

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Minyak Jelantah**

Minyak Jelantah (*waste cooking oil*) adalah minyak limbah yang bisa berasal dari jenis-jenis minyak goreng seperti halnya minyak jagung, minyak sayur, minyak samin dan sebagainya, minyak ini merupakan minyak bekas pemakaian kebutuhan rumah tangga umumnya, dapat digunakan kembali untuk keperluan kuliner akan tetapi bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik, yang terjadi selama proses penggorengan. Jadi jelas bahwa pemakaian minyak jelantah yang berkelanjutan dapat merusak kesehatan manusia, menimbulkan penyakit kanker, dan akibat selanjutnya dapat mengurangi kecerdasan generasi berikutnya. Untuk itu perlu penanganan yang tepat agar limbah minyak jelantah ini dapat bermanfaat dan tidak menimbulkan kerugian dari aspek kesehatan manusia dan lingkungan.

##### **2.1.1 Komposisi dan Kandungan Minyak Jelantah**

Menurut Mahreni (2010), minyak goreng bekas adalah minyak makan nabati yang telah digunakan untuk menggoreng dan biasanya dibuang setelah warna minyak berubah menjadi coklat tua. Proses pemanasan selama minyak digunakan merubah sifat fisika-kimia minyak. Pemanasan dapat mempercepat hidrolisis trigliserida dan meningkatkan kandungan asam lemak bebas (FFA) di dalam minyak.

Kandungan FFA dan air di dalam minyak bekas berdampak negatif terhadap reaksi transesterifikasi, karena metil ester dan gliserol menjadi susah untuk dipisahkan. Minyak goreng bekas lebih kental dibandingkan dengan minyak segar disebabkan oleh pembentukan dimer dan polimer asam dan gliserid di dalam minyak goreng bekas karena pemanasan sewaktu digunakan. Berat molekul dan angka iodin menurun sementara berat jenis dan angka penyabunan semakin tinggi.

**Tabel 2.1** Komposisi Asam Lemak di Dalam Minyak Jelantah

Asam Lemak	Minyak Jelantah
Lauric	9,95
Myristic	0,19
Palmitic	8,9
Palmitoleic	0,22
Searic	3,85
Oleic	30,71
Linoleic	54,35
Linonelic	0,27
Arachidic	0,29
Gidoleic	0,18
Bahenic	0,61

(Mahreni, 2010)

**Tabel 2.2** Mutu Minyak Jelantah

Parameter	Mutu
Kadar Air (%)	1,2412
Kadar Kotoran (%)	3,2779
Bilangan Peroksida (mg O <sub>2</sub> / 100 g)	0,0168
Bilangan Asam	1,0037

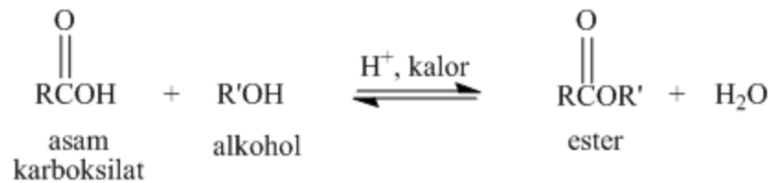
(La Ode, 2008)

## 2.2 Reaksi Esterifikasi

Esterifikasi adalah salah satu jenis dalam makna reaksi kimia, dimana terjadi pembentukan senyawa ester melalui prekursor dan mekanisme tertentu. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi umum yang banyak digunakan dalam berbagai industri seperti industri parfum, industri tekstil, polimer, dan lain-lain.

Esterifikasi merupakan reaksi antara asam karboksilat atau turunannya dengan alkohol melalui pelarut air yang menghasilkan produk hasil reaksi berupa senyawa ester. Senyawa ester yang terbentuk tergantung

dari asam karboksilat dan alkohol yang digunakan sebagai prekursor. Dalam reaksi ini, prekursor berarti bahan yang digunakan untuk bereaksi yaitu asam karboksilat dan juga alkohol. Kedua senyawa ini merupakan senyawa organik dasar yang memiliki struktur tertentu dan memungkinkan terjadinya reaksi antar kedua senyawa ini. (Anonim B, 2019)



