

**KEMAMPUAN EMULSIFIKASI BAKTERI LAUT PENDEGRADASI
HIDROKARBON ASAL KOLOM AIR PELABUHAN CAPP A UJUNG
PAREPARE PADA MEDIA PERTUMBUHAN
MENGANDUNG PETROLEUM**



**AMELYA MADANI PUTRI
H041 20 1081**



**Optimization Software:
www.balesio.com**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FASULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITASA HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**KEMAMPUAN EMULSIFIKASI BAKTERI LAUT PENDEGRADASI
HIDROKARBON ASAL KOLOM AIR PELABUHAN CAPP A UJUNG
PAREPARE PADA MEDIA PERTUMBUHAN
MENGANDUNG PETROLEUM**

**AMELYA MADANI PUTRI
H041 20 1081**



Optimization Software:
www.balesio.com

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**KEMAMPUAN EMULSIFIKASI BAKTERI LAUT PENDEGRADASI
HIDROKARBON ASAL KOLOM AIR PELABUHAN CAPP A UJUNG
PAREPARE PADA MEDIA PERTUMBUHAN
MENGANDUNG PETROLEUM**

AMELYA MADANI PUTRI
H041 20 1081

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Biologi

pada



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
DEPARTEMEN BIOLOGI
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**KEMAMPUAN EMULSIFIKASI BAKTERI LAUT PENDEGRADASI
HIDROKARBON ASAL KOLOM AIR PELABUHAN CAPP UJUNG
PAREPARE PADA MEDIA PERTUMBUHAN MENGANDUNG
PETROLEUM****AMELYA MADANI PUTRI****H041 20 1081**

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Biologi pada 02 Mei 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Biologi
Departemen Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Dirayah R Husain, DEA.
NIP. 196005251986012001

Pembimbing Pertama,

Prof. Dr. Fahrudin, M. Si.
NIP. 196509151991031002



Optimization Software:
www.balesio.com



Mengetahui:
Ketua Program Studi

Dr. Magdalena Litaay, M. Sc.
NIP. 196409291989032002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Kemampuan Emulsifikasi Bakteri Laut Asal Kolom Air Pelabuhan Cappa Ujung Parepare pada Media Petumbuhan Mengandung Petroleum" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Dirayah R Husain, DEA. sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Fahrudin, M. Si. sebagai Pembimbing Pertama). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 6 April 2024



Amelya Madani Putri
H041 20 1081



UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dan menyusun skripsi yang berjudul **Kemampuan Emulsifikasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Asal Kolom Air Pelabuhan Cappa' Ujung Parepare Pada Media Pertumbuhan Mengandung Petroleum**. Shalawat dan salam penulis haturkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan kita sepanjang zaman. Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Selain itu, skripsi ini juga diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan peneliti lain untuk menambah wawasan dalam bidang biologi khususnya mikrobiologi.

Proses penyelesaian skripsi ini merupakan suatu rangkaian perjuangan yang cukup panjang bagi penulis. Berbagai hambatan penulis alami dalam penyusunan skripsi ini. Berkat bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga besar terkhusus kepada kedua orang tua, Ayahanda Ahmad Rauf dan Ibunda Suriani serta saudara Penulis, Alfian Madani Putra, Muhammad Zahid Madani, dan Najib Mar'iy Madani. Terima kasih atas dukungan yang telah diberikan kepada penulis baik moril maupun materil serta lantunan doa yang selalu dicurahkan kepada penulis. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, keberkahan, nikmat iman, serta karunia di dunia maupun akhirat.

Penulis menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya dan banyak terima kasih kepada Ibu Prof. Dr. Dirayah Rauf Husain, DEA. selaku pembimbing utama dan Bapak Prof. Dr. Fahrudin, M.Si. selaku pembimbing pertama atas kesediannya yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan motivasi kepada Penulis, mulai dari awal penyusunan sampai penyelesaian skripsi ini. Pada kesempatan ini pula, dengan segala kerendahan hati Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Si., selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya.
2. Bapak Dr. Eng Amiruddin, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf yang telah membantu dalam hal akademik dan administrasi.



na Litaay, M.Sc. selaku Ketua Departemen Biologi Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis mengucapkan terima kasih atas ilmu, masukan, saran dan dukungannya.

Suriani, S.Si., M.Sc. selaku Penasehat Akademik (PA) yang telah memberikan arahan, dukungan dan bimbingan dari awal masa studi

hingga penyusunan skripsi ini dan Bapak Dr. Ir. Slamet Santosa, M.Si. selaku dosen penguji, terima kasih atas segala arahan dan saran yang diberikan kepada Penulis demi kesempurnaan skripsi ini.

