.1.
- Anonim E. 2004. SNI 06-6989.10-2004. Cara Uji Minyak dan Lemak. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. Halaman 2.
- APHA. 1981. *Standart and Method 7th Edition*. California: Cumming Publishing Company Inc.
- Arifin, A.R. 2006. *Perencanaan Daya Mesin Kapal Icab yang Telah Dilengkapi Cold Storage untuk Daerah Sendan Biru*. www.mysciencework.com. Diakses pada tanggal 12 Agustus 2021.
- Astuti, Dwi. 2012. Pengaruh Variasi Jumlah Inokulum Konsorsium Bakteri Terhadap Degradasi Hidrokarbon Minyak Bumi. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Program Studi Biologi. Universitas Indonesia : Depok
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2013. Data Statistik Indeks Produksi Perikanan Menurut Provinsi. Jakarta: Pusat Data Statistika.
- Cappucino, JG dan Sherman N. 1983. *Microbiology a Laboratory Manual 4 ed* Menlo Park : Addison-Wesley Publ. Company. Inc.
- Departemen Kelautan dan Perikanan. Direktorat Jendral Perikanan Tangkap. 2020. *Klasifikasi Jenis Ikan Air Perairan Umum*. Deplutkan. Jakarta.

- Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP). 2012. Statistik Perikanan Budidaya Indonesia. Jakarta: Direktorat Jendral Perikanan Budidaya.
- Dwidjoseputro, D. 1989. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Surabaya: Djambatan.
- Ernawati dan Saharnauli J. Verawaty S. 2011. Kultur Jaringan. Praktikum.
- Feliatra. 2001. Buku Ajar Mikrobiologi Laut. Pusat Penelitian Kawasan Pantai dan Perairan. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Gouma, S., Fragoeiro, S., Bastos, A.C. and Magan, N. 2014. Bacterial and Fungal Bioremediation Strategies. *Journal of Biodegradation and Bioremediation*. Vol. 13.
- Greenberg, E. A., Clescert, S. L., and Eaton, D. A. 1992. *Examination of Water and Wastewater*. Standard Methods 18th Edition. 412-418. Washington: American Public Health Association.
- Hadi, A. 2011. Bioremediasi Oil Sludge oleh Konsorsium Mikroba Hidrokarbonoklastik dengan Penambahan Bulking Agent. *Skripsi*. Departemen Biologi FSAINTEK Universitas Airlangga, Surabaya.
- Handartoputra, A., Purwanti, F., Hendrarto, B. 2015. Penilaian Kerentanan Pantai di Sendangbiru Kabupaten Malang Terhadap Variabel Oceanografi Berdasarkan Metode CVI. *Management of Aquatic Resources*. 4(1).
- Hasyimuddin, M. Natsir Djide dan M. Farid Samawi. 2016. Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar Dari Perairan Teluk Pare-Pare. *Jurnal Ilmiah Bogensis*. Vol 4, No.1.
- Herdiantoro, D. 2005. Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi oleh *Bacillus* sp. Galur ICBB 7859 dan ICBB 7865 dari Ekosistem Air Hitam Kalimantan Tengah dengan Penambahan Surfaktan. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian. Bogor.
- Hermawan, D. 2002. *Penelitian Potensi Sumberdaya Perikanan Laut di Kabupaten Malang*. Laporan Penelitian Jurusan Perikanan. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Hidayat, Nur; Masiana Padaga dan Sri Suhartini. 2006. Mikrobiologi Industri. ANDI. Yogyakarta.

