

SKRIPSI

**ISOLASI DAN UJI KEMAMPUAN BIODEGRADASI BAKTERI ASAL
PELABUHAN PAOTERE MAKASSAR DALAM MENDEGRADASI
HIDROKARBON PETROLEUM**



ANDI MAIPADIAPATI

H041 18 1011

**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**ISOLASI DAN UJI KEMAMPUAN BIODEGRADASI BAKTERI ASAL
PELABUHAN PAOTERE MAKASSAR DALAM MENDEGRADASI
HIDROKARBON PETROLEUM**

*Skripsi Ini Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Program Studi S1 Biologi Departemen Biologi Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin*

**ANDI MAIPADIAPATI
H041181011**

**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ISOLASI DAN UJI KEMAMPUAN BIODEGRADASI BAKTERI ASAL
PELABUHAN PAOTERE MAKASSAR DALAM MENDEGRADASI
HIDROKARBON PETROLEUM**

Disusun dan diajukan oleh

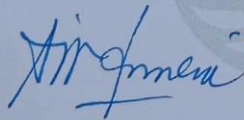
ANDI MAIPADIAPATI

H041181011

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Skripsi yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 16 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

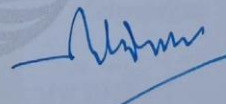
Menyetujui,

Pembimbing Utama



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


Pembimbing Pertama



Dr. Nur Haedar, M.Si
NIP. 196801291997022001

Ketua Program Studi




Dr. Magdalena Litaay, M.Sc
NIP. 196409291989032002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Maipadiapati

NIM : H041181011

Program Studi : Biologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Isolasi dan Uji Kemampuan Biodegradasi Bakteri Asal Pelabuhan Paotere Makassar dalam Mendegradasi Hidrokarbon Petroleum, adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 16 Januari 2023

Yang Menyatakan



Andi Maipadiapati
Andi Maipadiapati

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji bagi Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, Sang pengatur setiap jejak kehidupan, yang telah memberikan karunia dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini dan menyusun skripsi dengan judul “Isolasi dan Uji Kemampuan Biodegradasi Bakteri Asal Pelabuhan Paotere Makassar dalam Mendegradasi Hidrokarbon Petroleum” sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam senantiasa tetap tercurah kepada Rasulullah *Shallahu 'alaihi wa Sallam* sebagai teladan terbaik dalam kehidupan ini.

Proses penyelesaian skripsi ini, merupakan suatu rangkaian perjuangan yang cukup panjang bagi penulis. Selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak sedikit kendala yang penulis hadapi, banyak hal serta kendala yang penulis harus lewati. Berkat usaha dan do'a yang disertai motivasi, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akhirnya penelitian dan penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan oleh penulis. Oleh karena itu, penulis merasa sangat bersyukur dan mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga besar terkhusus kepada kedua orang tua, Ayahanda Andi Pacinongi dan Ibunda Masrawati serta saudara saya Andi Baso Arsidin, *Jazakumullahu khairan* atas dukungan yang telah diberikan kepada penulis baik moril maupun materil serta

lantunan do'a-do'a yang selalu dicurahkan kepada penulis. Terima kasih karena telah banyak memberikan nasehat dan teladan selama penulis menempuh pendidikan dari tingkat dasar hingga pada tingkat tertinggi.

Penulis menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya dan menyampaikan banyak terima kasih kepada Ibu Prof. Dr. Dirayah Rauf Husain, DEA. selaku pembimbing utama dan Ibu Dr. Nur Haedar, S.Si., M. Si. selaku pembimbing pertama atas kesediaannya telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis, mulai dari awal penyusunan sampai penyelesaian skripsi ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih 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 penulis dalam hal akademik dan administrasi.
3. Ibu Dr. Magdalena Litaay, M.Sc selaku Ketua Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis mengucapkan terima kasih atas ilmu, masukan, saran dan dukungannya.
4. Bapak Dr. Ir. Slamet Santosa, M.Si. selaku Penasehat Akademik (PA) terima kasih atas motivasi, dukungan dan bimbingan yang diberikan kepada penulis dari awal studi hingga penyusunan skripsi ini dan Ibu Prof. Dr. Sjafaraenan, M.Si. selaku dosen penguji, terima kasih atas segala arahan dan saran serta motivasi tiada henti 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 mengikuti perkuliahan maupun pada saat penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
6. Kak Fuad S.Si, dan Kak Riuh Wardhani, S.Si, M.Si, terima kasih atas bimbingan, saran dan ilmunya selama proses perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
7. Raihan Nur karimah dan Musdalifah, terima kasih telah menjadi partner penelitian dan teman seperjuangan semasa kuliah, yang selalu menemani dan memotivasi dalam setiap keadaan mulai dari awal studi hingga sekarang.
8. Sahabat-sahabat saya, terima kasih atas dukungan, bantuan, do'a dan kebersamaannya selama proses perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini, terkhusus akhwat Fii Sabilillah, akhwat Mushallah Istiqamah, akhwat Forum Studi Ulul Albab, teman-teman Project Dakwah, dan sepupu tercinta Indo Asmarani, S.Si,.
9. Teman-teman seperjuangan Biologi angkatan 2018, terima kasih atas do'a, dukungan, bantuan dan kebersamaannya selama perkuliahan, terkhusus Siti Annisa, S.Si, Nurrasmiansih, S.Si, Shamad, dan Farhansyah Rafli Pasolong, terima kasih telah banyak membantu selama penelitian dan selama penyusunan skripsi.
10. Ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pihak yang

mendukung penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga segala bantuan, dukungan, bimbingan dan do'a yang telah diberikan dapat bernilai ibadah di sisi Allah *Subhanahu wa Ta'ala* dan diberikan balasan yang lebih baik.

