

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Bumi

Minyak bumi adalah suatu campuran cairan yang terdiri dari berjuta-juta senyawa kimia, yang paling banyak adalah senyawa hidrokarbon yang terbentuk dari dekomposisi yang dihasilkan oleh fosil tumbuh-tumbuhan dan hewan. Minyak bumi dan derivat minyak bumi menghasilkan bahan bakar kendaraan Universitas Sumatera Utara bermotor, pesawat terbang dan kereta api. Tumbuhan dan hewan juga menghasilkan minyak pelumas yang dibutuhkan untuk alat-alat mesin industri. (William,H,B.1995)

Minyak bumi merupakan senyawaan kimia yang terdiri dari unsur-unsur karbon, hidrogen, sulfur, oksigen, halogenida dan logam. Senyawa yang hanya terdiri dari unsur karbon dan hidrogen dikelompokkan kedalam senyawa hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon diklasifikasikan atas naftanik, farafinik dan aromatik sedangkan senyawa campuran antara unsur karbon, hidrogen, halogenida dan logam, dikelompokkan dalam senyawa non hidrokarbon. (Sunarko, 2001)

Minyak bumi mengandung 50-98% komponen hidrokarbon dan non hidrokarbon. Kandungannya bervariasi tergantung pada sumber minyak. Minyak bumi mengandung :

1. senyawa karbon 83,9-86,8%
2. hidrogen 11,4-14%
3. belerang 0,06- 8,0%
4. nitrogen 0,11-1,7%
5. oksigen 0,5%
6. logam (Fe, Cu, Ni), 0,03%.

Terdapat empat seri hidrokarbon minimal yang terkandung di dalam minyak bumi, yaitu seri n-paraffin (n-alkana) yang terdiri atas metana (CH₄), aspal yang memiliki atom karbon (C) lebih dari 25 pada rantainya, seri iso-

paraffin (isoalkana) yang terdapat hanya sedikit dalam minyak bumi, seri neptena (sikloalkana) yang merupakan komponen kedua terbanyak setelah n-alkana, dan seri aromatik. Komposisi senyawa hidrokarbon pada minyak bumi berbeda bergantung pada sumber penghasil minyak bumi tersebut (Mukhtasor, 2006)

Tabel 2.1` Komponen utama berbagai produk minyak bumi (Sudarmanto, 1998)

Jenis Produk	Komponen utama
Gas	Alkana dengan rantai karbon lurus dan bercabang (C1 – C5
Bensin	Hidrokarbon dengan rantai C6 – C10, rantai lurus maupun bercabang
Kerosin atau bahan bakar diesel no.1 dan jet fuel	Hidrokarbon dengan rantai C11 – C12, rantai lurus maupun bercabang. Senyawa dominan adalah nalkana, sikloalkana, aromatik, dan aromatic campuran. Umumnya mengandung benzene dan PAHs dalam jumlah yang sangat kecil
Bahan bakar diesel no. 2 dan bahan bakar gas ringan	Hidrokarbon denga rantai C12-C18, n-alkana (lebih rendah dari kerosín), sikloalkana, olefin dan aromatic campuran olefin dan styrene
Minyak pelumas ringan	Hidrokarbon rantai C18 – C25
Minyak pelumas berat	Hidrokarbon rantai C26 – C38
Aspal	Hidrokarbon polisiklik fraksi berat

2.1.1. Sumber Minyak Mentah (*Crude Oi*)

Indonesia kaya akan sumber daya alam termasuk berupa minyak bumi. Pengeboran minyak bumi di Indonesia, terdapat di pantai utara Jawa (Cepu, Wonokromo, Cirebon), Sumatra (Aceh, Riau), Kalimantan (Tarakan, Balikpapan) dan Irian (Papua). (Ika R, 2006)

Crude oil pada sampel ini berasal dari lapangan pemboran minyak milik warga Lokal Desa Talang Sungaiangit, Kecamatan Babat Toman, Kabupaten Musi Bumiasin, Provinsi Sumatera Selatan. Sebagian besar, warga di daerah tersebut mengolah minyak mentah tersebut dengan peralatan seadanya lalu digunakan untuk kegiatan sehari-harinya.



