

SKRIPSI

**ISOLASI DAN UJI KEMAMPUAN BIODEGRADASI BAKTERI ASAL
DERMAGA POPSA MAKASSAR DALAM MENDEGRADASI
HIDROKARBON PETROLEUM**



MUSDALIFAH

H041 18 1020

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

**ISOLASI DAN UJI KEMAMPUAN BIODEGRADASI BAKTERI ASAL
DERMAGA POPSA 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*

**MUSDALIFAH
H041181020**

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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ISOLASI DAN UJI KEMAMPUAN BIODEGRADASI BAKTERI ASAL
DERMAGA POPSA MAKASSAR DALAM MENDEGRADASI
HIDROKARBON PETROLEUM

Disusun dan diajukan oleh

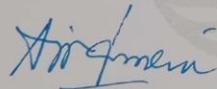
MUSDALIFAH

H041181020

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 17 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

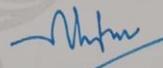
Menyetujui,

Pembimbing Utama



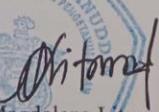
Prof. Dr. Dirayah R. Husain, DEA
NIP. 196005251986012001

Pembimbing Pertama



Dr. Nur Haedar, M.Si.
NIP. 196801291997022001

Ketua Program Studi


Dr. Magdalena Litaay, M.Sc
NIP. 196409291989032002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Musdalifah
NIM : H041181020
Program Studi : Biologi
Jenjang : S1

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

Makassar, 17 Januari 2023

Yang Menyatakan



Musdalifah

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur atas kehadiran *Allah Subhanahu wa Ta'ala, Rabb* alam semesta. *Rabb* yang telah menunjukkan hidayah islam dan menanamkan cahaya iman di lubuk hati yang paling dalam. *Rabb* yang telah mempermudah segala urusan dan persoalan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Isolasi dan Uji Kemampuan Biodegradasi Bakteri Asal Dermaga Popsa 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 dan salam kepada baginda Rasulullah *Shallahu 'alaihi wa Sallam* sebagai suri tauladan di muka bumi, untuk menyelamatkan umat manusia di dunia dan di hari kemudian.

Penulis menyadari bahwa proses penelitian dan penyusunan skripsi ini bukanlah hal yang mudah. Terdapat banyak tantangan dan kendala yang harus dihadapi dalam setiap prosesnya. Namun, dengan adanya do'a, dukungan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak, *Alhamdulillah* akhirnya penulis bisa menyelesaikan proses penelitian dan penyusunan skripsi di waktu yang tepat. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam proses penyelesaian skripsi ini. Semoga segala bentuk kebaikan yang telah diberikan, mendapat balasan yang lebih di sisi *Allah Subhanahu wa Ta'ala*.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada sosok yang pertama dan yang paling utama, ibunda tercinta Hj.Halijah Surur. Berkat limpahan kasih sayang, berbagai perjuangan, nasehat dan do'a-do'a beliau, akhirnya penulis bisa menyelesaikan amanah Ayahanda H. Mardawing *Rahimahullah* untuk menyelesaikan studi di perguruan tinggi. Semoga pencapaian ini bisa menjadi salah satu wadah kebahagiaan bagi ke dua orang tua penulis. Tak lupa pula penulis ucapkan banyak terima kasih kepada keluarga besar As-Surur yang telah banyak membantu baik itu dari segi moril maupun materil.

Penulis juga menyampaikan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Ibu Prof. Dr. Hj. Dirayah Rauf Husain, DEA. selaku pembimbing utama dan Ibu Dr. Nur Haedar, S.Si., M. Si. selaku pembimbing pertama yang senantiasa meluangkan waktu dan tenaga dalam memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada:

- Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Si., selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya.
- Bapak Dr. Eng Amiruddin, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf dan jajarannya yang senantiasa memberi arahan terkait bidang akademik.
- Ibu Dr. Magdalena Litaay, M.Sc selaku Ketua Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang senantiasa memberikan ilmu, nasehat, dan dukungan.

- Ibu Dr. Hj. Zohra Hasyim, M.Si. selaku Penasehat Akademik (PA) yang senantiasa sabar dalam memberi nasehat, masukan, dukungan dan bimbingan kepada penulis dari awal studi hingga penyusunan skripsi ini
- Bapak Dr. Eddyman W Ferial, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberi arahan dan saran serta motivasi selama proses penyusunan skripsi.
- Bapak/Ibu Dosen Departemen Biologi yang telah membimbing dan memberikan ilmunya kepada penulis selama proses perkuliahan.
- Kak Fuad Gani S.Si, dan Kak Rih Wardhani, S.Si, M.Si, yang telah memberikan bimbingan, saran dan ilmunya kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
- Raihan Nur karimah dan Andi Maipadiapati, yang telah bersedia menjadi teman penelitian dan teman dalam berbagai hal. Terima kasih atas segala bantuan, motivasi dan kisah-kisahnyanya selama masa perkuliahan sampai penyelesaian skripsi ini.
- Shamad dan Farhansyah Raffi Pasolong yang rela meluangkan waktu dan tenaganya dalam membantu proses pengambilan sampel sehingga penelitian ini dapat terlaksana.
- Nurlela, Andi Ainun Zulkiah Surur, S.Ft., Ftr. dan Nur Alfi Hidayati S.Si., M.Si, yang senantiasa bersedia mendengar keluh kesah penulis. Terima kasih telah memberikan dukungan dan do'a kepada penulis.
- Saudari seiman, akhwat Fii Sabilillah dan akhwat Mushallah Istiqamah yang senantiasa mengingatkan dan merangkul penulis dalam keadaan

apapun.