Makassar, 16 Januari 2023

Penulis

ABSTRAK

Minyak bumi adalah senyawa kompleks hidrokarbon. Dalam kehidupan minyak bumi berperan penting dalam berbagai kegiatan antropogenik dan merupakan salah satu sumber daya yang paling banyak dibutuhkan. Namun, terkadang kesalahan penggunaan minyak bumi dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan teknologi bioremediasi, yang didasarkan pada populasi mikroba alami dari situs yang terkontaminasi minyak bumi. Pelabuhan Paotere Makassar adalah salah satu perairan yang terkontaminasi hidrokarbon petroleum. Sangat nampak dipermukaan perairan Pelabuhan Paotere adanya tumpahan minyak. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan isolat bakteri dari pelabuhan Paotere Makassar yang mampu mendegradasi hidrokarbon petroleum dan mengetahui kemampuan degradasi hidrokarbon petroleum isolat bakteri yang berasal dari pelabuhan Paotere Makassar. Sampel bakteri yang diisolasi dari pelabuhan Paotere Makassar diuji kemampuan biodegradasinya dengan metode uji tegangan permukaan dan uji hidrokarbon terdegradasi oleh bakteri dengan prinsip gravimetri. Berdasarkan penelitian diperoleh hasil, penurunan tegangan permukaan sebesar 21,96 mN/m pada fase akhir eksponensial dengan konsentrasi penambahan 4 mL kultur bakteri dan kemampuan biodegradasi hidrokarbon petroleum isolat bakteri asal pelabuhan Paotere Makassar adalah sebesar 52,03%.

Kata kunci: Minyak Bumi, Pelabuhan Paotere Makassar, Hidrokarbon Petroleum, Isolat bakteri

ABSTRACT

Petroleum is a complex compound of hydrocarbons. In life, petroleum plays an important role in various anthropogenic activities and is one of the most needed resources. However, sometimes the wrong use of petroleum can result in environmental damage. Therefore, bioremediation technology is needed, which is based on natural microbial populations from petroleum-contaminated sites. Makassar Paotere Port is one of the waters contaminated with petroleum hydrocarbons. It is very visible on the surface of the waters of Paotere Harbor that there is an oil spill. This research was conducted to obtain bacterial isolates from the port of Paotere Makassar capable of degrading petroleum hydrocarbons and to determine the ability to degrade petroleum hydrocarbons of bacterial isolates from the port of Paotere Makassar. Bacterial samples isolated from the port of Paotere Makassar were tested for their biodegradability using the surface tension test method and the hydrocarbons degraded by bacteria using the gravimetric principle. Based on the research, the results showed that the decrease in surface tension was 21.96 mN/m in the final exponential phase with the addition of a concentration of 4 mL of bacterial culture and the biodegradability of petroleum hydrocarbons from bacterial isolates from the port of Paotere Makassar was 52.03%.

Keywords: Petroleum, Makassar Paotere Port, Petroleum Hydrocarbons, Bacterial Isolate

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Manfaat	3
I.3 Tujuan	3
I.4 Waktu dan Tempat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 Klasifikasi Hidrokarbon.....	4
II.1.1 Alkana.....	4
II.1.2 Sikloalkana.....	5
II.1.3 Hidrokarbon Aromatik.....	5

II.1.4 Hidrokarbon Aromatik Polisiklik	6
II.2 Minyak Bumi	7
II.3 Biodegradasi Minyak Bumi	9
II.4 Mekanisme Biodegradasi.....	11
II.5 Biosurfaktan.....	16
II.6 Pelabuhan Paotere Makassar	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
III.1 Alat	20
III.2 Bahan.....	20
III.3 Metode Kerja.....	20
III.3.1 Tahapan Pengambilan Sampel	20
III.3.2 Sterilisasi Alat dan Bahan	21
III.3.3 Pembuatan Medium.....	21
III.3.4 Pembuatan Nutrisi Tambahan	21
III.3.5 Pertumbuhan Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	22
III.3.6 Isolasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	22
III.3.7 Pemurnian Isolat Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum...	22
III.3.8 Karakterisasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum.....	23
III.3.9 Uji <i>Oil Spread</i> pada Kultur Bakteri.....	23
III.3.10 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	24
III.3.11 Uji Tegangan Permukaan Bakteri	24

III.3.12 Uji Hidrokarbon Terdegradasi oleh Bakteri.....	25
III.3.12 Analisis Data	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
IV.1 Pertumbuhan Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	28
IV.2 Isolasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	30
IV.3 Karakterisasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	31
IV.4 Uji <i>Oil Spread</i> pada Kultur Bakteri.....	34
IV.5 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	35
IV.6 Uji Tegangan Permukaan Bakteri	37
IV.7 Uji Hidrokarbon Terdegradasi oleh Bakteri.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
V.1 Kesimpulan.....	44
V.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bakteri pendegradasi hidrokarbon dan substrat degradasinya.....	14
2. Tabel Hasil Uji Tegangan Permukaan.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Jalur Degradasi Hidrokarbon secara Aerob dan Anaerob.....	13
2. Diagram Skematis Kontak Fisik antara Bakteri dan Hidrokarbon.....	16
3. Kinerja Biodegradasi Biosurfaktan.....	18
4. Titik Lokasi Pengambilan Sampel.....	27
5. Pertumbuhan Bakteri pada Hari ke-1 (T ₁) pada Media ALS ditambah Petroleum.....	28
6. Pertumbuhan Bakteri Hari ke-7 (T ₇) pada Media ALS ditambah Petroleum	28
7. Pertumbuhan Isolat Bakteri PT2 pada Media MA ditambah Petroleum.....	32
8. Morfologi Koloni Bakteri pada Mikroskop Stereo.....	33
9. Morfologi Sel Bakteri pada Mikroskop Binokuler Perbesaran 100x.....	34
10. Hasil Uji <i>Oil Spread</i> Kultur Bakteri	36
11. Grafik Kurva Pertumbuhan Bakteri Isolat Murni PT2 dengan Menggunakan Nilai DO pada Panjang Gelombang 610 nm.....	31
12. Diagram Hasil Pengukuran Tegangan Permukaan Isolat PT2 Menggunakan Supernatan pada Berbagai Variasi Penambahan.....	38
13. Kemampuan Visual Isolat Murni Bakteri hari ke-1 (T ₁) dan Hari ke-12 (T ₁₂) pada Media ALS ditambah Petroleum.....	40
14. Kemampuan Visual Isolat Murni Bakteri pada Media MA ditambah Petroleum.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alur Penelitian.....	51
2. Proses Pengambilan Sampel.....	52
3. Proses Pembuatan Media dan Nutrisi Tambahan.....	53
4. Proses Penumbuhan Bakteri pada Media ALS.....	54
5. Proses Isolasi dan Pemurnian Bakteri pada Media MA.....	55
6. Proses Karakterisasi Bakteri.....	56
7. Proses Uji <i>Oil Spread</i> pada Kultur Bakteri.....	57
8. Proses Pengukuran Kurva Pertumbuhan, Uji Tegangan Permukaan dan TPH.....	58
9. Tabel Hasil Uji Tegangan Permukaan.....	59
10. Hasil Perhitungan TPH.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Minyak bumi adalah senyawa kompleks hidrokarbon. Bahan utama yang terkandung di dalam minyak bumi atau petroleum adalah senyawa hidrokarbon parafin, hidrokarbon alisiklik, dan hidrokarbon aromatik yang merupakan polutan karsinogenik (Arjoon dan James., 2020). Dalam kehidupan minyak bumi berperan penting dalam berbagai kegiatan antropogenik dan merupakan salah satu sumber daya yang paling banyak dibutuhkan. Namun, terkadang kesalahan penggunaan minyak bumi dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan.