Gambar 2.1. Lokasi kilang warga di Desa Talang Sungaiangit

Pengeboran minyak bumi yang dilakukan warga Desa Talang Sungaiangit dapat mencemari lingkungan sekitar karena pengeboran dilakukan dengan alat seadanya sehingga pengolahan minyak bumi tersebut tidak dilakukan secara optimal yang berdampak pada lingkungan sekitar yang tercemar hasil pemboran

dan pengolahan minyak bumi. Minyak bumi tersebut berperan besar dalam pencemaran tanah dan air tanah di daerah tersebut.



Gambar 2.2. Pengumpulan dan pengolahan *crude oil* di Desa Talang Sungaiangit

2.1.2. Pengolahan Minyak Mentah (*Crude Oil*)

Minyak mentah (*Crude oil*) yang peroleh dari pengeboran berupa cairan hitam

kental yang pemanfaatannya harus diolah terlebih dahulu. Pengeboran minyak bumi di Indonesia, terdapat di pantai utara Jawa (Cepu, Wonokromo, Cirebon),

Sumatra (Aceh, Riau), Kalimantan (Tarakan, Balikpapan) dan Irian (Papua). (Ika, 2006)

Pengolahan minyak bumi melalui dua tahapan, diantaranya: Pengolahan pertama, Pada tahapan ini dilakukan “distilasi bertingkat memisahkan fraksi-fraksi minyak bumi berdasarkan titik didihnya. Komponen yang titik didihnya lebih tinggi akan tetap berupa cairan dan turun ke bawah. Sedangkan titik didihnya lebih rendah akan menguap dan naik ke bagian atas melalui sangkup-sangkup yang disebut sangkup gelembung.

Pengolahan kedua, Pada tahapan ini merupakan proses lanjutan hasil penyulingan bertingkat dengan proses sebagai berikut:

1. Perengkahan (cracking)
2. Ekstrasi
3. Kristalisasi
4. Pembersihan dari kontaminasi

2.1.3. Crude Oil sebagai B3

Limbahminyak yang berasal dari minyak mentah (*crude oil*) dan pengolahannya digolongkan dalam kategori limbah B3 (bahan berbahaya beracun). Menurut PP 101 tahun 2014 tentang Pengolahan Limbah berbahaya dan Beracun pada bab II di pasal 5(2) tertera karakteristik limbah B3 meliputi:

1. Mudah meledak
2. Mudah menyala
3. Reaktif
4. Infeksius
5. Korosif dan/atau
6. Beracun

Karakteristik tersebut terdapat pada *crude oil* sehingga pengolahannya harus sesuai dengan pengolahan limbah B3. Oleh karena itu tidak bisa dibuang langsung karena dapat menimbulkan bahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya. Penanganan limbah minyak yang tidak tepat akan menyebabkan terjadinya pencemaran :

- a. Pencemaran udara Pembakaran lumpur minyak akan menghasilkan gas buang SO_x, NO_x dan CO_x ke udara bebas. Gas-gas ini dapat menyebabkan terjadinya hujan asam.
- b. Pencemaran tanah Penimbunan lumpur minyak secara langsung akan menyebabkan minyak merembes ke dalam lapisan tanah sehingga mencemari tanah, sedangkan fraksi ringan minyak akan menguap karena panas dari sinar matahari dan menyebabkan pencemaran udara.

Limbah dikategorikan sebagai limbah berbahaya jika menunjukkan salah satu atau lebih dari empat karakteristik berikut (Dutta, 2002):

- a. Mudah terbakar

Untuk memperjelasnya dengan mudah, limbah dianggap *ignitable* (dapat menyala) jika sampel yang representatif mampu – pada temperatur dan tekanan standar – terbakar akibat gesekan, penyerapan kelembaban atau perubahan bahan kimia secara mendadak dan pada saat terbakar, pembakaran sangat besar dan terus menerus sehingga menyebabkan bahaya.

- b. Korosif

Limbah dikatakan dapat menunjukkan sifat korosif jika sampel yang representatif berbentuk cair di alam dan memiliki pH kurang dari atau sama dengan 2 atau lebih besar dari atau sama dengan 12,5 atau jika dapat merusak baja dengan kecepatan melebihi 6,35 mm (0,25 inch) per tahun pada temperatur uji 55°C (130°F) yang ditentukan dengan metode pengujian standar.