5. Bapak/Ibu Dosen Departemen Biologi yang telah membimbing dan memberikan ilmunya kepada Penulis, baik pada waktu perkuliahan maupun pada saat penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
6. Kak Fuad Gani S.Si. selaku Laboran Mikrobiologi, terima kasih atas bimbingan, saran dan ilmunya selama proses perkuliahan, penelitian, hingga penyusunan skripsi ini
7. Siti Aulia Adila, Suci Wulandari, dan Nur Ulfika, selaku partner penelitian dan teman perjuangan semasa kuliah, yang selalu menemani dan memotivasi mulai dari awal masa studi hingga sekarang.
8. Sahabat-sahabat Penulis, terima kasih atas dukungan, bantuan, do'a dan kebersamaanya selama proses perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini, terkhusus kepada Yusniar, Nur Azizah Azzahra, Putri Awaliah A., dan Thahirah Lutfiani.
9. Teman-teman seperjuangan Biologi Angkatan 2020, terima kasih atas do'a, dukungan, bantuan, dan kebersamaanya selama perkuliahan, terkhusus kepada Sarwan, Andi Alfhito Ardiansyah, Dodi Setiawan, Doni, Ahmad Nurfakhry Salim, Muhammad Rizal Udin, dan Dzulfaida Rajasa yang telah banyak membantu selama penelitian dan penyusunan skripsi.
10. Seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga segala kebaikan yang diberikan dari berbagai pihak kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dapat bernilai ibadah di sisi Allah SWT. Akhir kata, penulis memohon maaf atas kesalahan yang disengaja maupun tidak disengaja dalam rangkaian penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Makassar, 6 April 2024

Amelya Madani Putri



ABSTRAK

AMELYA MADANI PUTRI. **Kemampuan emulsifikasi bakteri laut pendegradasi hidrokarbon asal kolom air pelabuhan cappa' ujung parepare pada media pertumbuhan mengandung petroleum** (dibimbing oleh Dirayah Rauf Husain dan Fahrudin).

Latar Belakang. Sumber energi di Indonesia masih didominasi menggunakan bahan bakar dari fosil seperti minyak bumi. Minyak bumi terdiri dari senyawa kompleks hidrokarbon. Dalam penggunaan minyak bumi seringkali terjadi kesalahan yang menyebabkan tumpahan minyak dan mengakibatkan kerusakan lingkungan. Pendekatan bioremediasi yang menggunakan mikroorganisme sebagai agen biologis untuk menguraikan bahan pencemar seperti hidrokarbon telah menjadi metode yang aman dan efektif dalam mengatasi pencemaran lingkungan perairan akibat tumpahan minyak. Di Indonesia, terutama di Sulawesi Selatan, perairan Pelabuhan Cappa' Ujung Parepare telah tercemar oleh hidrokarbon akibat tumpahan minyak yang terjadi selama bertahun-tahun. **Tujuan.** Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan degradasi hidrokarbon petroleum isolat bakteri yang berasal dari Pelabuhan Cappa' Ujung Parepare. **Metode.** Sampel bakteri yang telah diisolasi diuji kemampuan tumbuhnya serta kemampuan biodegradasinya dengan metode uji indeks emulsifikasi dan uji penurunan tegangan permukaan. **Hasil.** Berdasarkan penelitian, diperoleh hasil waktu generasi yang diperlukan isolat bakteri KA1 ialah 62 jam 4 menit, dengan presentase indeks emulsifikasi sebesar 80% dan nilai penurunan tegangan permukaan sebesar 27,4 dyne/cm. Sementara itu, waktu generasi yang diperlukan isolat bakteri KA2 ialah 52 jam 8 menit, dengan presentase indeks emulsifikasi sebesar 74,28% dan nilai penurunan tegangan permukaan sebesar 28,1 dyne/cm. **Kesimpulan.** Setelah dilakukan tahap uji, diketahui bahwa kedua isolat uji memiliki kemampuan tumbuh dan kemampuan degradasi hidrokarbon yang baik.

Kata kunci: emulsifikasi; hidrokarbonoklastik; minyak bumi; Pelabuhan Cappa Ujung Parepare; tegangan permukaan.



ABSTRACT

AMELYA MADANI PUTRI. **Emulsification ability of hydrocarbon-degrading marine bacteria from the water column of Cappa Ujung harbor Parepare on growth media containing petroleum** (supervised by Dirayah Rauf Husain dan Fahrudin)

Background. Energy sources in Indonesia are still dominated by fossil fuels such as petroleum. Petroleum consists of complex hydrocarbon compounds. In the use of petroleum, there are often mistakes that cause oil spills and cause environmental damage. The bioremediation method that uses microorganisms as biological agents to decompose contaminants such as hydrocarbons has become a safe and effective method in overcoming pollution of the aquatic environment caused by oil spills. In Indonesia, especially in South Sulawesi, the waters of Cappa' Ujung Parepare Harbor have been polluted by hydrocarbons as a consequence of oil spills that have occurred over the years. **Aim.** This research was conducted to determine the ability of petroleum hydrocarbon degradation of bacterial isolates from Cappa' Ujung Parepare Harbor. **Method.** The bacterial samples that have been isolated were tested for their growth ability and biodegradability using the emulsification index test and surface tension reduction test. **Result.** Based on the research, the generation time required by bacterial isolate KA1 was 62 hours 4 minutes, with an emulsification index percentage of 80% and a surface tension reduction value of 27.4 dyne/cm. Meanwhile, the generation time required by bacterial isolate KA2 was 52 hours and 8 minutes, with an emulsification index percentage of 74.28% and a surface tension reduction value of 28.1 dyne/cm. **Conclusion.** After the experiment, both isolates showed growth ability and hydrocarbon degradation ability.