Polutan minyak, karena toksisitas, mutagenisitas, dan karsinogenisitasnya, dianggap sebagai ancaman serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Senyawa hidrokarbon minyak bumi, misalnya, benzena, toluena, etilbenzena, xilena, termasuk senyawa alami minyak mentah dan bensin yang sering ditemukan di permukaan air laut dan tanah sebagai akibat dari kegiatan industri, terutama penanganan petrokimia, kebocoran reservoir atau proses pembuangan limbah yang tidak tepat (Mohammadi *et al.*, 2020). Karena banyak faktor, polusi minyak terus menjadi perhatian besar di seluruh dunia. Salah satu masalah utama yang diakibatkan oleh pembuangan residu dari minyak bumi yaitu dapat menyebabkan dampak terhadap lingkungan dan risiko bagi kesehatan manusia. Secara spesifik dampak dari pencemaran minyak bumi adalah dapat menyebabkan bioakumulasi dalam rantai makanan sehingga

organisme pada tingkat trofik yang paling tinggi akan terpapar dampaknya seperti manusia dan ikan (Chirwa dan Bezza., 2015).

Peningkatan tajam dalam populasi dan modernisasi masyarakat, pencemaran lingkungan akibat hidrokarbon minyak bumi telah meningkat, yang mengakibatkan kebutuhan remediasi yang mendesak (Xu *et al.*, 2018). Berbagai metode fisikokimia dapat digunakan untuk pengolahan limbah minyak bumi, meskipun banyak dari teknologi ini mahal, intensif energi, tidak efisien dan tidak ramah lingkungan. Disisi lain teknologi bioremediasi, yang didasarkan pada populasi mikroba alami dari situs yang terkontaminasi telah diakui sebagai strategi pembersihan alternatif yang berkelanjutan, ekonomis, ramah lingkungan dan serbaguna (Chirwa dan Bezza., 2015). Selama beberapa tahun terakhir, kemampuan bakteri laut untuk mendegradasi hidrokarbon telah menjadi fokus penelitian intensif, dengan tujuan memerangi polusi hidrokarbon di lingkungan laut. Hal ini telah dibuktikan melalui produksi biosurfaktan dan proses pengemulsi yang mampu memfasilitasi penyerapan hidrokarbon oleh bakteri laut (Husain *et al.*, 1997).

Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa mikroorganisme seperti jamur dan bakteri adalah faktor utama dalam dekomposisi molekul polutan, termasuk hidrokarbon, di lingkungan perairan dan darat (Alfiansah *et al.*, 2014). Bakteri yang memiliki kemampuan bertahan hidup di lingkungan yang terkontaminasi hidrokarbon dapat digunakan sebagai agen yang membersihkan area yang terkontaminasi melalui teknologi biodegradasi (Rahayu *et.al.*, 2019). Menurut Xu *et al.*, (2018) berbagai pengurai senyawa hidrokarbon polisiklik (kebanyakan *Pseudomonas* dan *Vibrio* spp.) telah diisolasi dari sistem yang tercemar, seperti Pelabuhan Boston, Teluk Chesapeake, dan rawa garam yang terkontaminasi hidrokarbon.

Hal ini menjadi tantangan untuk dilakukannya penelitian lebih lanjut di berbagai daerah yang terkontaminasi hidrokarbon petroleum guna mencari dan mengembangkan isolat yang lebih unggul dalam mendegradasi hidrokarbon petroleum. Beberapa perairan di Makassar merupakan daerah yang tercemar hidrokarbon petroleum salah satunya Pelabuhan Paotere. Sangat nampak dipermukaan perairan Pelabuhan Paotere adanya tumpahan minyak sebagai hasil buangan atau bersih-bersih kapal yang bersandar di Pelabuhan.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian untuk mengisolasi dan menguji kemampuan biodegradasi bakteri yang berasal dari pelabuhan Paotere Makassar dalam mendegradasi hidrokarbon petroleum.

I.2 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat terkait keberadaan dan kemampuan bakteri hasil isolasi dari Pelabuhan Paotere Makassar dalam mendegradasi hidrokarbon petroleum.

I.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mendapatkan isolat bakteri dari pelabuhan Paotere Makassar yang mampu mendegradasi hidrokarbon petroleum.
2. Mengetahui kemampuan degradasi hidrokarbon petroleum isolat bakteri yang berasal dari Pelabuhan Paotere Makassar.