**Gambar 2.1** Proses Esterifikasi

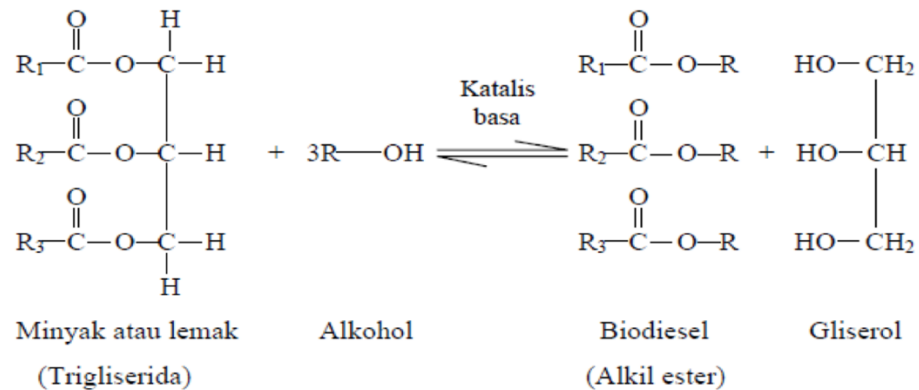
### 2.3 Reaksi Transesterifikasi

Secara kimia, transesterifikasi (juga disebut alkoholisis) berarti mengambil molekul trigliserida atau kompleks asam lemak, menetralkan asam lemak bebas, menghilangkan gliserol, dan membentuk alkil ester. Reaksi ini dapat dilihat pada Gambar 2. Katalis biasanya digunakan untuk memperbesar laju reaksi dan endemen. Secara teoritis, reaksi transesterifikasi adalah reaksi kesetimbangan. Dalam reaksi ini sejumlah besar alkohol digunakan untuk mengarahkan reaksi ekuilibrium ke kanan dan memproduksi metil ester, produk akhir yang diinginkan, dalam jumlah tinggi (Mahreni, 2010).

Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa biasanya menggunakan logam alkali alkoksida, NaOH, KOH, dan NaHCO<sub>3</sub> sebagai katalis. Menurut Julianus (2006) mengatakan bahwa, agar reaksi berjalan cepat tahap transesterifikasi memerlukan pengadukan dan pemanasan (50-60°C) atau di bawah titik didih methanol (64,7°C). Sedangkan reaksi transesterifikasi membutuhkan temperatur sekitar 40°C untuk memisahkan gliserin dan metil ester (biodiesel).

Pada reaksi transesterifikasi ini, sebagai reaktan dapat digunakan metanol atau etanol. Pada proses ini dipilih metanol sebagai reaktan karena

merupakan alkohol yang paling reaktif. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang bersifat reversible. Karena sifatnya yang reversible, maka pergeseran reaksi ke kanan (ke arah produk) biasanya dilakukan dengan menggunakan alkohol secara berlebih dari kesetimbangan stoikhiometri (Julianus, 2006).



**Gambar 2.2** Proses Transesterifikasi

## 2.4 Katalis

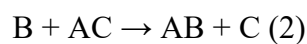
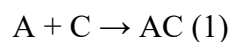
Katalis merupakan suatu zat yang mempercepat laju reaksi dari suatu reaksi kimia. Percepatan laju reaksi terjadi pada suhu tertentu dengan cara menurunkan energi aktivasi suatu reaksi, tanpa mempengaruhi hasil reaksi (produk). Perlu diketahui bahwa katalis ikut bereaksi. Hal ini bisa dibuktikan dengan melakukan eksperimen. Pada akhir reaksi, akan didapatkan bahwa efektivitas suatu katalis menjadi berkurang. Hal inilah yang menjadi bukti bahwa katalis ikut bereaksi dalam suatu reaksi. Suatu katalis berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk.

Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi.

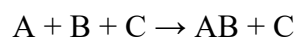
Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen

berada dalam fase yang sama. Satu contoh sederhana untuk katalisis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjerap. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai terbentuknya produk baru. katan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas.

Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya. Berikut ini merupakan skema umum reaksi katalitik, di mana C melambangkan katalisnya:



Meskipun katalis (C) termakan oleh reaksi 1, tetapi selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi,



katalis tidak termakan ataupun tercipta. Enzim adalah biokatalis. Penggunaan istilah "katalis" dalam konteks budaya yang lebih luas, secara bisa dianalogikan dengan konteks ini.