- c. Reaktif

Karakteristik limbah reaktif dapat diperlihatkan jika sampel representatif dari limbah umumnya tidak stabil dan siap mengalami perubahan besar seperti bereaksi dengan kasar membentuk campuran yang dapat meledak jika dicampur dengan air atau sianida atau sulfida yang mendorong limbah

terarah ke pH yang sangat rendah (2,0) atau tinggi (12,5) sehingga menimbulkan gas-gas beracun/asap dalam jumlah cukup untuk membahayakan kesehatan manusia atau lingkungan. Limbah juga dapat dikategorikan reaktif jika sampel yang representatif mampu meledak atau mampu mendekomposisi bahan peledak atau mampu bereaksi pada temperatur dan tekanan standar.

d. Beracun

Limbah memperlihatkan karakteristik beracun jika sampel yang representatif dari limbah mengandung kontaminan beracun pada konsentrasi yang cukup untuk mengancam kesehatan manusia atau lingkungan.

Mengingat resiko tersebut, maka diperlukan suatu pengelolaan pencemaran minyak ini secara khusus. Pengelolaan limbah minyak yang termasuk limbah B3 ini merupakan suatu rangkaian kegiatan yang mencakup penyimpanan, pengumpulan, pemanfaatan, pengangkutan dan pengolahan limbah B3 termasuk penimbunan hasil pengolahan tersebut.

2.2. Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses degradasi biologis dari sampah organik pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya di bawah batas yang ditentukan oleh lembaga berwenang. Sedangkan menurut United States Environmental Protection Agency (dalam Surtikanti, 2011:143), bioremediasi adalah suatu proses alami untuk membersihkan bahan-bahan kimia berbahaya. Ketika mikroba mendegradasi bahan berbahaya tersebut, akan dihasilkan air dan gas tidak berbahaya seperti CO₂.

Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut. Pada saat proses bioremediasi berlangsung, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi struktur polutan beracun menjadi

tidak kompleks sehingga menjadi metabolit yang tidak beracun dan berbahaya (Bambang, 2012)

Venosa (2002) menjelaskan bahwa bioremediasi merupakan suatu teknik yang berguna untuk menghilangkan minyak bumi yang tumpah dengan kondisi geografis dan iklim tertentu. Selain itu, juga dijelaskan bahwa minyak bumi tersusun dari komponen-komponen toksik dan mutagenik, sehingga diperlukan suatu teknologi dalam pembersihannya.

Cookson (1995) menjelaskan beberapa faktor yang diperlukan proses biologi dalam mendegradasi kontaminan, yaitu antara lain:

1. Keberadaan mikroorganisme pendegradasi kontaminan
2. Keberadaan substrat yang menjadi sumber karbon
3. Keberadaan *inducer* yang dapat mendorong pembentukan enzim spesifik
4. Keberadaan sistem akseptor-donor elektron
5. Kondisi lingkungan yang mendukung reaksi katalisis enzim
6. Nutrien yang menunjang pertumbuhan bakteri dan produksi enzim
7. Kisaran temperatur yang mendukung aktivitas mikrobahan reaksi katalisis
8. Tidak adanya material/substansi yang bersifat toksik terhadap mikroorganisme pendegradasi
9. Keberadaan organisme yang dapat mendegradasi produkmetabolit
10. Keberadaan organisme yang dapat mencegah terbentuknya senyawa toksik
11. Kondisi lingkungan yang dapat meminimasi organisme kompetitif yang berkaitan dengan keberlangsungan reaksi.