I.4 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli – November 2022 di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Klasifikasi Hidrokarbon

Hidrokarbon adalah elemen bahan organik yang ada di mana-mana yang dilepaskan ke perairan laut dan situs terbuka dunia. Meskipun hidrokarbon dapat diekstraksi dari sumber alami akuatik dan terestrial, sebagian besar hidrokarbon dikaitkan dengan berbagai praktik antropogenik yang berkontribusi pada pembentukan dan pelepasan polutan organik berbahaya. Hidrokarbon di lingkungan akuatik tampaknya berasosiasi dengan partikel karena sifat hidrofobiknya, menghasilkan transpor ke bawah melintasi kolom air dan akhirnya mengendap di sedimen (Obudu *et al.*, 2021).

Hidrokarbon minyak bumi adalah 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, aromatik, hidrokarbon poliaromatik (PAH) dan senyawa lainnya. Semua kelompok hidrokarbon ini beracun bagi lingkungan, terutama hidrokarbon poliaromatik dan produk degradasinya yang dikenal karena sifat karsinogeniknya. Penyusun senyawa hidrokarbon petroleum secara umum dapat dijabarkan sebagai berikut (Arjoon dan James., 2020).

II.1.1 Alkana

Alkana adalah hidrokarbon jenuh, dibentuk secara eksklusif oleh atom karbon dan hidrogen. Alkana bisa linier (n-alkana), siklik (siklus-alkana) atau bercabang (iso-alkana). Memiliki antara satu dan empat atom karbon (metana

hingga butana). Alkana dapat menyusun hingga 50% minyak mentah, tergantung pada sumber minyaknya, tetapi juga diproduksi oleh banyak organisme hidup seperti tanaman, ganggang hijau, bakteri atau hewan. Tingkat kelarutan senyawa alkana dalam air rendah, sehingga menimbulkan tantangan yang besar untuk metabolismenya oleh mikroorganisme. Namun, beberapa mikroorganisme, baik aerobik dan anaerobik, dapat menggunakan alkana yang beragam sebagai sumber karbon dan energi (Rojo., 2009).

II.1.2 Sikloalkana

Sikloalkana adalah konstituen utama minyak mentah, terhitung 20-40% dari total fraksi hidrokarbon dan umumnya ditemui dalam produk minyak bumi olahan. Studi biodegradasi tumpahan minyak di perairan permukaan laut telah menunjukkan bahwa sikloalkana terdegradasi pada tingkat yang lebih rendah daripada n-alkana. Sikloalkana memiliki kelarutan yang rendah dalam air (0,68 mM pada suhu 25°C), dan merupakan hidrokarbon yang relatif mudah menguap (titik didih 80,7°C). Degradasi anaerobik sikloalkana ditunjukkan dengan kultur pengayaan pereduksi sulfat yang diperoleh dengan etilsiklopentana dari akuifer yang terkontaminasi gas kondensa. Dalam kondisi anaerobik, sikloalkana diaktifkan dengan penambahan fumarat menghasilkan turunan sikloalkilsuksinat (Jaekel *et al.*, 2015).

II.1.3 Hidrokarbon Aromatik

Senyawa aromatik dapat didefinisikan sebagai molekul organik yang mengandung satu atau lebih cincin aromatik, khususnya cincin benzena. Senyawa aromatik yang berbeda, hidup berdampingan sebagai campuran kompleks di penyulingan minyak bumi dan lokasi penyulingan. Ada tiga

kategori utama senyawa aromatik: hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), heterosiklik, dan aromatik tersubstitusi. Senyawa heterosiklik termasuk dibenzothiophene dan karbazol adalah komponen kreosot, minyak mentah, dan minyak serpih dan sering hidup berdampingan di lingkungan dengan PAH dan senyawa aromatik lainnya (Seo *et al.*, 2009).

Hidrokarbon aromatik secara alami terdapat dalam minyak mentah dan batubara, yang telah dibentuk oleh transformasi abiotik biomassa dalam sistem sedimen atau dari organisme sebagai metabolit sekunder. Keragaman dalam kelompok gen dan banyaknya enzim yang terlibat dalam degradasi hidrokarbon aromatik memberikan mikroorganisme kemampuan untuk mendegradasi sejumlah besar senyawa, termasuk yang berasal dari sumber antropogenik (Meckenstock *et al.*, 2016).

II.1.4 Hidrokarbon Aromatik Polisiklik

Hidrokarbon aromatik polisiklik adalah hidrokarbon aromatik dengan dua atau lebih cincin benzena yang menyatu, dan berasal dari sumber alami maupun antropogenik. Tersebar luas dan termasuk kontaminan lingkungan yang memiliki efek biologis yang merugikan, toksisitas, mutagenisitas, dan karsinogenisitas. Hidrokarbon aromatik polisiklik stabil secara termodinamika karena sifat aromatiknya, yang meliputi stabilisasi oleh banyak cincin dan kelarutan dalam air yang rendah (Lyu *et al.*, 2014).

Hidrokarbon aromatik polisiklik dibagi menjadi dua kategori yaitu berat molekul rendah (dua atau tiga cincin) yang relatif mudah menguap, larut dan lebih mudah terdegradasi daripada senyawa berat molekul tinggi (empat cincin atau lebih) yang menyerap kuat ke tanah dan sedimen dan lebih tahan terhadap degradasi mikroba karena berat molekul tinggi dan hidrofobisitas, sedangkan

hidrokarbon aromatik polisiklik ini juga beracun bagi sel bakteri. Namun ada beberapa juga sejumlah spesies bakteri diketahui mampu mendegradasi hidrokarbon aromatik polisiklik. Kebanyakan dari bakteri tersebut, mewakili efisiensi biodegradasi, diisolasi dari tanah atau sedimen yang terkontaminasi (Bisht *et al.*, 2015).

II.2 Minyak Bumi

Minyak bumi adalah bahan bakar fosil yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan laut kecil yang mati jutaan tahun yang lalu dan tenggelam ke dasar lautan. Minyak bumi terdiri dari campuran kompleks dari berbagai hidrokarbon, sebagian besar dari alkana dan senyawa aromatik. Warnanya berkisar dari kuning pucat kemerahan dan coklat hingga hitam atau kehijauan (Chougle dan Walke., 2015).