Beberapa katalis ternama yang di kembangkan di antaranya katalis Ziegler-Natta yang digunakan untuk produksi masal polietilen dan polipropilen. Reaksi katalitik yang paling di kenal ialah proses Haber untuk sintesis amoniak, yang menggunakan besia biasa sebagai katalis. Konverter katalitik yang di gunakan menghancurkan produk samping knalpot yang paling bandel di buat dari platina dan rodium .

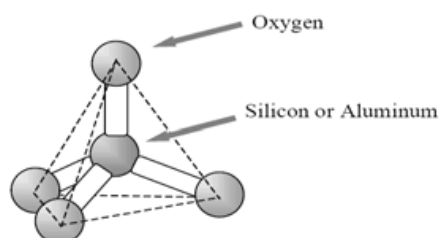
## 2.5 Zeolit

Secara umum zeolit adalah salah satu pembenah tanah alami, tetapi belum banyak di kenal dan digunakan oleh petani. Menurut sejarah zeolit telah di kenal dari 200 tahun yang lalu, masyarakat menggunakannya sebagai batu perhiasan serta di koleksi di berbagai musium di Eropa. Fredrick Cronstedt pada tahun 1756, ahli mineralogi bangsa swedia menemukan mineral stillbit, yang apabila di panaskan akan seperti batuan mendidih.

Pada tahun 1857, Damour menemukan zeolit dapat mengalami dehidrasi yang reversible tanpa mengalami perubahan struktu, sedangkan pada tahun 1896, Friedel telah meneliti beberapa pelarut organik seperti benzen, alkohol, dan kloroform, dapat di serap oleh zeolit setelah dehidrasi.

Sementara itu pengertian ilmiah dari zeolit adalah mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbentuk dari tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ . Kedua tetrahedral di atas dihubungkan oleh atom atom oksigen, menghasilkan struktur tiga dimensi terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom atom logam biasanya logam logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Breck, 1974; Chetam, 1992; Scot et al., 2003).

Umumnya struktur zeolit adalah suatu polimer anorganik berbentuk tetrahedral unit  $\text{TO}_4$ , dimana T adalah ion  $\text{Si}^{4+}$  atau  $\text{Al}^{3+}$  dengan atom O berada di antara dua atom T, seperti di tunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.



**Gambar 2.3** Struktur Kimia Zeolit

Struktur zeolit memiliki rumus umum  $\text{M}_{x/n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot w\text{H}_2\text{O}$ , di mana M adalah kation alkali atau alkali tanah, n adalah jumlah valensi kation, w adalah banyaknya molekul air per satuan unit sel, x dan y adalah angka total tetrahedral per satuan unit sel, dan nilai  $y/x$  biasanya bernilai 1 sampai 5, meskipun ditemukan juga zeolit dengan nilai  $x/y$  antara 10 sampai 100 (Bekum et al., 1991). Zeolit terbagi menjadi dua jenis yaitu :

#### 2.5.1 Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk

gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu debu vulkanik tersebut mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau lau tersebut (Setyawan, 2002)

**Tabel 2.3** Contoh Zeolit Alam yang Umum Ditemukan

No	Zeolit Alam	Komposisi
1	Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
2	Kabazit	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$
3	Klinoptilotit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
4	Erionit	$(\text{Na}, \text{Ca}_5\text{K})(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
5	Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
6	Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
7	Laumonit	$\text{Na}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
8	Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
9	Filipsit	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
10	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
11	Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Pada setiap zeolit terdapat kandungan air yang berada di dalam mineral zeolit dapat di bagi menjadi 2 bagian, yaitu air yang berada di luar sistem kristal dan yang menyatu dalam sistem kristal. Air yang berada di luar sistem kristal dapat menguap jika di panaskan sampai  $108^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam dan dapat di masuk kembali jika zeolit di dinginkan dan ada uap air di sekitarnya. Zeolit mempunyai kemampuan melepas dan menyerap kembali air dan mempertukarkan kation tanpa perubahan struktur kristalnya. Air kristal tidak dapat menguap dengan pemanasan tinggi  $105^{\circ}\text{C}$ . Air kristal berada dalam rongga rongga zeolit baru lepas dengan pemanasan sekitar  $300 - 400^{\circ}\text{C}$  dalam

waktu beberapa jam. Zeolit yang telah kehilangan air kristal di namakan zeolit yang telah teraktivasi dan dapat berfungsi sebagai pengabsorpsi kation yang efektif. Untuk menghilangkan air kristal ini, para penambang zeolit tradisional umumnya membakar zeolit. Sebelum digiling menjadi bubuk zeolit. Kation yang berada di dalam zeolit umumnya berasal dari kation monovalent dan divalent dari golongan alkali dan alkali tanah.