- Ismail, Hadija Enryani, Nursia La Nafie, dan Seniwati Dali. 2015. Isolasi Bakteri Pendegradasi Senyawa Piren dari Perairan Pelabuhan Paotere. *Jurnal Techno*. Vol. 4 No. 2.
- Kristyarini, A.S & Soekirno. 2015. Konsep Ekologi-Teknik Pada Perancangan Resort di Pantai Sendangbiru Malang. *Jurnal Arsitektur*. 3(1).
- Kussuryani Y. 2003. *Penelitian Pengaruh Nutrisi Terhadap Biodegradasi Limbah Cair Kilang Minyak*. Jakarta: Lembaran publikasi lemigas 37: 2.
- Lawrence, D.1998. *Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. (Alih Bahasa: Mack.T dan Anggraeni, MS). USAID. Departement Environment.
- Lay, Bibiana, W. 1994. *Analisis Mikroba di Laboratorium*. Jakarta: PT Grasindo Persada.
- Mac. Faddin, J.F. 1980. *Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria*, Second Edition. Baltimore. William and Wilkins.
- Mahmudah, Rafiah ; Miswati Bahruddin dan Sappewali, 2016. Identifikasi Isolat Bakteri Termofilik dari Sumber Air Panas Lejja, Kabupaten Soppeng. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Alauddin Makasar. Makasar.
- Mangkoedihardjo S. 2005. Seleksi Teknologi Pemulihan untuk Ekosistem Laut Tercemar Minyak. *Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan ITS*. Surabaya.
- Misran, Erni. 2002. Aplikasi Teknologi Berbasiskan Membran dalam Bidang Bioteknologi Kelautan: Pengendalian Pencemaran. Program Studi Teknik Kimia. Universitas Sumatera Utara.
- Mukhtasor. 2006. *Pencemaran Pesisir dan Laut*. PT Paradnya Paramita, Jakarta.
- Nababan, B. 2008. Isolasi dan Uji Potensi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar dari Laut Belawan. *Tesis*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Notodarmojo, Suprihanto. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Departemen Teknik Lingkungan : ITB Bandung.
- Nugroho, Astri, Effendi, E. & Fiona, A. (2007). Pertumbuhan Konsorsium Isolat Bakteri Asal Benakat pada Media Minyak Bumi Bersalinitas Tinggi: Studi

- Kasus Biodegradasi Minyak Bumi Skala Laboratorium. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol 8. No. 2.
- Nugroho, Astri. 2007. Dinamika Populasi Konsorsium Bakteri Hidrokarbonoklastik: Studi Kasus Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Skala Laboratorium. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol.8 No.1.
- Nurhayati, Sri, Faturrahman, Mursal Ghazali. 2015. Deteksi Bakteri Patogen yang Berasosiasi dengan *Kappaphycus alvarezii* Bergejala Penyakit Ice-ice. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. Vol 1. No.2.
- Nurjannah, Ika. 2018. Uji Potensi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar Di Perairan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. *Skripsi*. Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Oetomo, Dwi. 2015. Biodegradasi Minyak Bumi oleh Mikroba pada Media Air Laut dan Air Tawar. *Jurnal Bio-Pendidikan*. Vol 4. No.1.
- Pelczar, Michael J. ESC. Chan.2008. Dasar-Dasar Mikrobiologi. Jakarta. UI Press.
- Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun.
- Permanawati Y, Rina Z, Andrian I. 2013. Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr) dalam Air dan Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Geologi Kelautan*. 11(1): 9-16.
- Pertamina, 2005. Industrial Diesel Oil (Minyak Diesel). Diakses tanggal 17 September 2020. <http://www.pertamina.com/indonesia/headoffice/hilirppdn/product/prdsolar.html>.
- Priadie, Bambang. 2012. Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol.10. No1.
- Purwoko, T. 2007. *Fisiologi Mikroba*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Puspitasari, Melya. 2020. Peranan Bakteri Sebagai Remediator Dalam Proses Degradasi Limbah Oli Bekas Kendaraan Bermotor. *Skripsi*. Fakultas Pendidikan Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia Bandung.
- R.E.Buchanan dan N.E. Gibbons.1974. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition*.