Minyak bumi adalah cairan alami, berminyak dan mudah terbakar yang terdiri dari hidrokarbon dan biasa ditemukan di mata air atau kolam, tetapi biasanya diperoleh dari bawah permukaan bumi dengan mengebor sumur. Sebelumnya disebut sebagai minyak batu, yaitu minyak bumi yang tidak dimurnikan dan sekarang disebut minyak mentah. Sifat fisik dan komposisi kimia minyak mentah sangat bervariasi tergantung pada sumbernya. Karena berasal dari bumi, ia berkisar dari cairan yang kadang-kadang hampir tidak berwarna yang terutama terdiri dari bensin hingga material hitam pekat yang mengandung aspal tinggi. Meskipun sebagian besar minyak mentah berwarna hitam, banyak yang berwarna kuning, merah, atau coklat oleh cahaya yang ditransmisikan dan menunjukkan fluoresensi kehijauan oleh cahaya yang dipantulkan. Secara umum, hidrokarbon minyak bumi (PHC) yang berasal dari

berbagai minyak adalah kelas senyawa yang sangat kompleks dengan berbagai sifat fisik dan kimia. Mereka dapat dikelompokkan menurut titik didih dan rentang nomor karbonnya seperti: nafta (42-175°C, C₃-C₁₀), minyak tanah (175-240°C, C₁₀-C₁₃), diesel (240-340°C, C₁₃-C₂₀), minyak gas ringan (340-450°C, C₂₀-C₃₀), minyak gas berat (450-538°C, C₃₀-C₄₄), dan nondistilat (>538°C, > C₄₄). Hidrokarbon minyak bumi juga dapat dikelompokkan menjadi empat kelas utama menurut komposisi kimia umumnya: (1) jenuh (alkana dan sikloparafin), (2) aromatik, (3) resin, dan (4) aspal (Rudzinski dan Tejraj., 2000).

Minyak bumi yang terbentuk di bawah permukaan bumi oleh dekomposisi organisme laut. Sisa-sisa organisme kecil yang hidup di laut pada tingkat lebih rendah, beserta organisme darat yang terbawa ke laut oleh sungai dan tanaman yang tumbuh di dasar laut, kemudian terjatuh dengan butiran halus dan lumpur lalu mengendap di dasar laut. Deposit tersebut, yang kaya bahan organik, menjadi batuan sumber penghasil minyak mentah. Bahan-bahan organik akan diurai oleh bakteri anaerobik membentuk gas metana. Ketika mencapai kedalaman dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi metana yang terdiri dari campuran dua atau tiga gas alkana, yaitu etana dan propana, akan mengalami reaksi untuk membentuk gas alkana, alkana cair, alkana lilin serta alkana padat, dan juga sikloalkana yang dikenal sebagai naftenat (minyak mentah) (Mawad., 2020).

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 (Liu *et al.*, 2015).

Pesatnya kemajuan sektor industri minyak mentah secara bersamaan berdampak positif pada peningkatan kesejahteraan rakyat dan berdampak negatif terhadap pencemaran lingkungan. Tumpahan minyak mengancam lingkungan global dan lokal baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka Panjang (Fauzi dan Suryatmana., 2016).

II.3 Biodegradasi Minyak Bumi

Salah satu upaya rehabilitasi perairan yang tercemar adalah metode biodegradasi. Biodegradasi dapat memberikan kontribusi untuk perbaikan kualitas lingkungan. Dengan metode biodegradasi dapat merombak senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga berkurang kadar toksisitasnya. Salah satu penerapan biodegradasi yang paling banyak ditemui yaitu dalam upaya penanggulangan pencemaran hidrokarbon minyak bumi di perairan. Biodegradasi hidrokarbon minyak bumi adalah proses kompleks yang bergantung pada sifat dan jumlah hidrokarbon yang ada. Berbagai faktor yang mempengaruhi degradasi hidrokarbon. Salah satu faktor penting yang membatasi biodegradasi polutan minyak di lingkungan adalah ketersediaannya yang terbatas untuk mikroorganisme (Das dan Preethy., 2011). Minyak yang terbiodegradasi dihasilkan dari peran mikroorganisme yang menghancurkan hidrokarbon dan komponen minyak lainnya yang telah menjadi masalah bagi industri perminyakan. Biodegradasi bertanggung jawab atas peningkatan viskositas, keasaman minyak dan pengurangan kadar minyak (Korenblum *et al.*, 2012).

Telah banyak metode remediasi yang diterapkan pada lahan tercemar, khususnya lahan tercemar minyak bumi. Beberapa perusahaan minyak di

Indonesia, khususnya di sektor hulu, telah menggunakan metode bioremediasi untuk menangani lahan tercemar minyak, baik yang disebabkan oleh semburan atau masalah selama transportasi, di sekitar wilayah kegiatan mereka (Tuhuloula *et al.*, 2019).

Metode mekanis dan kimia yang umumnya digunakan untuk menghilangkan hidrokarbon dari lokasi yang terkontaminasi memiliki efektivitas yang terbatas dan bisa mahal (Das dan Preethy., 2011). Menurut Santos *et al.*, (2018) perawatan fisiko-kimia untuk remediasi hidrokarbon minyak bumi melibatkan strategi yang mahal, dan seringkali hanya menghasilkan dekomposisi polutan yang tidak efisien. Dengan demikian, dalam dua dekade terakhir, teknik remediasi alternatif berdasarkan metode biologis semakin diterima sebagai praktik standar, karena lebih efisien dalam meminimalkan limbah dan melestarikan sumber daya alam, serta lebih hemat biaya.

Bioremediasi adalah teknologi yang menjanjikan untuk perawatan situs yang terkontaminasi minyak bumi karena hemat biaya dan akan menghasilkan mineralisasi lengkap. Fungsi bioremediasi pada dasarnya adalah biodegradasi, yang dapat merujuk pada mineralisasi lengkap kontaminan organik menjadi karbon dioksida, air, senyawa anorganik, dan protein sel atau transformasi kontaminan organik kompleks menjadi senyawa organik sederhana lainnya oleh agen biologis seperti mikroorganisme (Das dan Preethy., 2011).