- Teman-teman seperjuangan Biologi angkatan 2018, yang telah banyak membantu, memberi semangat dan mendo'akan kemudahan dalam setiap proses penelitian yang penulis hadapi.
- Sahabat-sahabat komunitas Lentera Senja dan komunitas Lentera Negeri, terima kasih telah memberikan banyak pengalaman dan pelajaran kehidupan.
- Seluruh pihak yang telah terlibat, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyampaikan banyak terima kasih atas segala kebaikan dari semua pihak. Semoga mendapatkan balasan yang lebih baik dari *Allah Subhanahu wa Ta'ala* serta semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Makassar, 17 Januari 2023

Musdalifah

ABSTRAK

Minyak bumi merupakan salah satu komponen penting bagi kehidupan. Namun pesatnya perkembangan industri perminyakan telah menyebabkan pencemaran lingkungan, khususnya di lingkungan perairan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kondisi tersebut yaitu dengan memanfaatkan bakteri pendegradasi hidrokarbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan biodegradasi bakteri asal Dermaga Popsa, Makassar dalam mendegradasi hidrokarbon petroleum. Terdapat 2 (dua) jenis isolat yang diperoleh yaitu isolat PS 1 berbentuk bulat (Gram negatif) dan isolat PS 2 berbentuk batang (Gram positif). Hasil uji sebaran minyak (*Oil Spread*) menunjukkan bahwa pada isolat PS 1 zona halo yang terbentuk sebesar 1,5 cm sedangkan pada isolat PS 2 zona halo yang terbentuk sebesar 2,5 cm. Pada uji tegangan permukaan, ke dua isolat bekerja secara optimum pada fase akhir eksponensial dengan konsentrasi 4 mL, dengan nilai masing-masing 22,46 dyne/cm pada isolat PS 1 dan 28,1 dyne/cm pada isolat PS 2. Selain itu uji kemampuan biodegradasi hidrokarbon dari ke dua isolat yaitu isolat PS 1 sebesar 28,94 % dan isolat PS 2 sebesar 39,9 %.

Kata Kunci : Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon, Biodegradasi, Dermaga Popsa

ABSTRACT

Petroleum is an important component for life. On the other hand, rapid development of the petroleum industry has caused environmental pollution, especially in the aquatic environment. One effort that can be done to overcome this condition is utilizing carbon degrading bacteria. This study aims to determine the biodegradability of Popsa Jetty, Makassar in degrading petroleum hydrocarbon. There were 2 (two) types of isolates obtained, namely isolate PS 1 in the form of a round (Gram negative) and isolate PS 2 in the form of a rod (Gram positive). The results of the oil spread test showed that in PS 1 isolate the halo zone formed was 1.5 cm while in PS 2 isolate the halo zone formed was 2.5 cm. In the surface tension test, the two isolates worked optimally in the final exponential phase with a concentration of 4 mL, with respective values of 22.46 dyne/cm on isolate PS 1 and 28.1 dyne/cm on isolate PS 2. The carbon biodegradation of the two isolates was isolate PS 1 of 28.94% and isolate PS 2 of 39.9%.

Key words: Hydrocarbon Degrading Bacteria, Biodegradation, Popsa Jetty

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan.....	3
I.3 Manfaat	4
I.4 Waktu dan Tempat	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
II. 1 Klasifikasi Hidrokarbon.....	5
II.1.1 Hidrokarbon Alifatik	5
II.1.2 Hidrokarbon Aromatik	6
II.2 Minyak Bumi	7
II. 3 Biodegradasi Minyak Bumi	9

II. 4 Mekanisme Biodegradasi.....	12
II. 5 Biosurfaktan.....	15
II.6 Dermaga Popsa Makassar	17
METODE PENELITIAN	19
III.1 Alat dan Bahan	19
III.1.1 Alat.....	19
III.1.2 Bahan	19
III.2 Metode Kerja	19
III.2.1 Pengambilan Sampel.....	19
III.2.2 Sterilisasi Alat dan Bahan.....	20
III.2.3 Pembuatan Media Pertumbuhan	20
III.2.4 Pembuatan Nutrisi Tambahan.....	21
III.2.5 Pertumbuhan Isolat pada Media Cair.....	21
III.2.6 Isolasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum.....	21
III.2.7 Pemurnian Isolat Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	22
III.2.8 Karakterisasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	22
III.2.9 Uji Sebaran Minyak (<i>Oil Spread</i>) pada Bakteri Kultur (Nayarisseri <i>et al.</i> , 2018)	23
III.2.10 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri	23
III.2.11 Uji Tegangan Permukaan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum (Tensio Aktif) (Qazi <i>et al.</i> , 2014).....	24
III.2.12 Uji Kemampuan Biodegradasi Hidrokarbon (Bekele <i>et al.</i> , 2022)....	25
III.3 Analisis Data	26