- Ristiati, Ni Putu. 2013. Uji Kemampuan isolat Bakteri Pendegradasi Minyak Solar Terhadap Limbah Oli dari Perairan Pelabuhan Celukan Bawang. *Seminar Nasional FMIPA Undiksha III*. Bali.
- Robert S. Breed, E.G.D. Murray and Nathan R. Smith. 1989). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition*. The Williams and Wilkins Company. United State of America.
- Rohmah, Nita Shilfiani. 2017. Isolasi dan Identifikasi Bakteri yang Berpotensi Sebagai Agen Bioremediasi Timbal (Pb) dari Lumpur Lapindo. *Skripsi*. Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Sharpley, J.M. 1996. *Elementary Petroleum Microbiology*. Texas. Gulf Publishing Company.
- Shihab, M. Q. 2003. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Siregar, Sri Rahmawaty. 2009. Isolasi dan Uji Potensi Khamir Pendegradasi Minyak Solar dari Air Laut Belewani. *Tesis*. Pascasarjana Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Suhendra, Ahmad. 2013. Menelisik Ekologis dalam Al-qur'an. *Esensia*. Vol.XIV No.1
- Sulistiyono I. 2012. Dampak Tumpahan Minyak (*Oil Spill*) di Perairan Laut Pada Kegiatan Industri Migas Dan Metode Penanggulangannya. *In Forum Teknologi*. Vol.3 No.1.
- Surendra, Nyoman, 1991. Buku Pedoman Mikrobiologi Lingkungan Departemen Kesehatan. Jakarta.
- Suryani, Irma dan Kotijah, Siti. 2013. Kajian Islam Dalam Masalah Lingkungan Hidup di Kota Samarinda. *Risalah Hukum Fakultas Hukum Unmul*. Vol. 9. No. 1. Kalimantan Timur.
- Trikurniadewi, Nastiti. 2015. Biodegradasi Naftalen. Dan Fenantren oleh Bacillus Subtilis. *Thesis*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Trinanda, Ricky. 2015. Efektivitas Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon Minyak Berat yang Diisolasi dari Ekosistem Air Hitam Tanjung Jabung Timur, Jambi. *Skripsi*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Vidali, M. 2011. *Bioremediation. An overview*. Pure Appl. Chem. 73:1163–1172.
- Yudono, Bambang ; Sri Pertiwi Estuningsih ; M. Said dan Sabaruddin. 2013. Eksplorasi Bakteria Indigen Pendegradasi Limbah Minyak Bumi di Wilayah PT Pertamina UBEP Limau Muara Enim. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Yulvizar, Cut. 2013. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Probiotik pada *Rastrelliger* sp. *Biospecies*. Universitas Syiah. Vol.6. No.2.
- Zam, Syukira Ikhsan. 2011. Bioremediasi Tanah Yang Tercemar Limbah Pengilangan Minyak Bumi Secara In Vitro Pada Konsentrasi Ph Berbeda. *Jurnal Agroteknologi*. Vol 1. No.2.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Nilai OD Bakteri Pada Media Uji dan Kontrol

Kode isolate	Waktu							
	0 jam	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam	120 jam	144 jam	168 jam
BL4A2 uji	0,07	1,21	1,34	2,53	2,22	2,04	1,92	1,61
Kontrol	0,07	0,19	0,31	0,75	0,93	1,12	1,21	1,33
BL4A3	0,07	0,15	0,31	0,43	0,59	0,82	0,39	0,25
Kontrol	0,07	0,089	0,17	0,20	0,23	0,36	0,39	0,30
BL4A4 uji	0,07	0,14	0,29	0,37	0,56	0,41	0,36	0,15
Kontrol	0,07	0,09	0,17	0,19	0,20	0,22	0,21	0,15
BL4B1 uji	0,07	0,17	1,19	2,14	1,73	1,60	1,57	1,48
Kontrol	0,07	0,09	0,19	0,31	0,64	1,18	1,16	1,11
BL4B2 uji	0,07	1,18	1,28	2,15	1,84	1,75	1,68	1,66
Kontrol	0,07	0,18	0,34	0,6	0,93	1,49	1,45	1,39