Keywords: emulsification; hydrocarbonoclastic; petroleum; Cappa Ujung Parepare Harbor; surface tension



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	2
1.4 Subteori	3
1.4.1 Hidrokarbon Petroleum	3
1.4.2 Biodegradasi Hidrokarbon Petroleum	6
1.4.3 Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	6
1.4.4 Mekanisme Biodegradasi Hidrokarbon Petroleum	7
1.4.5 Biosurfaktan	8
BAB II METODE PENELITIAN	9
2.1 Tempat dan Waktu	9
2.2 Alat dan Bahan	9
2.2.1 Alat	9
2.2.1 Bahan	9
2.2.1 Media	9
2.2.1 Kultur	10
2.2.1 Kultur	10



2.3.4.1 Pengukuran Kurva Pertumbuhan	10
2.3.4.2 Uji Indeks Emulsifikasi.....	10
2.3.4.3 Uji Tegangan Permukaan.....	10
2.4 Analisis Data	11
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	12
3.1 Tahap Prakultur.....	12
3.2 Tahap Kultur.....	14
3.3 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri	19
3.4 Uji Indeks Emulsifikasi	22
3.5 Uji Tegangan Permukaan	24
BAB IV PENUTUP	27
4.1 Kesimpulan	27
4.2 Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	28



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Hasil pengamatan secara visual kondisi prakultur isolat KA1 selama masa inkubasi.....	13
2. Hasil pengamatan secara visual kondisi prakultur isolat KA2 selama masa inkubasi.....	14
3. Hasil pengamatan secara visual kondisi kultur isolat KA1 selama masa inkubasi	14
4. Hasil pengamatan secara visual kondisi kultur isolat KA2 selama masa inkubasi	17



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Cemarannya tumpahan minyak di laut.....	3
2. Dampak cemaran tumpahan minyak terhadap makhluk hidup	4
3. Struktur kimia minyak mentah	4
4. Mekanisme biodegradasi hidrokarbon petroleum oleh bakteri hidrokarbnoklastik	7
5. Pertumbuhan isolat bakteri KA1 pada media ALS; (a) kondisi media awal masa inkubasi (T0) (b) kondisi media pada hari ke-empat (T4) dan (c) kondisi media pada akhir masa inkubasi (T7)	12
6. Pertumbuhan isolat bakteri KA2 pada media ALS; (a) kondisi media awal masa inkubasi (T0) (b) kondisi media pada hari ke-empat (T4) dan (c) kondisi media pada akhir masa inkubasi (T7)	13
7. Pertumbuhan isolat bakteri KA1 pada media ALS dengan penambahan petroleum.....	16
8. Pertumbuhan isolat bakteri KA2 pada media ALS dengan penambahan petroleum.....	18
9. Grafik kurva pertumbuhan bakteri isolat KA1	20
10. Grafik kurva pertumbuhan bakteri isolat KA2.....	21
11. Grafik indeks emulsifikasi isolat KA1	22
12. Grafik indeks emulsifikasi isolat KA2.....	23
13. Hasil uji emulsifikasi isolat KA1 dan isolat KA2.....	24
14. Grafik penurunan tegangan permukaan isolat KA1	25
15. Grafik penurunan tegangan permukaan isolat KA2	25



DAFTAR LAMPIRAN

Tabel	Halaman
1. Alur Penelitian.....	32
2. Proses Pembuatan Media dan Nutrisi Tambahan.....	33
3. Penumbuhan Isolat Bakteri pada Media Cair (ALS)	34
4. Proses Uji Kurva Pertumbuhan, Indeks Emulsifikasi, dan Penurunan Tegangan Permukaan	37
5. Tabel Data Kurva Pertumbuhan, Hasil Uji Indeks Emulsifikasi, dan Hasil Uji Penurunan Tegangan Permukaan	39



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi di Indonesia masih didominasi menggunakan bahan bakar dari fosil seperti minyak bumi. Bahan bakar seperti ini digunakan di sektor industri, komersial, dan transportasi kapal, yang jumlahnya meningkat setiap tahunnya. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan permintaan minyak bumi setiap tahun untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar minyak. Dalam penggunaan dan transportasinya, seringkali terjadi tumpahan minyak secara tidak sengaja dan mencemari lingkungan perairan. Tumpahan minyak bumi di laut semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsumsi minyak bumi untuk industri, komersial dan transportasi kapal. Potensi tumpahan minyak di laut di antaranya berasal dari kebocoran ataupun tumpahan ladang minyak bawah laut dan transportasi laut (Chicca dkk., 2022).