Salah satu alternatif penanggulangan lingkungan tercemar hidrokarbon yaitu dengan teknik bioremediasi, yaitu suatu teknologi yang ramah lingkungan, efektif dan ekonomis dengan memanfaatkan aktivitas mikroba

seperti bakteri. Metode ini dapat mereduksi limbah minyak menjadi produk-produk sederhana berupa zat organik dan komponen tidak beracun (Marzuki *et al.*, 2015). Menurut Santisi *et al.*, (2015) bioremediasi dapat digambarkan sebagai konversi polutan (hidrokarbon) oleh mikroorganisme (bakteri) menjadi energi, massa sel dan produk limbah biologis.

Perawatan secara biologis memiliki peran penting, terutama karena dampak lingkungan yang rendah, biaya (umumnya lebih murah daripada teknologi pembersihan lainnya), kemampuan untuk menghancurkan kontaminan organik, dan kemungkinan pemanfaatan sedimen yang dapat diolah. Pemulihan situs yang terkontaminasi minyak bumi dapat dicapai dengan metode fisikokimia atau biologis. Namun karena konsekuensi negatif dari pendekatan fisikokimia, perhatian lebih diberikan pada eksploitasi alternatif biologis (Santisi *et al.*, 2015).

Untuk penanggulangan polutan hidrokarbon minyak bumi, metode fisik, metode kimia dan kombinasi dari dua metode telah digunakan secara luas. Namun, metode ini seringkali tidak dapat sepenuhnya menghilangkan minyak teremulsi dan minyak terlarut dalam air dan tanah, dan biaya yang dibutuhkan lebih tinggi. Pada saat yang sama akan menimbulkan pencemaran berulang terhadap lingkungan sekitarnya, sehingga metode fisik atau kimia hanya dapat digunakan dalam penanganan darurat (Li *et al.*, 2019).

II.4 Mekanisme Biodegradasi

Pertumbuhan mikroorganisme hidrokarbonoklastik di lingkungan dapat sangat mempengaruhi proses biodegradasi. 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 *et al.*, 2018).

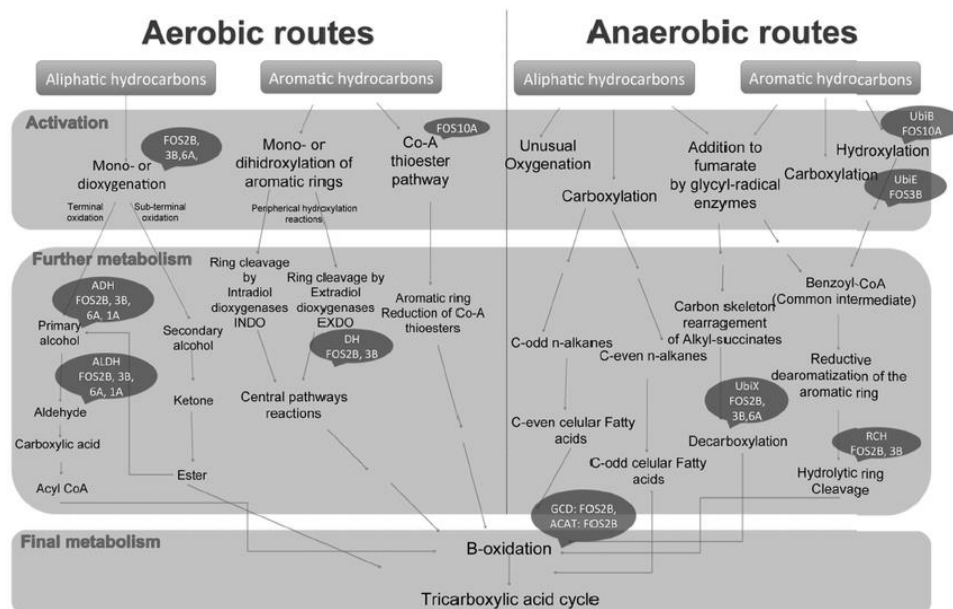
Langkah paling utama dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi adalah membentuk kontak antara bakteri dan substrat pendegradasi minyak bumi. Kontak ini dapat dibentuk dalam tiga cara. (1) Penyerapan hidrokarbon minyak bumi dilarutkan dalam fase air oleh sel-sel mikroba. (2) selanjutnya sel mikroba melakukan kontak secara langsung dengan partikel hidrokarbon besar untuk penyerapan. (3) kemudian sel-sel mikroba berinteraksi dengan partikel-partikel hidrokarbon yang telah mengecil dan dapat larut, untuk membantu proses penyerapan (Shi *et al.*, 2019).

Hidrokarbon minyak bumi dapat terbiodegradasi baik secara aerobik maupun anaerobik oleh ragi, jamur, dan bakteri dengan jumlah degradasi yang berbeda. Degradasi aerobik adalah 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 *et al.*, 2019).

Keberadaan mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon (bakteri, jamur, dan ragi) tersebar luas di alam. Mikroorganisme tertentu dapat mendegradasi senyawa hidrokarbon dan menggunakannya sebagai sumber karbon untuk menghasilkan energi. Mikroba menggunakan hidrokarbon minyak untuk pertumbuhannya dengan memotong hidrokarbon alifatik, sikloalifatik, dan

aromatik. Mekanisme biodegradasi minyak sangat banyak dan bergantung pada komposisi hidrokarbon yang dimilikinya (Fauzi dan Suryatmana., 2016).

Gambaran umum mekanisme intrinsik bakteri pendegradasi hidrokarbon minyak bumi dapat dijelaskan dari dua perspektif biokimia; 1) Aktivasi atau fungsionalisasi oleh bakteri yaitu reaksi yang dilakukan oleh sistem enzim bakteri tertentu yang memulai serangan intraseluler pada polutan organik melalui: oksigenasi, adisi, hidrasi atau reaksi karboksilasi untuk menghasilkan substrat atau metabolit yang selanjutnya dibiotransformasi menjadi metabolit sentral yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon dan aktivitas seluler lainnya; 2) Bakteri mampu memproduksi biosurfaktan melarutkan polutan organik setelah emulsifikasi dan pembentukan misel untuk meningkatkan penyerapan polutan organik oleh bakteri untuk degradasi (Victor *et al.*, 2020).