Lampiran 2 Hasil Perhitungan

a. Bakteri Genus *Bacillus*

Bmo (berat awal sebelum proses gravimetri)
Berat beaker glass + solar = 241,74g

Bmn (berat akhir setelah proses gravimetri)
Beaker glass + minyak : 61, 1288 g

$$\%B = \frac{(Bmo - Bmn)}{Bmo} \times 100 \text{ (Herdiyantoro, 2005)}$$

$$\%B = \frac{(241,74g - 61,1288g)}{241,74g} \times 100\% = 74,71\%$$

Persentase hasil biodegradasi : 74,71%

b. Bakteri Genus *Enterobacter*

Bmo (berat awal sebelum proses gravimetri)
Berat beaker glass + solar = 241,74g

Bmn (berat akhir setelah proses gravimetri)
Beaker glass + minyak : 64,314 g

$$\%B = \frac{(Bmo - Bmn)}{Bmo} \times 100 \text{ (Herdiyantoro, 2005)}$$

$$\%B = \frac{(241,74g - 64,314g)}{241,74g} \times 100\% = 73,39\%$$

c. Bakteri Genus *Micrococcus*

Bmo (berat awal sebelum proses gravimetri)
Berat beaker glass + solar = 241,74g

Bmn (berat akhir setelah proses gravimetri)

Beaker glass + minyak : 63,6241g

$$\%B = \frac{(B_{mo} - B_{mn})}{B_{mo}} \times 100 \text{ (Herdiyantoro, 2005)}$$

$$\%B = \frac{(241,74g - 63,6241g)}{241,74g} \times 100\% = 73,68\%$$

Persentase hasil biodegradasi : 73,68 %

d. Bakteri Genus *Klebsiella*

B_{mo} (berat awal sebelum proses gravimetri)

Berat beaker glass + solar = 241,74g

B_{mn} (berat akhir setelah proses gravimetri)

Beaker glass + minyak : 62,4988g

$$\%B = \frac{(B_{mo} - B_{mn})}{B_{mo}} \times 100 \text{ (Herdiyantoro, 2005)}$$

$$\%B = \frac{(241,74g - 62,4988g)}{241,74g} \times 100\% = 74,14\%$$

Persentase hasil biodegradasi : 74,14 %

e. Bakteri Genus *Pseudomonas*

B_{mo} (berat awal sebelum proses gravimetri)

Berat beaker glass + solar = 241,74g

B_{mn} (berat akhir setelah proses gravimetri)

Berat beaker glass + solar : 61,7949g

$$\%B = \frac{(B_{mo} - B_{mn})}{B_{mo}} \times 100 \text{ (Herdiyantoro, 2005)}$$

$$\%B = \frac{(241,74g - 61,7949g)}{241,74g} \times 100\% = 74,43\%$$

Persentase hasil biodegradasi : 74,43%



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558933, Fax. (0341) 558933

KARTU KONSULTASI SKRIPSI

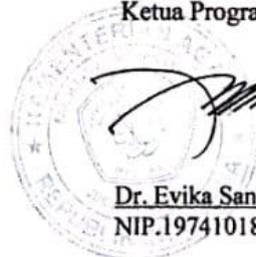
Nama : Ibrohim
NIM : 16620124
Program Studi : S1 Biologi
Semester : Ganjil TA 2021/2022
Pembimbing : Bayu Agung Prahardika, M.Si
Judul Skripsi : Uji Biodegradasi Minyak Solar Oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik dari Pantai Sendangbiru Kabupaten Malang

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1	14 Juni 2021	Konsultasi Konsep dan metode penelitian	
2	17 Agustus 2021	Konsultasi BAB I, II, III dan IV	
3	11 Oktober 2021	Revisi BAB I, II, III dan IV	
4	19 Oktober 2021	Revisi BAB I, II, III dan IV	
5	3 November 2021	Revisi BAB I, II, III dan IV	
6	8 November 2021	Revisi BAB I, II, III dan IV	
7	11 November 2021	ACC BAB I, II, III, IV	
8			
9			
10			
11			

Pembimbing Skripsi,

Bayu Agung Prahardika, M.Si
NIP. 199008072019031011

Malang,
Ketua Program Studi,



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP.197410182003122002



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA
MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341)
558933

Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email:
biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi Skripsi

Nama : IBROHIM

NIM : 16620124

**Judul : UJI BIODEGRADASI MINYAK SOLAR OLEH ISOLAT
BAKTERI HIDROKARBONOKLASTIK DARI PANTAI
SENDANGBIRU KABUPATEN MALANG**

No	Tim Cek Plagiasi	Tgl Cek	Skor Plagias	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc			
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc			
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si	18 Nov 2021	100%	
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc			

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi,

Dr. Evika Sandi Savitri, M.P

NIP. 197410182003122002