HASIL DAN PEMBAHASAN	27
IV.1 Pengambilan Sampel.....	27
IV.2 Pertumbuhan Isolat pada Media Cair	28
IV.3 Isolasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	30
IV.4 Karakterisasi Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	33
IV.5 Uji Oil Spread Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum	36
IV.6 Pengukuran Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	38
IV.7 Uji Tegangan Permukaan Bakteri Laut Pendegradasi Hidrokarbon Petroleum.....	41
IV.8 Uji Kemampuan Biodegradasi Hidrokarbon.....	44
KESIMPULAN DAN SARAN	49
V.1 Kesimpulan.....	49
V.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Mikroorganisme potensial pendegradasi bahan pencemar hidrokarbon.....	12
2. Hasil Uji Tegangan Permukaan.....	64
3. Hasil Perhitungan Persentase Biodegradasi Hidrokarbon.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Jalur Biodegradasi Hidrokarbon Secara Aerobik dan Anaerobik	14
2. Efek Biosurfaktan pada Biodegradasi Minyak Bumi.....	16
3. Layout Dermaga Popsa	17
4. Lokasi Pengambilan Sampel PS 1 dan PS 2	28
5. Pertumbuhan Sampel Bakteri dari Sedimen PS 1 pada Media ALS.....	29
6. Pertumbuhan Sampel Bakteri dari Sedimen PS 2 pada Media ALS.....	29
7. Pertumbuhan Isolat Bakteri hari T ₁ dan T ₇ pada Media Marine Agar ...	32
8. Pengamatan Morfologi Koloni	34
9. Pengamatan Morfologi Sel.....	35
10. Uji <i>Oil Spread</i> isolat PS 1 dan PS 2	37
11. Grafik Kurva Pertumbuhan Kultur PS 1	39
12. Grafik Kurva Pertumbuhan Kultur PS 2	40
13. Diagram Hasil Uji Tegangan Permukaan Kultur Isolat Bakteri PS 1	42
14. Diagram Hasil Uji Tegangan Permukaan Kultur Isolat Bakteri PS 2	43
15. Pertumbuhan Isolat Bakteri PS 1 hari T ₁ dan T ₁₃ pada Media ALS	45
16. Pertumbuhan Isolat Bakteri PS 2 hari T ₁ dan T ₁₂ pada Media ALS	45
17. Pertumbuhan Isolat Bakteri PS 1 dan PS 2 hari T ₁ dan T ₁₄ pada Media Marine Agar	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Prosedur Penelitian.....	59
2. Foto Pertumbuhan Isolat PS 1 Hari $T_0 - T_7$ pada Media ALS.....	60
3. Foto Pertumbuhan Isolat PS 2 Hari T_0-T_7 pada Media ALS.....	61
4. Foto Pertumbuhan Isolat Bakteri PS 1 Hari $T_0 - T_7$ pada Media Marine Agar	62
5. Foto Pertumbuhan Isolat Bakteri PS 2 Hari $T_0 - T_7$ pada Media Marine Agar	63
6. Hasil Uji Tegangan Permukaan	64
7. Hasil Perhitungan Persentase Biodegradasi Hidrokarbon.....	65
8. Foto Prosedur Penelitian	67

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Minyak bumi adalah suatu senyawa hidrokarbon yang terbentuk dari penguraian senyawa organik dari hewan, tumbuhan, maupun jasad renik yang mati pada jutaan tahun yang lalu. Proses penguraian ini terjadi pada suhu dan tekanan yang tinggi menjadikan suatu perubahan reaksi hidrokarbon yang kompleks (Ardiatma *et al.*, 2019). Minyak bumi mengandung bahan kimia yang bervariasi yaitu senyawa aspal, heterosiklik, alkana normal, sikloalkana isoalkana, aromatik, dan aromatik polisiklik (Hamad *et al.*, 2021). Karena komposisinya yang rumit, minyak bumi berpotensi menimbulkan berbagai jenis efek toksik. Senyawa ini dapat menyebabkan toksisitas akut ataupun toksisitas kronis (Al-wasify *and* Hamed., 2016).

Pesatnya perkembangan industri perminyakan dan produk-produknya, serta meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil minyak bumi telah menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius. Hal ini menjadikan minyak bumi sebagai kelompok pencemar terbesar di dunia. Menurut Hassanshahian *et al.*, (2020) polusi minyak bumi dapat masuk ke perairan melalui beberapa cara, diantaranya melalui tumpahan minyak dari reservoir, proses vulkanik di laut dalam dan melalui tumpahan minyak bumi dari proses pengangkutan minyak, proses ekstraksi minyak, serta proses pemuatan minyak bumi. Landrigan *et al.*, (2020) menambahkan bahwa, saat terjadi tumpahan minyak, senyawa tersebut melepaskan bahan kimia beracun ke daerah perairan, senyawa ini dapat

terakumulasi dalam jaring makanan, menghancurkan perikanan komersial, operasi akuakultur, dan mengurangi fotosintesis pada mikroorganisme laut yang menghasilkan oksigen. Selain itu, senyawa ini dapat melepaskan bahan kimia beracun yang mudah menguap ke atmosfer seperti benzena serta dapat menyebabkan garis pantai menjadi kotor.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk memulihkan lingkungan perairan yang terkena dampak tumpahan minyak, hal ini bertujuan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan dan kerugian ekonomi yang disebabkan oleh keberadaan hidrokarbon (Rodrigues *et al.*, 2020). Alternatif remediasi meliputi metode fisik, kimia, dan biologi. Remediasi fisik dan kimia biasanya menyebabkan dispersi polutan dan tidak menghilangkannya hidrokarbon secara keseluruhan dari lingkungan (Bao *et al.*, 2012).

Dari ketiga metode tersebut, metode biologi dianggap sebagai cara terbaik untuk memulihkan lingkungan ekologi laut karena bersifat ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polusi sekunder (Chen *et al.*, 2017). Menurut Cai *et al.*, (2021) jika dibandingkan dengan teknologi fisik dan kimia, biodegradasi merupakan teknik yang andal dan relatif hemat biaya untuk mengatasi polusi minyak. Lebih lanjut, dalam Husain *et al.*, (1997) dijelaskan bahwa biodegradasi adalah jalur utama untuk menghilangkan hidrokarbon di lingkungan laut yang terkontaminasi. Hal ini dikarenakan mikroorganisme yang digunakan dalam proses biodegradasi mampu menghasilkan senyawa yang dikenal sebagai biosurfaktan. Menurut Husain (2005), sebagian besar mikroorganisme memproduksi biosurfaktan sebagai respon terhadap keberadaan hidrokarbon didalam media tumbuh.

Beberapa penelitian telah melaporkan kemampuan beberapa organisme yang diisolasi dari lingkungan yang tercemar, termasuk jamur, bakteri, dan alga untuk menggunakan hidrokarbon minyak bumi sebagai satu-satunya sumber karbon dan sumber energi. Lebih dari 70 genera dan 200 spesies mikroorganisme telah ditemukan mampu mendegradasi hidrokarbon minyak bumi. Mayoritas pengurai hidrokarbon minyak bumi berasal dari genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium* dan *Corynebacterium*. Beberapa genus tersebut dinilai dapat mengoksidasi komponen minyak bumi melalui aktivitas metabolisme dan digunakan untuk pengolahan biologis pada daerah yang terkontaminasi minyak.