Gambar 1. Jalur degradasi hidrokarbon secara aerob dan anaerob

(Unimke *et al.*, 2018)

Beberapa mikroba pengurai polutan hidrokarbon minyak bumi memiliki kemampuan untuk mendegradasi hidrokarbon alifatik, beberapa dapat menguraikan hidrokarbon monoaromatik atau poliaromatik, sementara berbagai mikroba

pengurai hidrokarbon lainnya dapat menguraikan resin (Ite dan Udo., 2019). Beberapa spesies bakteri sangat terspesialisasi dalam mendegradasi hidrokarbon. Mereka disebut bakteri hidrokarbonoklastik dan memainkan peran kunci dalam menghilangkan hidrokarbon dari lingkungan yang tercemar. *Alcanivorax borkumensis*, bakteri laut yang dapat mengasimilasi alkana linier dan bercabang, tetapi tidak dapat memetabolisme hidrokarbon aromatik, gula, asam amino, asam lemak, dan sebagian besar sumber karbon umum lainnya (Rojo., 2009).

Jalur degradasi berbagai hidrokarbon minyak bumi (misalnya, alifatik dan poliaromatik) telah terbukti menggunakan reaksi oksidasi namun, jalur ini sangat berbeda karena oksigenase spesifik yang ditemukan pada spesies bakteri yang berbeda. Misalnya, beberapa bakteri dapat memetabolisme alkana tertentu, sementara yang lain memecah fraksi hidrokarbon aromatik atau resin. Fenomena ini berkaitan dengan struktur kimiawi komponen hidrokarbon minyak bumi (Xu *et al.*, 2018).

Tabel 1. Bakteri pendegradasi hidrokarbon dan substrat degradasinya

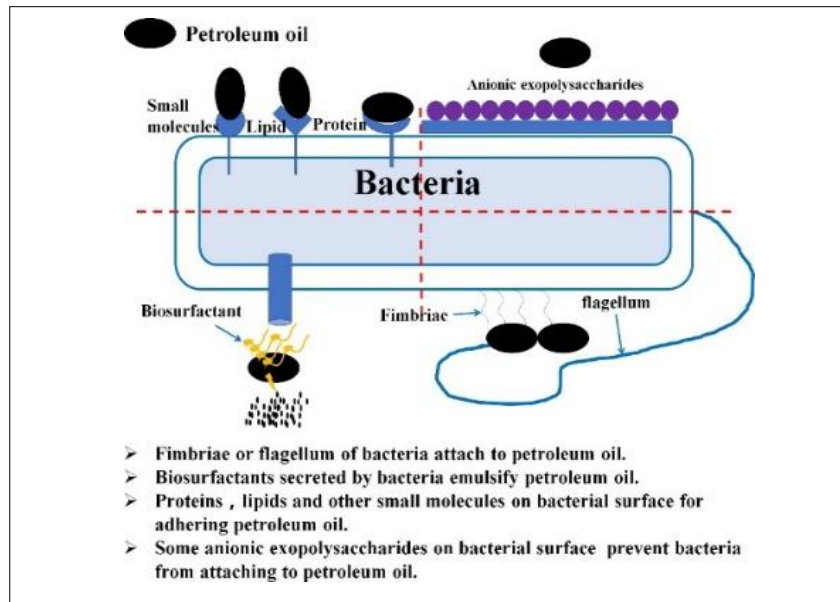
Petroleum hydrocarbon components	Bacterial species	Main degradation profile
Aliphatics	<i>Dietzia</i> sp.	n-alkanes (C6-C40)
	<i>Pseudomonas</i> sp.	n-alkanes (C14-C30)
	<i>Oleispira antarctica</i>	n-alkanes (C10-C18)
	<i>Rhodococcus ruber</i>	n-alkanes (C13-C17)
	<i>Geobacillus thermodenitrifican</i>	n-alkanes (C15-C36)
	<i>Rhodococcus</i> sp.	Cyclohexane
	<i>Alcanivorax</i> sp.	n-alkanes and branched alkanes
	<i>Gordonia sihwensis</i>	Branched and normal alkanes

Aromatics	<i>Achromobacter xylooxidans</i>	Mono/polyaromatics
	<i>Aeribacillus pallidus</i>	Mono/polyaromatics
	<i>Mycobacterium cosmeticum</i>	Monoaromatics
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Monoaromatics
	<i>Cycloclasticus</i>	Polyaromatics
	<i>Neptunomonas naphthovorana</i>	Polyaromatics
	<i>Bacillus licheniformis</i>	Polyaromatics
	<i>Bacillus mojavensis</i>	Polyaromatics
	<i>Sphigomonas, Sphigobium and Novosphigobium</i>	Polyaromatics
Resins and asphaltenes	<i>Pseudomonas sp.</i>	Resins
	<i>Pseudomonas spp.</i> ,	Asphaltenes
	<i>Bacillus sp.</i>	
	<i>Citrobacter sp.</i>	Asphaltenes
	<i>Enterobacter sp.</i>	
	<i>Staphylococcus sp.</i>	
	<i>Lysinibacillus sp.</i>	
<i>Pseudomonas</i>		

Sumber: (Xu *et al.*, 2018).

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 biopolimer 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 *et al.*, 2018).



Gambar 2. Diagram skematis kontak fisik antara bakteri dan hidrokarbon minyak bumi (Xu *et al.*, 2018).