Berdasarkan agen proses biologis serta pelaksanaan rekayasa, bioremediasi dapat dibagi menjadi dalam Empat kelompok, yaitu (Vidali dalam Hardiani, dkk., 2011:32):

a. Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan proses teknologi yang menggunakan tumbuhan untuk memulihkan tanah yang tercemar oleh bahan polutan secara in situ. Teknologi ini dapat ditunjang dengan peningkatan

perbaikan media tumbuh dan ketersediaan mikroba tanah untuk meningkatkan efisiensi dalam proses degradasi bahan polutan.

b. Bioremediasi *in situ*

Bioremediasi *in situ* disebut juga bioremediasi dasar atau natural attenuation. Teknologi ini memanfaatkan kemampuan mikroba indigen dalam merombak polutan di lingkungan. Proses ini terjadi dalam tanah secara alamiah di dalam tanah secara alamiah dan berjalan sangat lambat

c. Bioremediasi *ex situ*

Bioremediasi *ex situ* dikenal sebagai metode dimana mikroorganisme diaplikasikan pada tanah atau air terkontaminasi yang telah dipindahkan dari tempat asalnya. Teknik *ex situ* terdiri atas: *Landfarming, Composting, Biopiles, Bioreactor*

d. Bioaugmentasi

Metode dengan menambahkan organisme dari luar (*exogenous microorganism*) pada subpermukaan yang dapat mendegradasi kontaminan spesifik.

Secara garis besar, Gordon (1994) menyebutkan ada 3 faktor yang mempengaruhi bioremediasi, yaitu mikroorganisme, nutrisi (substrat) dan faktor lingkungan. Venosa (2002) menyatakan bahwa ada 2 pendekatan utama dalam bioremediasi minyak bumi yaitu bioaugmentasi (penambahan mikroorganisme pendegradasi minyak bumi untuk membantu proses degradasi) dan biostimulasi (penambahan nutrisi atau substrat untuk menstimulasikan pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi).

2.3. Bakteri Pendegradasi

Bakteri berasal dari kata *bacterium*, dalam bahasa Yunani itu berarti tongkat atau batang. Sekarang nama itu dipakai untuk menyebut sekelompok

mikroorganisme yang bersel satu, tidak berklorofil, berbiak dengan pembelahan diri, serta demikian kecilnya sehingga hanya tampak dengan mikroskop (Dwidjoseputro, 1998).

Bakteri merupakan organisme mikroskopis yang mempunyai ciri-ciri : tubuh uniseluler, tidak berklorofil, bereproduksi dengan membelah diri, habitatnya dimana-mana (tanah, air, udara, dan makhluk hidup), diameternya 0.1-0.2 μm , bakteri aktif bergerak pada kondisi lembab. Beberapa bentuk bakteri yaitu basil, kokus, dan spirillum. Bentuk-bentuk tersebut dapat menunjukkan karakteristik spesies bakteri, tetapi bergantung pada kondisi pertumbuhannya. Hal ini dipengaruhi oleh keadaan lingkungan, medium, dan bakteri (Gandjar, 1992)

Pertumbuhan didefinisikan sebagai penambahan kuantitas konstituen seluler dan struktur organisme yang dapat dinyatakan dengan ukuran, diikuti penambahan jumlah, penambahan ukuran sel, penambahan berat atau massa dan parameter lain. Sebagai hasil penambahan ukuran dan pembelahan sel atau penambahan jumlah sel maka terjadi pertumbuhan populasi mikroba (Iqbal Ali, 2008).

Untuk tumbuh dan berkembang, bakteri memerlukan kondisi dan asupan bagi kegiatan berkembangnya. Faktor pertumbuhan bakteri adalah:

1. Mikroba membutuhkan nutrisi berupa protein, karbohidrat, lipid dan faktor pertumbuhan lainnya
2. Keadaan pH. Sebagian besar mikroba lebih senang tumbuh pada kondisi netral. Bakteri patogen pada pH 4,6 – 7,5
3. Suhu, hampir semua mikroba dapat hidup pada suhu antara 5°C – 50°C
4. Waktu, mikroba membutuhkan waktu untuk tumbuh rata-rata 20 menit untuk membelah diri.
5. Asupan oksigen
6. Kelembapan dan keadaan lingkungan

Pencemaran hidrokarbon minyak bumi di lingkungan dapat diatasi dengan berbagai cara. Salah satunya dengan menggunakan mikroorganisme yaitu bakteri. Beberapa spesies bakteri tertentu dapat mendegradasi hidrokarbon yang

mencemari lingkungan. Degradasi dengan bakteri merupakan cara yang paling baik untuk mengatasi pencemaran hidrokarbon karena tidak memiliki efek merusak lingkungan. Bakteri pendegradasi dapat menurunkan, memecahkan serta menguraikan rangkaian-rangkaian kompleks yang ada pada zat lain sehingga menjadi lebih sederhana.