Pencemaran lingkungan perairan oleh tumpahan minyak menjadi perhatian utama dalam peningkatan kualitas lingkungan dan kesehatan manusia. Minyak bumi utamanya terdiri dari hidrokarbon kompleks dan beberapa senyawa organik seperti nitrogen, oksigen, sulfur dan logam dalam jumlah yang kecil. Penyusun hidrokarbon petroleum terdiri dari alkana, sikloalkana, aromatik, dan hidrokarbon poliaromatik (PAH) yang bersifat karsinogenik dan neurotoksik serta berbahaya bagi lingkungan dan manusia (Atlas dan Terry, 2011). Tumpahan minyak di lingkungan perairan dapat berdampak pada kematian organisme, perubahan reproduksi dan tingkah laku organisme, dampak terhadap plankton, dampak terhadap ikan migrasi, dampak pada kegiatan budidaya perikanan dan kerusakan ekosistem (KKP), serta kawasan wisata bahari dan Pelabuhan yang dapat menyebabkan aktivitasnya berhenti (Li dkk., 2017).

Tumpahan minyak di laut akan mengalami fotooksidasi, evaporasi, emulsifikasi, disolusi, adsorpsi, sedimentasi, dan degradasi yang terjadi secara alami. Namun, frekuensi tumpahan minyak yang berlebih menyebabkan beban pencemaran lingkungan lebih besar dibandingkan proses degradasi zat pencemar secara alami, sehingga dibutuhkan solusi dengan bantuan manusia yang memanfaatkan teknologi yang ada untuk mengatasi pencemaran yang terjadi (Rehman dkk., 2021). Eliminasi bahan pencemar tersebut dapat dilakukan secara fisika-kimiawi, maupun biologi. Secara fisika-kimiawi dapat dilakukan dengan pengumpulan lapisan minyak dan penggunaan dispersan bahan kimia sebagai pengemulsi. Namun cara tersebut dinilai berbahaya dan tidak efisien karena dapat

menyebabkan kerusakan lingkungan dan menyebabkan kerusakan lainnya. Penanggulangan secara biologi dinilai lebih aman dan efisien, Biodegradasi merupakan penanggulangan limbah atau dengan bantuan mikroorganisme sebagai agen biologis untuk dan pencemar seperti hidrokarbon menjadi senyawa a. Biodegradasi merupakan metode yang aman dan efektif n mikroorganisme yang secara alamiah sudah berada di



lingkungan dan tidak menggunakan atau menambahkan bahan kimia dalam prosesnya (Rehman dkk., 2021).

Dalam kemampuannya mendegradasi hidrokarbon, bakteri menggunakan 3 mekanisme utama yaitu *adherence*, emulsifikasi, dan solubilisasi (Husain dkk., 1997). Bioremediasi sebagai teknologi inovatif dalam pengolahan limbah dapat menjadi alternatif dalam menangani pencemaran akibat tumpahan minyak di perairan laut Indonesia (khususnya Sulawesi Selatan).

Berbagai studi tentang biodegradasi hidrokarbon petroleum menunjukkan keberadaan suatu senyawa yang dihasilkan oleh bakteri pendegradasi hidrokarbon, yang dinamakan biosurfaktan (Atlas, 1981). Biosurfaktan memainkan peranan penting dalam biodegradasi hidrokarbon petroleum pada proses emulsifikasi dan solubilisasi yang memungkinkan terjadinya kontak antar sel mikroorganisme dengan hidrokarbon petroleum dengan cara menurunkan tegangan permukaan antara hidrokarbon dan air (Husain dkk., 1997).

Berbagai penelitian telah mengungkapkan kemampuan biodegradasi hidrokarbon oleh bakteri dan kemampuannya dalam menghasilkan biosurfaktan. Hal ini menjadi tantangan untuk dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai biodegradasi di berbagai daerah yang terkontaminasi hidrokarbon petroleum guna mencari dan mengembangkan isolat yang lebih unggul dalam mendegradasi hidrokarbon petroleum. Beberapa perairan di Sulawesi Selatan merupakan daerah yang tercemar hidrokarbon, salah satunya Pelabuhan Cappa Ujung Parepare. Tumpahan minyak pada permukaan perairan sebagai hasil buangan atau bersih-bersih kapal yang berlalu-lalang atau bersandar di Pelabuhan Cappa Ujung Parepare selama bertahun-tahun dapat memicu keberadaan dan pertumbuhan beragam bakteri pendegradasi hidrokarbon di perairan tersebut.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya yang bertujuan mengisolasi bakteri pendegradasi dari Pelabuhan Cappa Ujung Parepare secara *in vitro*. Isolat bakteri yang diperoleh digunakan untuk uji lanjut terkait kemampuan emulsifikasi hidrokarbon. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan pengujian kemampuan emulsifikasi hidrokarbon petroleum dari bakteri selama pertumbuhan.