### 2.5.2 Zeolit Sintetis

Zeolit sintetis adalah zeolit yang di buat secara rekayasa sedemikian rupa sehingga di dapatkan karakter yang lebih baik dari zeolit alami. Prinsip dasar produksi zeolit sintetis adalah komponennya yang terdiri dari silikan alumina, sehingga dapat di sintesis dari berbagai bahan baku yang mengandung kedua komponen di atas. Komponen minor dalam zeolit juga dapat di tambahkan dengan mudah menggunakan senyawa murni, sehingga zeolit sintetis memiliki komposisi yang tetap dengan kemurnian yang tinggi. Beberapa di antaranya di sajikan dalam Tabel 2.2 sebagai berikut

**Tabel 2.4** Rumus Oksida Beberapa Jenis Zeolit Sintetis

No	Zeolit	Rumus Kimia
1	Zeolit A	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$
2	Zeolit N – A	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
3	Zeolit H	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
4	Zeolit L	$(\text{K}_2\text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
5	Zeolit X	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
6	Zeolit Y	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,8\text{SiO}_2 \cdot 8,9\text{H}_2\text{O}$
7	Zeolit P	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2-5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
8	Zeolit O	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
9	Zeolit $\Omega$	$(\text{Na}, \text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ TMA – $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+$
10	Zeolit ZK – 4	$0,85\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,15(\text{TMA})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,3\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
11	Zeolit ZK – 5	$(\text{R}, \text{Na}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$



Perkembangan teknologi memacu juga perkembangan zeolit sintetis terus dikembangkan, dengan dua fokus utama yaitu bahan baku dan metode. Dari segi bahan baku utama, di gunakan 2 jenis bahan baku yakni bahan baku sintetis dan bahan baku limbah.

Menurut Saputra, 2006, Zeolit sintetis sangat bergantung pada jumlah Al dan Si, sehingga terdapat 3 kelompok zeolit sintetis :

1. Zeolit sintetis dengan kadar Si rendah

Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai  $0,5 \text{ cm}^3$  tiap  $\text{cm}^3$  volume zeolit

2. Zeolit sintetis dengan kadar Si sedang

Jenis zeolit modernit mempunyai perbandingan Si/Al = 5 sangat stabil, maka di usahakan membuat zeolit Y dengan perbandingan Si/Al = 1 –

3. Contoh zeolite sintetis jenis ini adalah zeolit omega

3. Zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi

Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik untuk di gunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Zeolit jenis ini misalnya zeolit ZSM – 5, ZSM – 11, ZSM – 21, ZSM – 24.

## 2.6 Pelumas

Minyak Pelumas atau biasa yang disebut dengan Pelumas merupakan salah satu produk dari minyak bumi dan juga bisa dibuat dengan cara sintetis dengan melalui rangkaian proses kimia, yang mengandung senyawa – senyawa aromatic dengan beberapa indeks viskositas rendah dan tidak dapat dipisahkan dengan mesin (Sani, 2010).

Fungsi utama pada dari pelumas itu sendiri mengurangi gesekan dan keausan (Wear) antara dua bidang atau permukaan yang bersinggungan, sebagai media pembawa panas/pendingin untuk mencegah adanya karat pada setiap mesin itu sendiri. Pada prinsip dasar dari sistem kerja pelumas itu sendiri untuk mencegah terjadinya gesekan antara dua permukaan logam yang bergerak pada

mesin, sehingga gerakan dari masing – masing logam dapat lancar tanpa banyak energi yang terbuang (Mang T, 2001).