Di dalam minyak bumi terdapat dua macam komponen yang dibagi berdasarkan kemampuan mikroorganisme menguraikannya, yaitu komponen minyak bumi yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme dan komponen yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Komponen minyak bumi yang mudah didegradasi oleh bakteri merupakan komponen terbesar dalam minyak bumi, yaitu alkana yang bersifat lebih mudah larut dalam air dan terdifusi ke dalam membran sel bakteri. Jumlah bakteri yang mendegradasi komponen ini relatif banyak karena substratnya yang melimpah di dalam minyak bumi. Isolat bakteri pendegradasi komponen minyak bumi ini biasanya merupakan pengoksidasi alkana normal (Handrianto, 2011).

Komponen minyak bumi yang sulit didegradasi merupakan komponen yang jumlahnya lebih kecil dibanding komponen yang mudah didegradasi. Hal ini menyebabkan bakteri pendegradasi komponen ini berjumlah lebih sedikit dan tumbuh lebih lambat karena kalah bersaing dengan pendegradasi alkana yang memiliki substrat lebih banyak. Isolasi bakteri ini biasanya memanfaatkan komponen minyak bumi yang masih ada setelah pertumbuhan lengkap bakteri pendegradasi komponen minyak bumi yang mudah didegradasi (Handrianto, 2011)

2.4. Substrat

Substrat adalah molekul organik yang telah berada dalam kondisi siap/segera bereaksi, karena telah mengandung promotor. Tubuh organisme hidup tersusun atas molekul organik, yaitu molekul yang mengandung atom karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Molekul organik ini ada 4 macam atau golongan yaitu:

1. Asam Nukleat

Asam nukleat merupakan molekul raksasa yang memiliki fungsi khusus yaitu, menyimpan informasi genetik dan menurunkannya kepada keturunannya. Susunan asam nukleat yang menentukan apakah makhluk itu menjadi hewan, tumbuhan, maupun manusia. Begitu pula susunan dalam sel, apakah sel itu menjadi sel otot maupun sel darah.

2. Protein

Protein terdapat pada semua sel hidup, mengandung unsur carbon, hidrogen, oksigen, nitrogen. Hewan mensintesis protein dari nutrisinya sedangkan tumbuhan membuat protein dari air dan garam-garam mineral.

3. Lemak

Lemak merupakan persenyawaan antara asam lemak dan gliserol. Lemak memiliki beberapa fungsi salah satunya adalah sebagai sumber energi terbesar, pelarut vitamin (A,D,E,K) sumber asam lemak esensial, pelindung organ tubuh.

4. Karbohidrat

Karbohidrat adalah senyawa yang mengandung unsur-unsur: C, H dan O,. Dinamakan karbohidrat karena senyawa-senyawa ini sebagai hidrat dari karbon; dalam senyawa tersebut perbandingan antara H dan O sering 2 berbanding 1 seperti air. Jadi $C_6H_{12}O_6$ dapat ditulis $C_6(H_2O)_6$, $C_{12}H_{22}O_{11}$ sebagai $C_{12}(H_2O)_{11}$ dan seterusnya, dan perumusan empiris ditulis sebagai $C_nH_{2n}O_n$ atau $C_n(H_2O)_n$ (Sastrohamidjojo, 2005).

2.4.1. Klasifikasi Karbohidrat dan Penamaan

Sastrohamidjojo (2005) menjelaskan bahwa karbohidrat dibagi menjadi beberapa golongan sesuai dengan sifat-sifatnya terhadap zat-zat penghidrolisis. Karbohidrat dibagi menjadi empat kelas pokok:

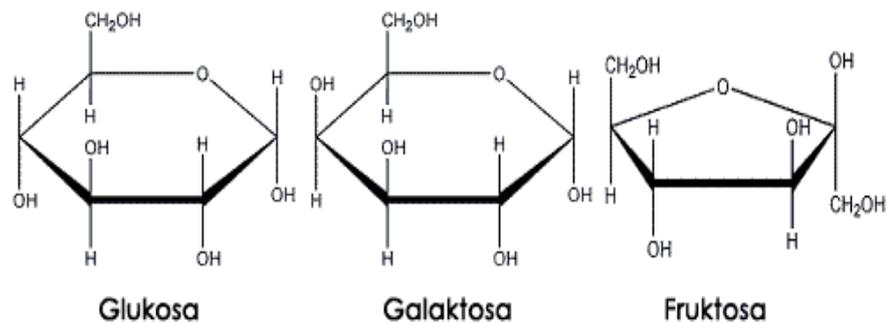
1. Monosakarida atau gula yang sederhana, kebanyakan adalah senyawa-senyawa yang mengandung lima dan enam atom karbon. Karbohidrat yang mengandung 6 karbon disebut heksosa. Gula yang mengandung 5 karbon disebut pentosa. Kebanyakan gula sederhana adalah merupakan polihidroksi aldehida yang disebut aldosa dan polihidroksi keton disebut ketosa. Contohnya seperti glukosa, fruktosa, galktosa.
2. Oligosakarida, senyawa berisi dua atau lebih gula sederhana yang dihubungkan oleh pembentukan asetal antara gugus aldehida dan gugus keton dengan gugus hidroksil. Bila dua gula digabungkan diperoleh disakarida, bila tiga diperoleh trisakarida dan seerusnya ikatan penggabungan bersama-sama gula ini disebut ikatan glikosida. Contohnya seperti sukrosa, laktosa, maltosa
3. Polisakarida, di mana di dalamnya terikat lebih dari satu gula sederhana yang dihubungkan dalam ikatan glikosida. Polisakarida meliputi pati, sellulosa dan dekstrin.
4. Glikosida, dibedakan dari oligo dan polisakarida yaitu oleh kenyataan bahwa mereka mengandung molekul bukan gula yang dihubungkan dengan gula oleh ikatan glikosid.

2.4.1.1. Glukosa

Glukosa merupakan salah satu tipe monosakarida dengan rumus molekul $C_6H_{12}O_6$ padatan kristal berwarna putih, berasa manis [75% dari kemanisan gula pasir (sukrosa) tetapi nilai kalorinya sama]. Merupakan gula yang banyak ditemukan di alam terutama dalam buahanggur (karenanya disebut gula anggur). Glukosa juga disebut dekstrosa karena strukturnya sebagian besar berada dalam bentuk D- yakni D-glukosa. Glukosa merupakan monomer yang ditemukan di alam sebagai dimer sampai polimer. Karbohidrat yang dikonsumsi tubuh umumnya diubah menjadi glukosa dan mengalami sirkulasi dalam tubuh (dalam darah

mengandung $\pm 0,08\%$ sedangkan dalam urine 0,2% glukosa). Dalam perdagangan, glukosa dibuat dari hidrolisa amilum (Mulyono, 2006).

Glukosa suatu gula monosakarida, karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga utama dalam tubuh. Glukosa merupakan prekursor untuk sintesis semua karbohidrat lain di dalam tubuh seperti glikogen, ribose dan deoxiribose dalam asam nukleat, galaktosa dalam laktosa susu, dalam glikolipid, dan dalam glikoprotein dan proteoglikan (Murray *et al.*, 2003).



Gambar 1. Monosakarida

Gambar 2.3. Struktur Kimia Karbohidrat (Murray *et al.*, 2003)

Mikroba sama dengan makhluk hidup lainnya, memerlukan suplai nutrisi sebagai sumber energi dan pertumbuhan selnya. Unsur-unsur dasar tersebut adalah : karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, sulfur, fosfor, zat besi dan sejumlah kecil logam lainnya. Ketiadaan atau kekurangan sumber-sumber nutrisi ini dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba hingga pada akhirnya dapat menyebabkan kematian.

Glukosa adalah bahan bakar dalam proses organisme biologis. Ketika energi kimia yang dibutuhkan, glukosa dioksidasi menjadi piruvat melalui proses yang dikenal sebagai glikolisis, yang merupakan sumber energi bagi organisme tertentu yang disebut anaerob obligat yang tidak dapat memanfaatkan oksigen

untuk metabolisme. Dalam organisme aerobik, bagaimanapun, piruvat biasanya terus maju ke reaksi siklus asam sitrat (TCAC) dan rantai transpor elektron, membentuk CO₂ dan air. Reaksi kemudian menghasilkan energi terutama dalam bentuk ATP. ATP adalah komponen yang berperan dalam proses metabolisme selain enzim dan reaksi oksidasi reduksi (Ferdianz, 1993). Dengan penambahan glukosa dapat meningkatkan metabolisme bakteri sehingga dapat bertumbuh lebih baik lagi.