1.2 Tujuan

1. Mengetahui kemampuan emulsifikasi dari senyawa pengemulsi yang dihasilkan bakteri pendegradasi hidrokarbon petroleum asal kolom air Pelabuhan Cappa Ujung Parepare selama pertumbuhan.
2. Mengetahui kemampuan tumbuh bakteri pendegradasi hidrokarbon petroleum asal kolom air Pelabuhan Cappa Ujung Parepare pada media pertumbuhan yang mengandung petroleum.



i diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai sumber
genai kemampuan biodegradasi hidrokarbon petroleum secara
bakteri asal Pelabuhan Cappa Ujung Parepare, sehingga dapat
nerapan teknologi bioremediasi lingkungan yang tercemar oleh

1.4 Subteori

1.4.1 Hidrokarbon Petroleum

Istilah minyak bumi atau petroleum digunakan untuk menggambarkan berbagai macam hidrokarbon yang berbentuk gas atau cairan, dua bentuk paling umum adalah gas alam dan minyak mentah. Minyak bumi merupakan bahan bakar fosil karena terbentuk dari tubuh organisme purba terutama tumbuhan dan hewan bersel satu. Sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah mati akan terakumulasi di dasar danau atau laut purba bersama dengan pasir atau sedimen lainnya. Petroleum adalah cairan alami berwarna gelap yang ditemukan di bawah permukaan bumi. Terdiri dari campuran hidrokarbon kompleks, petroleum adalah bahan baku utama untuk berbagai produk bahan bakar, seperti bensin, solar, dan minyak tanah. Secara umum, semua bahan bakar minyak mengandung hidrokarbon karena berasal dari senyawa organik yang mengandung karbon dan hidrogen. Proses pengolahan minyak bumi untuk menghasilkan berbagai produk minyak, termasuk bahan bakar minyak seperti solar dan diesel, memisahkan hidrokarbon-hidrokarbon ini ke dalam fraksi yang berbeda. Oleh karena itu, meskipun komposisi dan sifat bahan bakar minyak dapat bervariasi, bahan bakar minyak secara inheren mengandung hidrokarbon (Hsu dan Robinson, 2012). (Hsu dan Robinson, 2012).

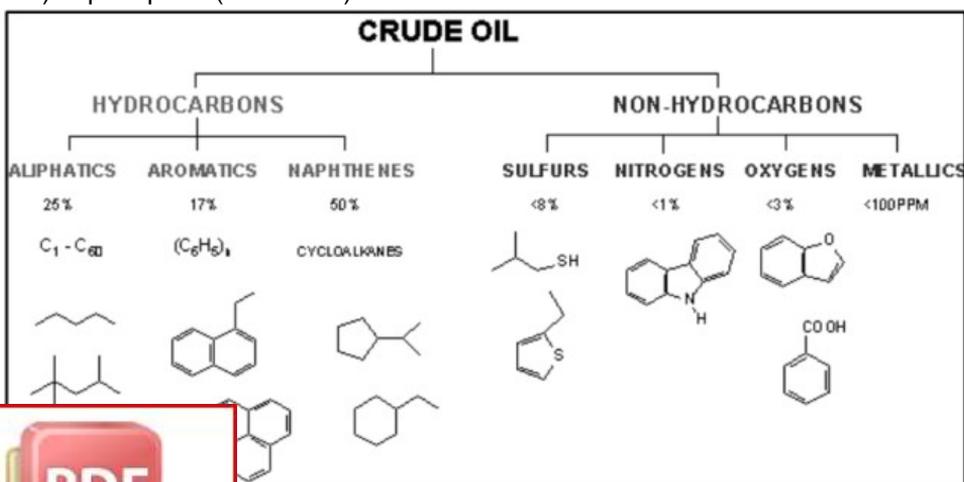
Setiap tahun, jutaan barel minyak dilepaskan ke laut global dari sumber alami dan antropogenik. Kegiatan industri minyak mentah merupakan rangkaian proses yang kompleks dari hulu hingga hilir. Pesatnya kemajuan sektor industri minyak mentah secara bersamaan memberikan dampak positif pada peningkatan kesejahteraan rakyat dan berdampak negatif terhadap pencemaran lingkungan. Tampak pada (Gambar 1), tumpahan minyak di perairan laut mengancam lingkungan global dan lokal baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka waktu panjang. Tumpahan minyak tersebut akan menumpuk dan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan serta organisme yang ada di perairan laut. Dampak yang ditimbulkan di antaranya berupa penurunan populasi akibat kematian organisme, serta perubahan reproduksi dan tingkah laku organisme, seperti pada (Gambar 2) (Atlas dan Terry, 2011).





Gambar 2. Dampak cemaran tumpahan minyak terhadap makhluk hidup (Atlas dan Terry, 2011)

Minyak bumi disusun dan didominasi oleh unsur-unsur karbon (C) dan hidrogen (H). Minyak bumi tersusun dari campuran berbagai senyawa kimia dari suatu golongan yang disebut hidrokarbon. Ikatan unsur hidrokarbon dalam minyak bumi tersusun dari unsur-unsur non hidrokarbon berupa nitrogen, oksigen, sulfur, lumpur, senyawa garam, air dan logam-logam dalam jumlah yang kecil (Neamah, 2014) seperti pada (Gambar 3).