Menurut Sukirno (1988) beberapa sifat penting yang sangat dibutuhkan agar minyak lumas dapat berfungsi dengan baik adalah:

- a. Low volatility atau tidak mudah menguap, terutama pada kondisi operasi. Volatilitas suatu minyak lumas penting sekali dalam pemilihan jenis pelumas dasar sesuai pemakaian.
- b. Fluiditas atau sifat mengalir dalam daerah suhu operasi.
- c. Stabilitas selama periode pemakaian. Sebagian sifat ini ditentukan oleh aditif.
- d. Kompatibilitas atau kecocokan dengan bahan lain dalam sistem

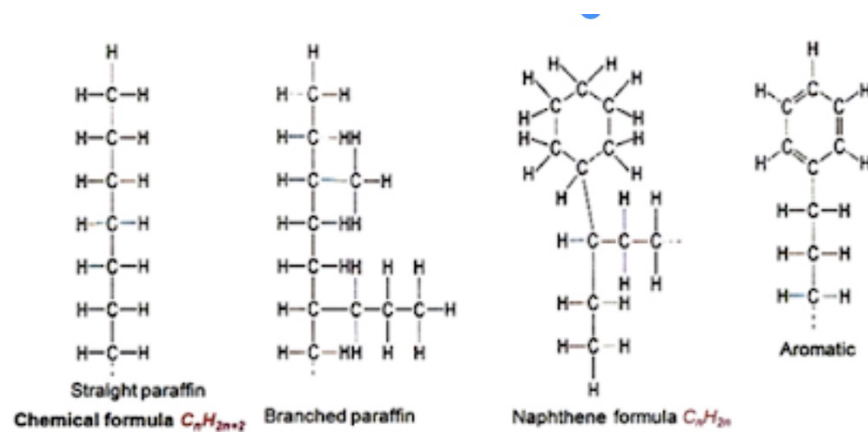
Pada umumnya pelumas memiliki komposisi yang terdiri dari 90% minyak dasar dan 10% zat tambahan. Minyak pelumas dasar dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu minyak mineral, organik, dan sintesis. Minyak mineral merupakan minyak pelumas dasar yang berasal dari hasil pengilangan minyak bumi. Minyak organik berasal dari komponen lemak tumbuh-tumbuhan (nabati) dan hewan (hewani). Minyak sintesis berasal dari bahan kimia yang mengalami proses sintesis hidrokarbon misalnya, poli-a-olefin, golongan ester, atau golongan naftalen teralkilasi (Misriyanto, 2009)

Secara umum bahan pelumas diklasifikasikan berdasarkan wujud dari materialnya, yakni liquid (cair), semi liquid (grease), dan padat. Pelumas liquid sangat kita pahami sebagai pelumas oli dan cukup lazim kita temui sebagai pelumas mesin kendaraan bermotor, gearbox, ataupun sistem lainnya. Pelumas semi liquid lebih dikenal sebagai grease memiliki kekentalan lebih tinggi dibandingkan dengan pelumas oli dan memang cenderung lebih “padat” daripada oli. Sedangkan pelumas padat memiliki wujud padat dan dibutuhkan pada kasus-kasus tertentu yang tidak dimungkinkan untuk menggunakan pelumas oli maupun grease.

#### 1. Pelumas Cair

Sebagian besar pelumas oli yang beredar di pasaran dan paling banyak penggunaannya terbuat dari bahan dasar minyak bumi. Oleh karena itulah

sering kali kita menyebutnya sebagai mineral oil, yakni oli yang berbahan dasar dari minyak bumi hasil tambang (mining). Oli mineral dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu Paraffinic, Naphtenic, dan Aromatic. Pengklasifikasian tersebut dilakukan berdasarkan sifat kimiawi serta fisika dari berbagai jenis oli mineral.



Struktur Kimia Oli Mineral

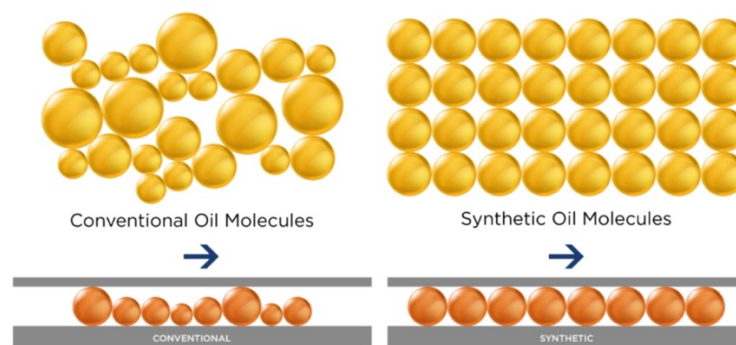
**Gambar 2.4** Struktur Kimia Oli Mineral