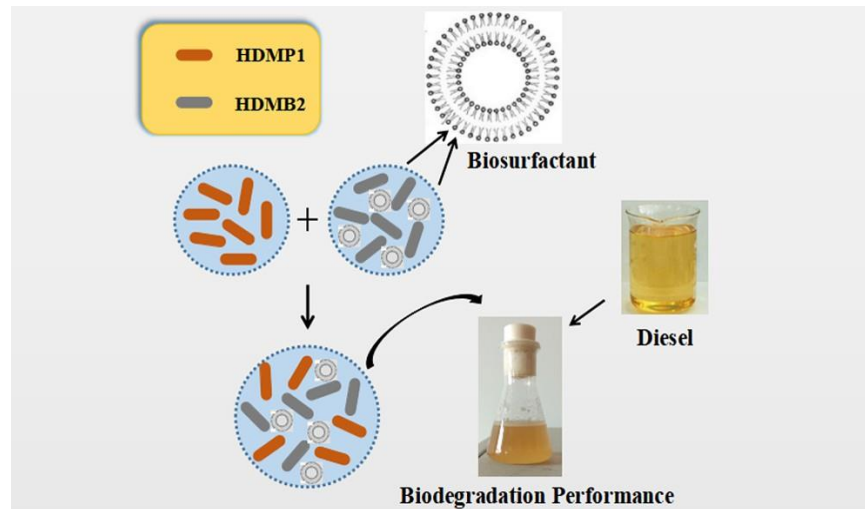
II.5 Biosurfaktan

Surfaktan adalah molekul amfifilik yang terdiri dari bagian hidrofilik (polar) dan hidrofobik (nonpolar). Terakumulasi pada antarmuka, bahan kimia ini dapat menurunkan tegangan permukaan dan tegangan antarmuka antara larutan berair dan larutan tak bercampur lainnya. Surfaktan disintesis secara kimia dari sumber petrokimia dan oleokimia. Biosurfaktan adalah senyawa aktif permukaan alami yang disintesis oleh berbagai mikroorganisme (Ghasemi *et al.*, 2019).

Biosurfaktan merupakan salah satu strategi dari bakteri yang digunakan untuk mempengaruhi penyerapan senyawa hidrofobik. Hidrokarbon adalah molekul yang sangat tahan yang hidrofobik dan memiliki kelarutan air yang rendah. Mikroba sering meningkatkan degradasi senyawa hidrofobik dengan melepaskan biosurfaktan. Dengan mengurangi tegangan antarmuka, biosurfaktan meningkatkan kelarutan dan area kontak senyawa yang tidak

larut dan meningkatkan fluiditas, bioavailabilitas, dan efisiensi biodegradasi senyawa yang tidak larut. Dibandingkan dengan surfaktan kimia, biosurfaktan memiliki keunggulan seperti toksisitas rendah, biodegradabilitas tinggi, kompatibilitas lingkungan yang baik, dan toleransi lingkungan yang tinggi terkhusus pada remediasi area yang terkontaminasi minyak (Wu *et al.*, 2019).

Saat ini, peningkatan efek degradasi bakteri pendegradasi diesel dengan menggabungkannya dengan bakteri penghasil surfaktan merupakan cara penting untuk memperbaiki ekologi daerah yang terkontaminasi minyak secara efisien. Di antara 14 isolat bakteri, tiga bakteri pendegradasi solar menunjukkan kinerja degradasi yang lebih baik, dengan tingkat degradasi solar 50,52% (HDMP1), 42,70% (HDMP2), dan 36,46% (HDMP3). Tiga bakteri penghasil biosurfaktan menunjukkan kemampuan pengemulsi yang lebih baik. NS (E₂₄) nilai biosurfaktan terhadap solar ditentukan menjadi 55% (HDMB1), 81% (HDMB2), dan 73% (HDMB3). Bakteri penghasil surfaktan terbaik (HDMB2) menghasilkan biosurfaktan lipopeptida yang dapat diamati dengan adanya peptida dan gugus karboksil menggunakan spektroskopi inframerah transformasi Fourier. Selain itu, interaksi antara bakteri pendegradasi diesel dan bakteri penghasil biosurfaktan dievaluasi dan ditemukan bahwa kombinasi HDMP1 dan HDMB2 memiliki kinerja yang signifikan untuk menghilangkan minyak (laju degradasi solar adalah 67,38%), yang menunjukkan aplikasinya di masa depan dalam proses pemulihan minyak dengan menggunakan mikroba (Wu *et al.*, 2019).



Gambar 3. Kinerja biodegradasi biosurfaktan (Xu *et al.*, 2018)

II.6 Pelabuhan Paotere Makassar

Pelabuhan Paotere adalah pelabuhan rakyat yang terletak di bagian Utara Kota Makassar dalam pengelolaannya berada di bawah pengawasan PT. Pelindo IV. Pelabuhan Paotere tidak hanya melayani pelayaran rakyat, Pelabuhan Paotere juga melayani kapal dengan pelayaran nasional dan pelayaran samudera nasional (luar negeri), tetapi dengan kapasitas tertentu mengingat kolam labuh Paotere hanya -03.00 m LWS (Bochary dan Misliah., 2016).

Pelabuhan Paotere merupakan Pelabuhan yang sampai saat ini masih beroperasi sebagai tempat berlabuhnya kapal-kapal lintas pulau. Adanya kegiatan perkapalan di sekitar Pelabuhan Paotere sehingga sangat nampak kondisi perairan yang tercemar hidrokarbon minyak bumi yang merupakan hasil buangan atau bersih-bersih kapal yang bersandar di Pelabuhan. Tentu saja hal ini menuntut perhatian lebih agar kondisi air laut tetap terjaga dan tidak tercemar hidrokarbon petroleum. Kondisi fisik pelabuhan Paotere jika dibandingkan dengan pelabuhan Soekarno atau pun pelabuhan lain, terasa sangat tidak efisien dan tidak efektif. Situasi di Pangkalan Pendaratan Ikan PPI Paotere

diramaikan oleh kesibukan para nelayan membongkar muat ikan, menimbang, transaksi ikan, dan pembersihan kapal. Limbah kapal yang dibuang langsung ke laut sehingga air laut menjadi tercemar. Karena hal ini dilakukan secara terus menerus maka kualitas perairan di Pelabuhan Paotere semakin menurun baik dari segi fisik, kimia maupun biologi. Dengan demikian dapat mengganggu keberlangsungan hidup dari biota laut. Keadaan perairan yang terkontaminasi tumpahan minyak sedikit banyak mempengaruhi tangkapan hasil laut para nelayan. Selain itu akan berbahaya jika dikonsumsi oleh manusia (Yahya., 2013).