3. Struktur kimia minyak mentah (Neamah, 2014)

adalah elemen bahan organik yang ada di mana-mana dan di laut dan situs terbuka dunia. Hidrokarbon juga secara umum terkandung dalam minyak bumi dan gas, plastik, parafin, isopropil, alkohol dan aspal.



Keberadaan hidrokarbon di lingkungan akuatik berasosiasi dengan partikel karena sifat hidrofobiknya, sehingga menghasilkan transpor ke bawah melintasi kolom air dan akhirnya mengendap di sedimen. Hidrokarbon minyak bumi merupakan zat kompleks yang terbentuk dari molekul hidrogen dan karbon dengan senyawa tambahan lain seperti oksigen, belerang dan nitrogen. Umumnya penyusun hidrokarbon petroleum terdiri dari alkana, sikloalkana, hidrokarbon poliaromatik (PAH) dan senyawa lainnya. Meski merupakan senyawa penyusun atas bahan-bahan yang banyak dimanfaatkan dalam kegiatan manusia, beberapa jenis senyawa hidrokarbon diketahui memiliki sifat karsinogenik dan neurotoksik yang berbahaya bagi lingkungan dan manusia (Obudu dkk., 2021).

1.4.1.1 Alkana

Alkana merupakan kelompok senyawa hidrokarbon jenuh yang terdiri dari atom-atom karbon dan hidrogen yang hanya terikat oleh ikatan tunggal. Alkana merupakan hidrokarbon jenuh karena semua ikatan antara atom karbon dalam molekulnya adalah ikatan tunggal, sehingga setiap atom karbon telah terikat dengan jumlah maksimum atau hidrogen yang dapat terikat. Alkana banyak ditemukan dalam bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan gas alam, yang utamanya terdiri dari rantai karbon dalam bentuk alkana. Alkana juga digunakan sebagai pelarut dalam industri dan bahan baku dalam sintesis senyawa organik lainnya (Mc Murry, 2015).

1.4.1.2 Sikloalkana

Sikloalkana adalah kelompok senyawa hidrokarbon siklik yang terdiri dari cincin karbon yang tertutup dengan atom-atom hidrogen yang terikat padanya. Sikloalkana dapat ditemukan dalam minyak bumi sebagai salah satu komponen hidrokarbon. Sikloalkana seperti sikloheksana dan siklopentana merupakan contoh sikloalkana yang umum ditemukan dalam minyak bumi. Sikloalkana dalam minyak bumi berbentuk cair dan tercampur dengan komponen hidrokarbon lainnya dalam minyak bumi. Sikloalkana dalam minyak bumi dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku dalam industri petrokimia (Mc Murry, 2015).

1.4.1.3 Hidrokarbon Aromatik Polisiklik

Hidrokarbon aromatik polisiklik adalah kelompok senyawa hidrokarbon yang terdiri dari dua atau lebih cincin aromatik yang terikat bersama. Cincin aromatik polisiklik dapat terhubung secara langsung atau melalui atom-atom karbon yang bersama-sama. Hidrokarbon aromatik polisiklik dapat ditemukan dalam minyak bumi sebagai salah satu komponen hidrokarbon. Hidrokarbon aromatik polisiklik dalam minyak bumi umumnya terdiri dari rangkaian cincin benzena yang terhubung secara langsung atau melalui ikatan atom karbon. Beberapa contoh HAP yang dapat ditemukan dalam minyak bumi adalah natalena antrasena, pirenkoma dan bahan



andung hap dalam minyak bumi dapat bervariasi tergantung
k bumi dan kondisi geologis di mana minyak bumi terbentuk.
ra alami ada di dalam minyak bumi, dalam beberapa kasus
pat meningkat karena pencemaran atau kontaminasi oleh
perti pembakaran bahan bakar fosil. HAP dalam minyak bumi
ya bagi kesehatan manusia dan lingkungan karena merupakan
Murry, 2015).

1.4.2 Biodegradasi Hidrokarbon Petroleum

Salah satu upaya rehabilitasi perairan yang tercemar adalah dengan menggunakan metode biodegradasi. Biodegradasi berarti peluruhan/penguraian bahan organik yang dilakukan oleh makhluk hidup yang utamanya terdiri bakteri, cendawan, protozoa, dan organisme lain. Pemanfaatan mikroorganisme dalam proses biodegradasi dapat mengurangi limbah dan membersihkan sebagian besar kontaminan lingkungan (Li dkk., 2017). Secara spesifik, biodegradasi merupakan proses penguraian suatu senyawa kompleks menjadi suatu senyawa yang lebih sederhana. Setiap mikroorganisme memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga proses degradasi yang terjadi akan berbeda atau bervariasi antara satu mikroorganisme dengan mikroorganisme yang lain. Pada umumnya proses degradasi terjadi karena senyawa tersebut dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhannya. Laju biodegradasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah kelembaban, jenis mikroorganisme temperatur, pH, jenis polimer dan ketebalan polimer (Li dkk., 2017).