- Oli Paraffinic (parafin) diproduksi melalui proses pemecahan molekul hidrokarbon minyak bumi atau biasa dikenal dengan hydrocracking. Sebagian besar molekul oli parafin memiliki struktur molekul rantai hidrokarbon panjang dan tidak bercincin. Oli parafin memiliki kestabilan viskositas dan tahan terhadap oksidasi. Oli ini memiliki titik temperatur bakar tinggi serta titik temperatur alir (pour point) tinggi. Pour point (titik alir) adalah titik temperatur dimana sebuah cairan memadat dan kehilangan kemampuannya untuk mengalir. Oli parafin sangat baik digunakan pada mesin manufaktur, untuk pelumas mesin industri, serta pada proses produksi industri karet, tekstil, dan kertas.
- Oli Naphtenic diproduksi dari minyak bumi melalui proses distilasi atau penyulingan. Sebagian besar molekul oli naphtenic memiliki struktur cincin hidrokarbon jenuh. Dengan struktur kimia semacam itu, oli tipe ini memiliki tingkat viskositas rendah, titik bakar rendah

(mudah terbakar), titik alir rendah, serta ketahanan terhadap oksidasi yang relatif rendah. Karena sifatnya yang mudah terbakar, maka oli naphtenic lebih cocok digunakan pada kondisi temperatur kerja rendah, terutama untuk pendingin trafo industri, serta pendingin pada proses permesinan.

- Aromatic oil merupakan hasil dari proses pemurnian lebih lanjut dari oli parafin. Melalui proses pemurnian tersebut didapatkan oli dengan struktur hidrokarbon cincin-tak-jenuh. Cincin hidrokarbon tersebut bersifat jauh lebih stabil dan tidak mudah putus, sehingga oli aromatik memiliki titik bakar lebih tinggi. Pelumas oli aromatik berwarna hitam dan sangat lazim digunakan sebagai bahan seal manufaktur, serta sebagai perekat dan pengencer produksi aspal.

Pelumas oli mineral memiliki keterbatasan paling besar yakni kurangnya ketahanan terhadap temperatur kerja tinggi. Aromatic oil memang memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi, akan tetapi tingkat kekentalannya terlalu besar sehingga tidak mudah digunakan sebagai pelumas mesin. Solusi dari kelemahan tersebut adalah dibuatnya oli melalui proses sintesa sehingga didapatkan oli dengan spesifikasi terbaik sesuai dengan yang dibutuhkan. Pelumas jenis ini biasa kita kenal sebagai oli sintesis, sebab oli tipe ini tidak berasal dari minyak bumi melainkan dari bahan organik maupun anorganik yang melewati proses-proses khusus sehingga didapatkan spesifikasi yang dibutuhkan terutama ketahanan terhadap temperatur tinggi.



**Gambar 2.5** Perbedaan Struktur Oli Mineral dan Oli Sintesis

Pelumas oli sintetis memiliki beberapa tipe yang diklasifikasikan berdasarkan perbedaan karakteristiknya, yakni:

- Polyalphaolefins (PAO) menjadi oli sintetis yang paling populer digunakan. Struktur kimia dan karakteristik PAO identik dengan oli mineral. Oli sintetis hidrokarbon jenis ini diproduksi melalui proses polimerisasi molekul hidrokarbon dari gas etilen dengan menggunakan katalisator logam.
- Polyglycols (PAG). PAG diproduksi dari proses oksidasi etilena dan propilena. Hasil oksidan selanjutnya dipolimerisasi untuk membentuk polyglycol. Oli jenis ini bersifat larut di dalam air, memiliki koefisien gesekan rendah, serta tahan terhadap tekanan kerja tinggi sekalipun tidak ditambahkan aditif tekanan tinggi.
- Oli Ester. Tipe oli sintetis berikut diproduksi dengan mereaksikan asam dan alkohol dengan air. Karakter oli ester adalah ketahannya terhadap temperatur tinggi dan rendah.
- Silikon. Silikon termasuk ke dalam polimer anorganik yang memiliki struktur molekul rantai berbentuk seperti tulang belakang dengan gugusan Si=O. Oli sintetis tipe ini yang paling populer adalah polydimethylsiloxane (PDMS) dengan monomer  $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}$ . PDMS diproduksi dari silikon dan metilklorida. Contoh lain oli sintetis tipe ini adalah polymethylphenylsiloxane dan polydiphenylsiloxane. Viskositas oli silikon tergantung dari panjang molekul polimer serta derajat sambungan silang (cross-link) molekulnya. Sambungan pendek tidak silang molekul menghasilkan oli yang encer, sedangkan sambungan panjang silang molekul akan menghasilkan oli silikon elastis. Pelumas silikon mampu bekerja pada kisaran temperatur  $-73^\circ\text{C}$  hingga  $300^\circ\text{C}$ .