2.5. Bioremediasi dengan Penambahan Co-Substrat

Banyaknya penelitian sebelumnya mengenai bioremediasi dengan penambahan konsentrasi substrat penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa bioremediasi dengan penambahan konsentrasi substrat efektif dalam menangani pencemaran minyak mentah di lingkungan. Venosa dan Zhu (2003) menyatakan bahwa jenis dan konsentrasi substrat yang optimal sangat bervariasi tergantung dari properti minyak dan kondisi lingkungan.

Penelitian bioremediasi oleh Syarifa dkk (2014) menunjukkan bahwa penambahan *co-substrat* pada Sistem *High Rate Algae Reactor* (HRAR) mampu menyisihkan konsentrasi minyak. Efisiensi penyisihan minyak oleh sistem HRAR untuk variasi penambahan minyak solar 346 ppm adalah dengan penambahan urea 0,1 gr/L sebesar 83,33%. Dapat disimpulkan dari hasil yang diperoleh, dengan semakin tingginya kadar minyak solar yang diberikan, pemberian substrat yang besar juga akan mempengaruhi kinerja bakteri dalam mendegradasi minyak solar.

Astri Nugroho (2006) melakukan penelitian bioremediasi dengan beberapa sumber karbon yaitu glukosa, parafin cair, heksadekana dan minyak mentah. Bioremediasi dengan penambahan bakteri *indigenous* hidrokarbon bertujuan untuk mengetahui penyisihan hidrokarbon yang paling efektif dari beberapa sumber karbon yang ditentukan. Media yang digunakan yaitu SMSS (*Stone Mineral Salt Solution*). Dengan hasil penyisihan hidrokarbon menggunakan glukosa menurun dari 42,25% menjadi 39,55% dalam waktu 120 jam atau setara dengan 5 hari

Penelitian oleh Surtiningsih dkk (2006) mengenai bioremediasi tumpahan minyak menggunakan metode biostimulasi menunjukkan bahwa penambahan nutrisi organik pada substrat mampu menurunkan konsentrasi minyak sampai dengan 88,25% dari konsentrasi awal. Hal tersebut menunjukkan metode biostimulasi dengan bahan organik memberikan pengaruh baik pada proses bioremediasi tumpahan minyak.

2.6. Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan ratusan bahan kimia yang secara alami muncul dari *crude oil*. *Crude oil* digunakan untuk membuat produk petroleum, yang dapat mengontaminasi lingkungan. Dikarenakan begitu banyaknya bahan kimia yang berbeda-beda di dalam *crude oil* dan produk petroleum lainnya, tidak dilakukan pengukuran masing-masing kandungan secara terpisah. Oleh karena itu pengukuran yang dilakukan di lapangan adalah jumlah *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)* (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 1999).

Petroleum berasal dari kata *petra* yang artinya batu dan *oleum* yang artinya minyak. Petroleum merupakan campuran kompleks yang terdiri dari senyawa hidrokarbon (98%), Sulfur (1 – 3%), Nitrogen (< 1%), Oksigen (< 1%), Logam atau mineral (< 1%), Garam (< 1%). Menurut EPA (*Environmental Protection Agency*), petroleum hidrokarbon berasal dari minyak mentah (*crude oil*). Beberapa kandungan bahan kimia yang terdapat di TPH adalah *hexane*, *jet fuel*, *mineral oils*, *benzene*, *toluene*, *xylenes*, *naphtalane*, dan *florene*, seperti halnya kandungan produk petroleum dan bensin lainnya.

2.7. Hipotesis

Berdasarkan pada hasil studi yang telah ditelaah maka dapat dibuat hipotesis bahwa penambahan *co- substrat* meningkatkan kinerja bakteri dalam mendegradasi *crude oil* pada media cair.