Kondisi ini mendorong peneliti untuk terus melakukan penelitian terhadap wilayah yang tercemar limbah minyak bumi guna memperoleh isolat bakteri yang lebih unggul. Salah satu wilayah di kota Makassar yang telah mengalami pencemaran adalah Dermaga Popsa Makassar. Hal ini dapat dilihat dari limbah minyak yang menutupi sebagian permukaan air laut. Kondisi ini diperparah dengan adanya tumpahan minyak (*oil spill*) dari sambungan pipa Pertamina yang bocor ketika akan *star bunker* pada 20 Mei 2020 yang lalu. Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian ini untuk memperoleh isolat bakteri asal Dermaga Popsa Makassar dan untuk mengetahui kemampuannya dalam mendegradasi hidrokarbon petroleum.

I.2 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mendapatkan isolat bakteri dari Dermaga Popsa Makassar yang mampu mendegradasi hidrokarbon petroleum.

2. Mengetahui kemampuan degradasi hidrokarbon petroleum isolat bakteri yang berasal dari Dermaga Popsa Makassar.

I.3 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi terkait kemampuan bakteri asal Dermaga Popsa Makassar dalam menurunkan tegangan permukaan dan mendegradasi senyawa hidrokarbon petroleum.

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 senyawa organik yang hanya mengandung unsur karbon dan hidrogen. Berdasarkan strukturnya, hidrokarbon dibagi menjadi dua golongan utama yaitu alifatik dan aromatik. Hidrokarbon alifatik tidak mengandung gugus benzena atau cincin benzena, sedangkan hidrokarbon aromatik mengandung satu atau lebih cincin benzena (Chang., 2005).

II.1.1 Hidrokarbon Alifatik

Dikutip dari Sastrohamidjojo (2014), Hidrokarbon alifatik terdiri atas senyawa hidrokarbon jenuh dan tidak jenuh. Keluarga hidrokarbon alifatik meliputi alkana, alkena, alkuna dan sikloalkana.

Alkana biasa disebut dengan senyawa hidrokarbon jenuh, karena hanya memiliki ikatan tunggal C-H dan C-C saja. Alkana memiliki rumus umum C_nH_{2n+2} , di mana n adalah bilangan asli yang menyatakan jumlah atom karbon. Alkana juga sering disebut sebagai senyawa alifatik (Yunani = *aleiphas* yang berarti lemak). Hal ini dikarenakan lemak-lemak hewani mengandung karbon rantai panjang yang mirip dengan alkana (Prasojo., 2011).

Alkena merupakan senyawa hidrokarbon yang mengandung ikatan rangkap karbon-karbon. Adanya ikatan rangkap dua membuat alkena memiliki hidrogen lebih sedikit dibandingkan alkana pada jumlah karbon sama, dan hal ini membuat alkena disebut senyawa tidak jenuh. Contohnya etilena/etena memiliki

rumus C_2H_4 , sedangkan etana C_2H_6 . Alkena merupakan senyawa nonpolar. Alkena tidak dapat larut dalam air, namun dapat larut dalam alkena lain, pelarut-pelarut organik nonpolar dan etanol (Prasojo., 2011).

Alkuna adalah senyawa hidrokarbon yang mengandung ikatan rangkap tiga karbon-karbon. Ikatan rangkap tiga dihasilkan dari interaksi karbon-karbon yang terhibridisasi sp . Ketika dua atom karbon yang terhibridisasi sp saling berinteraksi maka akan terbentuk satu ikatan σ dan dua ikatan π . Telah diketahui bahwa sudut ikatan pada karbon yang terhibridisasi sp adalah 180° , dengan demikian, asetilena C_2H_2 , adalah molekul linear dengan sudut ikatan $H-C \equiv C$ sebesar 180° (Prasojo., 2011).

Selain alkana dengan rantai terbuka, di alam juga terdapat alkana dalam bentuk cincin. Senyawa tersebut dinamakan sikloalkana atau senyawa alisiklik (alifatik siklik). Apabila cincin sikloalkana adalah $-CH_2-$ maka senyawa tersebut memiliki rumus umum $(CH_2)_n$ atau C_nH_{2n} . Dalam beberapa hal, sifat kimia sikloalkana mirip dengan alkana asikloik (rantai terbuka). Keduanya sama-sama non polar dan cenderung inert. Akan tetapi terdapat perbedaan mendasar. Pertama, sikloalkana kurang fleksibel dibandingkan dengan alkana rantai terbuka. Ikatan tunggal (ikatan sigma) pada alkana asiklik dapat berputar (Prasojo., 2011).

II.1.2 Hidrokarbon Aromatik

Senyawa hidrokarbon aromatik adalah senyawa yang memiliki cincin benzen dengan 6 atom karbon dan 1 atom hidrogen pada setiap karbon. Keadaan ini menyebabkan satu elektron tersisa untuk membentuk ikatan ganda (Opuene *et al.*, 2007). Senyawa PAH dapat memiliki beberapa cincin aromatik mulai dari

4, 5, 6, ataupun 7 cincin, tetapi yang paling banyak dengan 5 atau 6 cincin. PAHs dengan 6 cincin aromatik disebut alternant PAH. Alternant PAH tertentu disebut "benzoid" PAH, nama ini berasal dari benzena yang merupakan hidrokarbon aromatik dengan 6 cincin. Senyawa PAH berasal dari 3 proses, yaitu pirolisis, petrogenik, dan diagenetik. PAH dengan 3 cincin dihasilkan oleh proses petrogenik, sedangkan PAH dengan 4, 5 dan 6 cincin dihasilkan oleh proses pirolisis (Rachmawani *et al.*, 2016). Lingkungan PAH dapat berasal dari sumber alami, seperti emisi vulkanik, dan dari sumber yang terkait dengan aktivitas manusia (sumber buatan atau disebut juga sumber antropogenik), seperti pembakaran batu bara, emisi gas buang kendaraan, oli pelumas mesin, dan rokok merokok (Sampaio *et al.*, 2021).