Biodegradasi menawarkan solusi penanganan pencemaran lingkungan secara efektif, ekonomis, dan efisien. Mikroorganisme yang digunakan sebagai agen biodegradasi adalah mikroorganisme yang mampu menguraikan limbah organik menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Laju degradasi mikroorganisme terhadap minyak bumi sangat bergantung pada beberapa faktor dan di antaranya ialah kemampuan mikroorganisme pendegradasi. Proses biodegradasi tergantung dari jumlah mikroorganisme yang cukup untuk merombak senyawa hidrokarbon melalui jalur metabolisme mikroorganisme. Oleh karena itu dibutuhkan kehadiran mikroorganisme yang mampu melaksanakan proses dan memproduksi enzim yang dapat merombak senyawa hidrokarbon sebagai senyawa sasarannya. Tiap mikroorganisme memiliki sifat yang spesifik dalam menggunakan substrat sehingga hanya mampu merombak Senyawa hidrokarbon tertentu dalam kisaran yang terbatas (Turista, 2017).

1.4.3 Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum

Sejak pertengahan abad terakhir, penggunaan mikroorganisme dalam degradasi minyak bumi telah banyak dilaporkan (Staley, 2010). Studi-studi ini menunjukkan bahwa berbagai spesies mikroorganisme pendegradasi minyak bumi ini tersebar luas di lingkungan laut (Atlas, 1995). Pencemaran minyak bumi dilautan menyebabkan hanya bakteri yang dapat menggunakan minyak bumi sebagai sumber energi yang mampu bertahan dan mendominasi. Minyak bumi tersebut dimetabolisme oleh bakteri asli pada lingkungan laut karena kebutuhan energi dan karbon untuk pertumbuhan dan reproduksinya, serta desakan untuk menghilangkan yang disebabkan oleh adanya hidrokarbon minyak bumi di (Li dkk., 2018; Yang dkk., 2015).

di lingkungan laut, telah ditemukan lebih dari 100 genera, 200 spesies pendegradasi minyak bumi (misalnya bakteri, fungi, alga). Sebagian besar terdiri dari kelompok bakteri (79 genera), *cyanobacteria* (9 genera), dan alga (19 genera) yang berpotensi sebagai agen pendegradasi karbon minyak bumi. Sebagai contoh, di lingkungan laut, bakteri

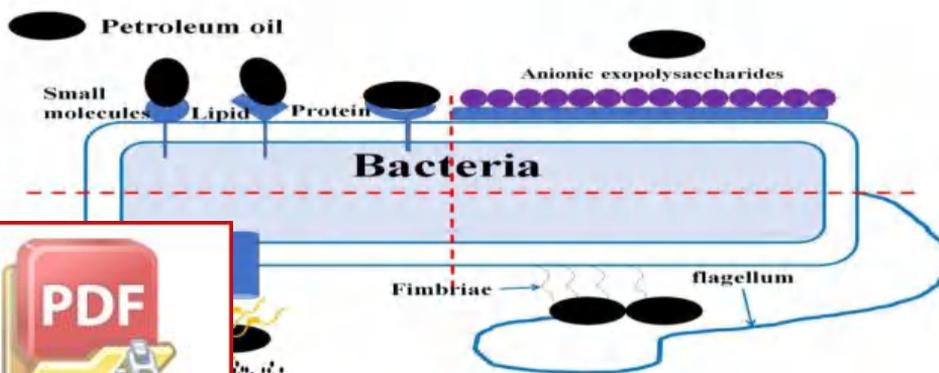


yang memegang peranan penting dalam proses biodegradasi minyak bumi, seperti *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Archrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Coryneforms*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Actinomycetes*, *Nocardia*, *Aureobasidium*, *Candida*, *Rhodotor*, dan *Sporobolomyces*. Selain itu, beberapa spesies jamur seperti *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, dan *Penicillium* juga telah digali potensinya sebagai agen pendegradasi minyak bumi (Xue dkk., 2015).

1.4.4 Mekanisme Biodegradasi Hidrokarbon Petroleum

Bakteri dan jamur adalah komunitas mikroba dominan yang membantu proses biodegradasi hidrokarbon, dengan bakteri memainkan peran dominan dalam ekosistem laut, dan jamur penentu paling dominan di lingkungan darat dan air tawar (Unimke dkk., 2018). Hidrokarbon minyak bumi dapat terbiodegradasi baik secara aerobik maupun anaerobik oleh ragi, jamur, dan bakteri dengan jumlah degradasi yang berbeda. Degradasi aerobik ialah mekanisme responsif dan lengkap untuk menghilangkan kontaminan hidrokarbon minyak bumi dari lingkungan terutama jenis aromatik dan dengan bantuan enzim dan jalur metabolisme. Sedangkan dalam kondisi anaerobik, mikroba memanfaatkan berbagai akseptor elektron seperti sulfat dan besi yang melipatgandakan molekul oksigen dalam perspektif oksigen dan mengoksidasi berbagai hidrokarbon (Jadhav dkk., 2019).