II.2 Minyak Bumi

Minyak bumi adalah cairan kental berwarna coklat pekat atau gelap yang mudah terbakar dan berada di lapisan atas dari beberapa area di kerak bumi. Minyak bumi berasal dari pelapukan hewan dan tumbuhan berjuta tahun yang lalu yang menghasilkan produk minyak yang terkumpul dalam pori-pori batu kapur atau batu pasir. Oleh karena itu, pori-pori batu kapur tersebut yang sifatnya kapiler, maka dengan prinsip kapilaritas, minyak bumi yang telah terbentuk tersebut dengan secara perlahan-lahan bergerak ke atas. Saat gerakan tersebut terhalang oleh batuan yang tidak berpori, maka terjadilah penumpukan dalam batuan tersebut (Nybakken., 1992).

Dikutip dari Astuti dan Titah (2020), proses terbentuknya minyak bumi dijelaskan berdasarkan dua teori, yaitu:

1. Teori Anorganik

Teori Anorganik menyatakan bahwa minyak bumi berasal dari reaksi kalsium karbida, CaC_2 (dan reaksi antara batuan karbonat dan logam alkali) dan air menghasilkan asetilen yang dapat berubah menjadi minyak bumi pada temperatur dan tekanan tinggi.



2. Teori Organik

Teori Organik menyatakan bahwa minyak bumi terbentuk dari proses pelapukan dan penguraian secara anaerob jasad renik (mikroorganisme) dari tumbuhan laut dalam batuan berpori.

Minyak bumi adalah campuran dari berbagai hidrokarbon minyak bumi dimana *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) sebagai senyawa utamanya (Muthukamalam *et al.*, 2017). Senyawa ini disebut sebagai hidrokarbon karena hampir semuanya terdiri dari hidrogen dan karbon. Hidrokarbon menyumbang 50-98% dari minyak bumi dan dianggap sebagai komponen penting tergantung pada sumber minyak bumi. Komposisi utama minyak mentah yaitu Karbon 85-90 %, Hidrogen 10-14 %, Sulfur 0,2-3 %, Nitrogen < 0,1-2 %, Oksigen 1-1,5 %, dan Logam <1 % (Sayed *et al.*, 2021).

Pesatnya kegiatan pengolahan hidrokarbon minyak bumi dalam rilis industri minyak, menjadikannya sebagai kelompok pencemar lingkungan terbesar di dunia (Sayed *et al.*, 2021). Lingkungan yang tercemar minyak bumi dapat bersifat membahayakan karena senyawa hidrokarbon bersifat toksik dan karsinogenik (Hamad *et al.*, 2021). Adapun dampak pencemaran hidrokarbon minyak bumi menurut Galitskaya *et al.*, (2021) yaitu meningkatkan suhu

permukaan tanah, mengubah kandungan bahan organik tanah, menyebabkan gangguan suplai oksigen dan air, menghambat anggota komunitas tanah, menyebabkan gangguan membran nonspesifik, menyebabkan kerusakan fungsi membran, penghambatan pertumbuhan, dan menyebabkan lisis sel.

II. 3 Biodegradasi Minyak Bumi

Proses biodegradasi polutan di lingkungan bersifat kompleks secara kuantitatif dan kualitatif, tergantung pada sifat dan jumlah polutan, kondisi lingkungan ambien dan musiman, serta komunitas mikroorganisme indigenus (Ekpo *and* Udofia, 2008). Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk memulihkan lingkungan perairan yang terkena dampak tumpahan minyak, hal ini bertujuan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan dan kerugian ekonomi yang disebabkan oleh keberadaan hidrokarbon (Tate *et al.*, 2012). Untuk mencapai remediasi yang efektif dari lokasi yang terkontaminasi minyak bumi, metode remediasi yang sesuai perlu dipilih berdasarkan sifat jenis lahan dan luas dari area yang terkontaminasi minyak bumi (Li *et al.*, 2021). Dalam penelitian Rodrigues *et al.*, (2020) alternatif remediasi dikelompokkan menjadi 3 yaitu meliputi metode fisik, kimia, dan biologi.

Beberapa metode kimia yang seringkali dilakukan yaitu remediasi elektrokinetika, ekstraksi pelarut dan radiasi gelombang mikro (Li *et al.*, 2021). Sementara itu, Doerffer (2013) melaporkan bahwa metode remediasi dengan metode fisik-kimia yaitu dengan menggunakan sorben, pendispersian, dan metode pembakaran minyak. Namun, remediasi dengan metode fisika dan kimia biasanya menyebabkan dispersi polutan dan tidak menghilangkan polutan sepenuhnya dari

lingkungan (Rodrigues *et al.*, 2020).

Oleh karena itu, beberapa penelitian menyarankan alternatif remediasi melalui metode biologis. Pengertian bioremediasi dikutip dari Santos *et al.*, (2018) adalah teknik yang memanfaatkan kemampuan organisme hidup untuk mengurangi, menurunkan dan/atau menghilangkan kontaminan dari ekosistem laut dan darat, sehingga meminimalkan risiko terhadap kesehatan manusia dengan memulihkan ekosistem ke kondisi normalnya. Prinsip dasar bioremediasi adalah mengurangi kelarutan, reaksi redoks dan adsorpsi kontaminan dari lingkungan yang tercemar. Dalam penelitian Astuti dan Titah (2020), yaitu menggunakan metode fitoremediasi. Fitoremediasi adalah salah satu teknologi yang menggunakan tumbuhan dengan tujuan membersihkan air, tanah, maupun udara yang tercemar. Tumbuhan dapat digunakan untuk memisahkan atau mendetoksifikasi berbagai jenis kontaminan yang terdapat di lingkungan. Tumbuhan dalam mendegradasi pencemar organik yang dalam kasus ini merupakan polutan petroleum hidrokarbon melakukan mekanisme rizodegradasi pada akar, fitodegradasi dalam tumbuhan, dan fitovolatilasi pada daun.

Adapun dalam penelitian Wardhani dan Titah (2020), terdapat 3 pendekatan yang umum dilakukan untuk mengaplikasikan teknologi bioremediasi yaitu bioatenuasi, bioaugmentasi dan biostimulasi. Bioatenuasi adalah proses pemulihan lingkungan tercemar dengan memanfaatkan mikroorganisme yang ada pada lingkungan dan membiarkan proses biodegradasi terjadi secara alami tanpa intervensi (tanpa penambahan apapun). Bioaugmentasi adalah proses dimana jumlah mikroba ditambahkan jika lingkungan tercemar tidak memiliki jumlah

mikroba yang cukup untuk mendegradasi jumlah pencemar yang terkandung. Sedangkan, biostimulasi adalah proses pemulihan lingkungan tercemar dengan menambahkan jumlah nutrisi atau ko-substrat lainnya untuk menstimulasi mikroba pendegradasi. Penambahan nutrisi ditinjau dari rasio C: N: P yang terkandung pada media tercemar.

Proses pengolahan secara biologis baru-baru ini mendapat banyak perhatian (Sayed *et al.*, 2021). Biodegradasi yang memanfaatkan kemampuan mikroorganisme untuk menggunakan polutan sebagai sumber karbon dan energi, dinilai sebagai metode yang paling efisien, karena relatif lebih murah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan pendekatan kimia dan fisika (Nzila., 2018). Bioremediasi lingkungan yang terkontaminasi oleh hidrokarbon adalah metode yang telah dipraktikkan dalam beberapa cara seperti teknologi "in-situ" atau "ex-situ" (Benyahia *and* Embaby., 2016).

Secara khusus, kelompok mikroorganisme yang mampu menggunakan sumber karbon yang berasal dari senyawa hidrokarbon disebut mikroorganisme hidrokarbonoklastik. Karakteristik mikroorganisme hidrokarbonoklastik yang tidak dimiliki oleh mikroorganisme lain adalah kemampuannya mengekskresikan enzim hidroksilase, yaitu enzim pengoksidasi hidrokarbon, sehingga bakteri ini mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi dengan memotong rantai hidrokarbon tersebut menjadi lebih pendek (Nugroho., 2006).

Pada berbagai penelitian, telah ditemukan beberapa genus mikroorganisme yang dinilai berpotensi dalam pendegradasi bahan pencemar hidrokarbon. Beberapa jenis bakteri tersebut dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Mikroorganisme potensial pendegradasi bahan pencemar hidrokarbon

Mikroorganisme	Bahan Pencemar pada Penelitian	Referensi
<i>Ochrobactrum anthropic</i> , <i>Streptophomonas</i> , <i>Bacillus cereus</i>	TPH (<i>Total Petroleum Hydrocarbon</i>)	Mariano <i>et al.</i> , 2007
<i>Micrococcus varians</i> , <i>Bacillus substillis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Minyak mentah	Ekpo and Udofia., 2008
<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus sp.</i> <i>Alcaligenes sp.</i> <i>Flavobacterium sp.</i> <i>Micococus roseous</i> <i>Corinebacterium sp.</i>	<i>Petroleum hydrocarbon</i>	Das and Chandran., 2011
<i>Bacillus subtilis</i>	TPH (<i>Total Petroleum Hydrocarbon</i>)	Abdulsalam <i>et al.</i> , 2011

II. 4 Mekanisme Biodegradasi

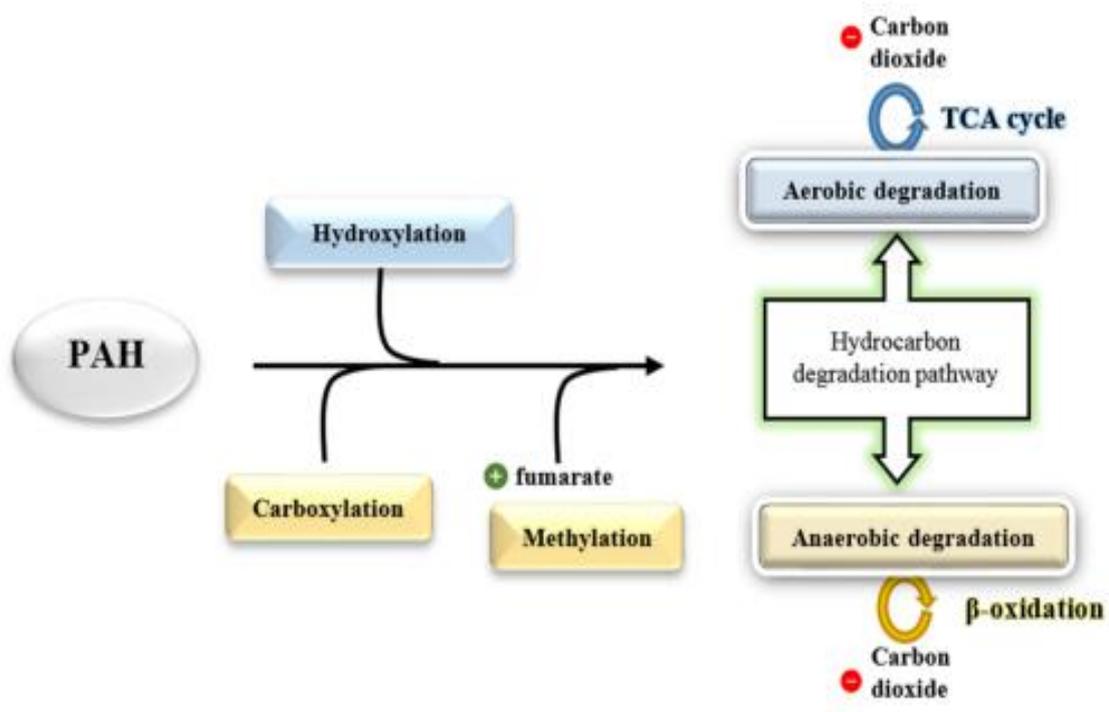
Biodegradasi adalah suatu proses biologi dimana terjadi perombakan senyawa oleh aktifitas agen biologis baik senyawa toksik maupun non-toksik, menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dalam penelitian Husain *et al.*, (1997) untuk mikroorganisme yang tumbuh pada substrat yang tidak larut dalam air, masalah utama yang masih harus dipecahkan adalah perpindahan massa substrat dari media suspensi ke permukaan sel. Tiga mode transfer telah dilaporkan (Rosenberg 1986; Goswami dan Singh 1991; Husain *et al* 1997): (i) kontak dengan hidrokarbon terlarut dalam fase air; kelarutan hidrokarbon sangat lemah tetapi dapat ditingkatkan bila faktor pelarut diproduksi; (ii) kontak langsung antara sel dan hidrokarbon, yang bergantung pada kapasitas adhesi sel; dan (iii)