Langkah pertama dalam proses degradasi minyak bumi yaitu kontak langsung dan efektif antara sel bakteri dan substrat hidrokarbon minyak bumi. 1) Fimbriae atau flagel bakteri akan menempel pada minyak bumi. Bakteri akan meningkatkan kemampuan adhesi sel dengan mengubah komponen permukaannya dan mensekresi biemulsi untuk meningkatkan akses mereka ke substrat hidrokarbon target. 2) Biosurfaktan yang disekresikan oleh bakteri meningkatkan laju disolusi atau desorpsi yang mengarah ke pelarutan atau emulsi polutan hidrokarbon minyak bumi. 3) Protein, lipid dan molekul kecil lainnya pada permukaan bakteri akan menempel pada permukaan minyak bumi. Setelah masuknya oksigen molekuler ke dalam molekul oleh oksigenase fungsional maka akan terjadi proses biodegradasi dengan bantuan enzim. Komponen utama degradasi bakteri dari hidrokarbon minyak bumi adalah berbagai enzim khusus (Xu dkk., 2018). Seperti pada (Gambar 4).



Mekanisme biodegradasi hidrokarbon petroleum oleh bakteri hidrokarbonoklastik (Xu dkk., 2018)

1.4.5 Biosurfaktan

Biodegradasi dilakukan oleh bakteri pendegradasi minyak bumi dengan menyerap dan memanfaatkan senyawa tersebut sebagai sumber karbon. Langkah paling penting dalam degradasi hidrokarbon minyak bumi adalah bagaimana bakteri dapat mengadakan kontak dengan permukaan minyak bumi. Interaksi ini dapat dilakukan bakteri dengan tiga cara yaitu penyerapan hidrokarbon minyak bumi dalam fasa air oleh sel mikroba, kemudian sel mikroba secara langsung mengadakan kontak dengan partikel hidrokarbon besar, dan ketiga, sel mikroba berinteraksi dengan partikel hidrokarbon yang telah terlapisi (Shi dkk., 2019). Di antara 3 mekanisme tersebut, hidrofobisitas sel mempengaruhi adhesi bakteri ke hidrokarbon minyak bumi. Secara khusus, hidrofobisitas permukaan bakteri yang tinggi bermanfaat untuk adsorpsi antara bakteri dan hidrokarbon minyak bumi (Husain dkk., 1997).

Biosurfaktan yang dihasilkan mikroorganisme memainkan peranan penting dalam degradasi hidrokarbon dengan menurunkan permukaan antara minyak dan air serta melalui emulsifikasi dan meningkatkan kelarutan hidrokarbon. Biosurfaktan dengan berat molekul tinggi (bioemulsifier) memiliki potensi besar untuk menstabilkan emulsi antara hidrokarbon cair dan air, sehingga meningkatkan luas permukaan yang tersedia untuk biodegradasi bakteri. Oleh karena itu, penambahan biosurfaktan banyak dikaji untuk meningkatkan hidrofobisitas permukaan bakteri. (Banat dkk., 2010)

Bakteri yang mampu mendegradasi hidrokarbon dikategorikan sebagai bakteri hidrokarbonoklastik, beberapa jenis bakteri yang termasuk bakteri hidrokarbonoklastik di antaranya yaitu *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus*. Bakteri *Alcaligenes* memiliki kemampuan memproduksi enzim lipase yang mengindikasikan dapat mendegradasi minyak sehingga dan dimanfaatkan pada lingaungan yang tercemar hidrokarbon. Enzim lipase mampu menghidrolisis lemak menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Asam yang terbentuk dapat memecah komponen minyak kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana. Selanjutnya genus *Pseudomonas*, merupakan yang paling dikenal mampu memanfaatkan hidrokarbon sebagian sumber karbon uatam dan dapat menghasilkan biosurfaktan, dimana biosurfaktan dapat bertindak sebagai agen pengemulsi dengan mengurangi tegangan permukaan antara minyak dan air. Genus *Pseudomonas* diketahui menghasilkan biosurfaktan tipe rhamnolipid. *Peudomonas* mampu mendegradasi senyawa *Poly Aromatic Hydrocarbon* (PAH) dan memanfaatkan naftalena sebagai sumber energi. Sementara itu, salah satu spesies dari genus *Bacillus* yaitu *B. subtilis* sangat efektif dalam mendegradasi hidrokarbon, *Bacillus sp.* memiliki potensi degradasi hidrokarbon yaitu sebesar 66.67 % jika dibandingkan dengan *B. subtilis* (50,33 %) dan *Flavobacterium sp.* (53,57 %). Genus *Bacillus* menghasilkan biosurfaktan tipe glikolipid dan terdapat pula enzim *cytochrome P450* yang dapat mendegradasi (Irene dkk., 2020).