kontak langsung dengan hidrokarbon teremulsi melalui senyawa aktif permukaan bernama biosurfaktan.

Biosurfaktan yang dihasilkan oleh mikroba dapat melarutkan hidrokarbon dalam fase cair, mengurangi tegangan permukaan, meningkatkan aksesibilitas mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon. Mikroba mentransfer hidrokarbon ke dalam sel dengan cara interaksi sel dengan hidrokarbon yang terlarut dalam fase air, melalui proses difusi atau transport aktif atau dengan interaksi sel dengan tetesan hidrokarbon yang teremulsi oleh sel bakteri. Secara garis besar, hidrokarbon akan teroksidasi atau terpecah oleh bantuan enzim hingga menghasilkan aldehid dan asam sederhana yang dapat masuk ke dalam proses metabolisme seperti siklus kreb dan proses transpor elektron. Siklus Kerb akan menghasilkan ATP, NADH FADH₂ dan melepaskan CO₂ sedangkan NADH dan FADH, masuk ke dalam proses transpor elektron menghasilkan H₂O dan sejumlah ATP atau energi (Wardhani dan Titah., 2020).

Mekanisme biodegradasi hidrokarbon melibatkan dua jalur umum yaitu aerobik (tergantung oksigen) dan anaerobik (bebas oksigen). Degradasi mikroba hidrokarbon dalam kondisi aerobik melibatkan proses oksidatif yang dilakukan oleh oksigenase dan peroksidase sebagai serangan awal. Jalur ini sering diperlukan dalam degradasi hidrokarbon, karena jumlah oksigen melimpah di permukaan air laut, berbeda dengan ketersediaan oksigen di kolom air dan air laut dalam (Verasoundarapandian *et al.*, 2021). Bagian bawah dasar laut bersifat anoksik di mana konsentrasi oksigen terbatas, tergantung pada jumlahnya minyak dan tingkat pembaruan oksigen oleh arus laut (Røy *et al.*, 2012).

Reaksi oksidatif diperantarai oleh enzim katalase, dehidrogenase, urease, polifenol peroksidase, dan oksidase. Oksidasi mikroba hidrokarbon minyak mentah berlangsung melalui urutan: reaksi katalitik yang menghasilkan produk metabolisme transisi, alkohol, aldehida, keton, lemak, dan asam karboksilat, yang akhirnya teroksidasi menjadi CO₂ (Hamad *et al.*, 2021).



Gambar 1. Jalur Biodegradasi Hidrokarbon Secara Aerobik dan Anaerobik (Verasoundarapandian *et al.*, 2021)

Biodegradasi potensial dipengaruhi oleh struktur kimia masing-masing senyawa, toksisitas, volubilitas, dan interaksi dengan molekul lain. Efektivitas bioremediasi didasarkan pada kemampuan mikroorganisme untuk mengoksidasi hidrokarbon minyak bumi secara enzimatik. Tingkat degradasi hidrokarbon berkorelasi dengan peningkatan populasi mikroorganisme dan aktivitas oksigenase (Hamad *et al.*, 2021). Biodegradabilitas hidrokarbon minyak bumi

menurun dalam urutan berikut: n-alkana > alkana bercabang > aromatik dengan berat molekul rendah > alkana siklik > berbobot molekul tinggi aromatik dan senyawa aromatik polisiklik. (Galitskaya *et al.*, 2021).

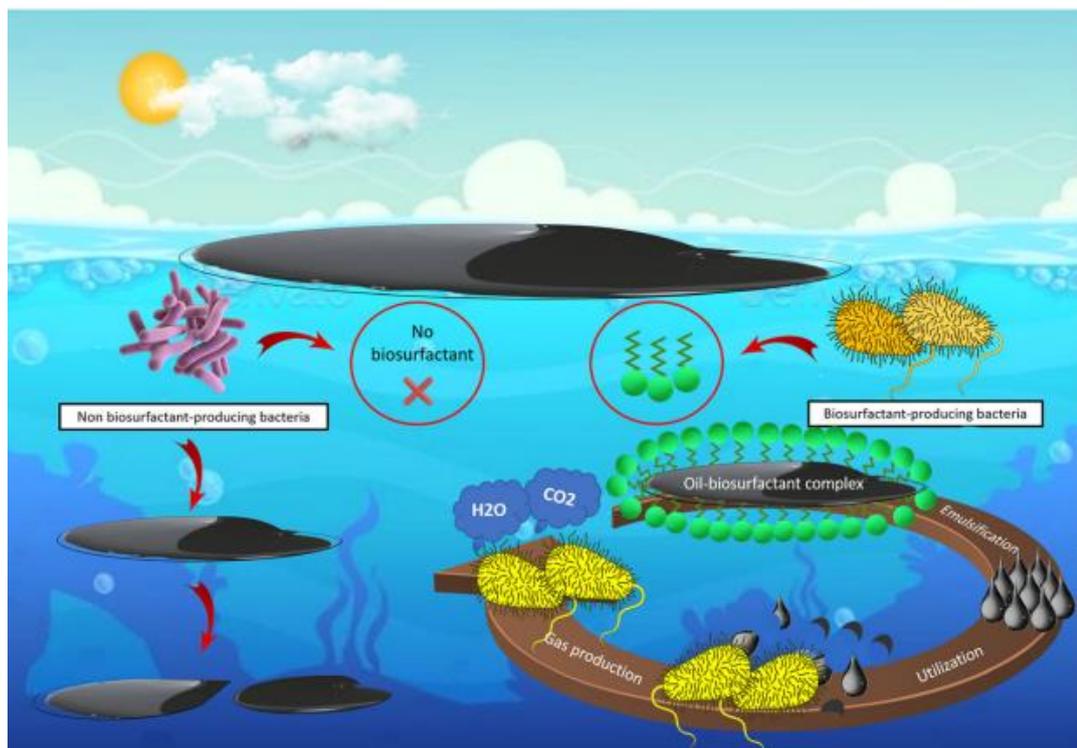
II. 5 Biosurfaktan

Biosurfaktan adalah senyawa yang diproduksi oleh tumbuhan dan hewan, tetapi sebagian besar diproduksi oleh mikroorganisme, seperti bakteri, ragi, dan jamur berfilamen. Biosurfaktan dapat menunjukkan sifat surfaktan yaitu mampu menurunkan tegangan permukaan dan memiliki kapasitas pengemulsi yang tinggi (Sanches *et al.*, 2021). Hal ini dikarenakan, biosurfaktan terdiri dari dua bagian yang berbeda sebagaimana adanya senyawa amfifilik yang memiliki bagian hidrofilik (polar) dan bagian hidrofobik (nonpolar) (Elenga-wilson *et al.*, 2021). Dikutip dari Adetunji *and* Olaniran (2021), biasanya bagian hidrofobik adalah rantai hidrokarbon yang terdiri dari asam lemak rantai panjang (jenuh atau tidak jenuh), sedangkan bagian hidrofilik terdiri atas ionik, non-ionik, amfoter, asam amino atau polisakarida.

Berdasarkan struktur molekulnya, biosurfaktan dapat digolongkan menjadi glikolipida, lipopeptida, kompleks polisakarida-protein, fosfolipida, asam lemak dan lipida netral (Oliveira *et al.*, 2021). Struktur molekul yang variatif tersebut menjadikan biosurfaktan memiliki potensi besar untuk diaplikasikan di berbagai industri, seperti remediasi, pertanian, deterjen, biopestisida, kilang minyak, biomedik, kosmetik dan lain-lain (Wibisana, 2018). Selain itu, menurut Al-Dhabi *et al.*, (2020) biosurfaktan memiliki efek kompatibilitas lingkungan yang baik,

toksistas rendah, selektivitas lebih tinggi, aktivitas spesifik, dan biodegradabilitas yang lebih baik dalam kondisi lingkungan yang ekstrim, seperti salinitas tinggi, pH, dan suhu yang ekstrim. Sifat-sifat ini menambah keuntungan bagi biosurfaktan sebagai alternatif yang baik untuk mendegradasi hidrokarbon minyak bumi.

Guna mengisolasi mikroorganisme penghasil biosurfaktan, area lautan yang tercemar minyak merupakan lokasi yang sangat potensial. Hal ini terkait dengan peran fisiologis biosurfaktan, yaitu dapat mengemulsikan substrat yang tidak larut dalam air melalui penurunan tegangan permukaan, sehingga mikroorganisme dapat menyerap substrat untuk digunakan dalam proses metabolisme, motilitas, sinyal sel, amensalisme, dan lain-lain (Van *et al.*, 2006; Wibisana., 2018).



Gambar 2. Efek Biosurfaktan pada Biodegradasi Minyak Bumi (Hassanshahian, 2020)

II.6 Dermaga Popsa Makassar

Kota Makassar merupakan kota yang terletak di pesisir pantai bagian selatan Pulau Sulawesi dan berbatasan langsung dengan Selat Makassar. Di kota ini terdapat beberapa dermaga yang sering kali digunakan untuk menyeberang pulau, salah satunya adalah Dermaga Popsa. Lokasinya bersebelahan langsung dengan benteng Rotterdam dan disekitarnya terdapat beberapa restoran yang terletak dibibir pantai. Dermaga Popsa berada pada titik koordinat $5^{\circ}08'07''\text{LS}$ $119^{\circ}24'20''\text{BT}$, yang dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 3 Layout Dermaga Popsa
(Sumber : Google Earth diakses pada tanggal 01/11/2021)

Dermaga ini dijadikan sebagai sumber mata pencarian masyarakat sekitar, salah satunya sebagai tempat menawarkan kapal atau perahu bagi orang-orang yang hendak menyeberang pulau. Aktivitas tersebut tentunya tidak lepas dari limbah yang dihasilkan. Seperti ceceran minyak dari kapal-kapal yang kemudian menutupi sebagian permukaan air laut. Kondisi ini diperparah dengan adanya tumpahan minyak (*oil spill*) dari sambungan pipa Pertamina yang bocor ketika akan *star bunker* pada 20 Mei 2020 yang lalu. Akibatnya, air di sepanjang bibir

pantai dan tembok pembatas berubah menjadi mengental dan berwarna hitam pekat. Begitu juga pasir yang berada disekitar dermaga kini berubah warna menjadi hitam kecoklatan.

Menurut Tanjung *et al.*, (2019) tingginya aktivitas dan pemanfaatan wilayah pesisir, dapat mempengaruhi standar perairan baik secara fisika, kimia, maupun biologis. Selain itu, Wardhani *et al.*, (2011) menambahkan bahwa limbah buangan yang dilakukan secara berkala dapat menyebabkan terakumulasinya tumpahan minyak ke dalam sedimen sebagai deposit hitam pada pasir di pantai sampai ke bibir pantai.