Perpaduan antara oli mineral dengan oli sintetis biasa disebut dengan oli semi-sintetis. Dengan campuran maksimal sebanyak 30% oli sintetis, diharapkan akan didapatkan pelumas dengan kualitas tidak jauh berbeda dengan oli murni sintetis, namun dengan harga yang lebih terjangkau. Oli

sintetis memang dikenal mahal karena proses pembuatannya yang lebih rumit dibandingkan dengan biaya mengolah oli mineral.

Kelebihan pelumas oli :

- Kelebihan yang paling utama adalah sangat cocok digunakan pada mesin-mesin putaran tinggi.
- Memiliki viskositas rendah sehingga mudah membentuk lapisan film pelumas di setiap permukaan logam yang dilindungi dan memastikan selalu ada jarak antara dua permukaan komponen yang bertemu.
- Karena berfase cair maka ia sangat mudah menyerap dan memindahkan panas.

Kekurangan pelumas oli :

- Membutuhkan ruang yang lebih besar untuk menampung oli.
- Membutuhkan sistem sealing untuk mencegah oli bocor keluar.
- Membutuhkan tambahan sistem pendingin jika pelumas bekerja pada temperatur ekstrim.
- Tidak tahan terhadap oksidasi, kontaminasi air, dan pengotor-pengotor seperti debu atau yang sejenisnya.

## 2. Pelumas Semi – Cair

Pelumas grease dibuat dengan jalan mengemulsi oli mineral atau oli nabati dengan pengemulsi metalik atau air pada suhu 400-600°F (204-316°C). Melalui proses ini didapatkan sebuah jenis pelumas yang memiliki tingkat kekentalan tinggi melebihi viskositas oli dan cenderung padat.

Grease memiliki karakteristik khas, yang membuatnya sangat cocok digunakan pada sebuah sistem mekanis yang hanya bisa dilubrikasi secara berkala, serta sistem yang tidak mungkin dapat dilubrikasi oleh oli. Grease juga berfungsi sebagai sealent untuk mencegah masuknya air atau material lain ke dalam sistem mesin. Karakteristik grease ditentukan oleh tipe oli (mineral, sintetis, nabati, atau lemak hewani), tipe pengemulsi (litium, sodium, kalsium, garam-garaman), serta aditif yang digunakan sebagai bahan baku (tekanan tinggi, perlindungan korosi, anti oksida, dan lain

sebagainya). Berikut adalah enam macam grease berdasarkan parameter-parameter di atas :

- Campuran Oli Mineral dengan Padatan. Grease tipe ini sangat cocok digunakan pada peralatan-peralatan dengan beban sangat tinggi serta bekerja pada kecepatan rendah. Contohnya adalah pengaduk bahan beton, dan bearing pada conveyor alat konstruksi berat.
- Campuran Oli Aspal dengan Oli Ringan. Pelumas tipe ini tergolong sebagai grease ringan dengan kekentalan sedikit rendah. Sangat cocok digunakan pada komponen-komponen terbuka yang bertemu langsung dengan atmosfer. Kelebihan utama dari pelumas ini adalah kemampuannya untuk membentuk lapisan film yang mampu bertahan pada temperatur panas maupun dingin.
- Extreme-Pressure Grease (EP Grease). Karakteristik unik dari EP Grease adalah adanya penambahan aditif khusus yang membuatnya memiliki kekuatan sangat baik untuk diaplikasikan pada berbagai macam kondisi ekstrim. Pelumas ini membentuk lapisan film yang justru bersifat mencegah pelumas untuk terlepas dari dua permukaan komponen, sehingga mencegah kedua permukaan komponen tersebut untuk bergesekan secara langsung. Lapisan film ini terbentuk dari adanya reaksi kimia antara logam dengan zat aditif pada grease, dan justru akan semakin kuat jika ada tekanan lebih terhadap grease. Beberapa zat aditif yang digunakan pada grease ini antara lain adalah klorin, fosfor, sulfur aktif maupun pasif, zinc, timbal, serta asbestos. Pemilihan zat aditif sangat bergantung dari jenis penggunaan grease seperti beban, kecepatan, kondisi permukaan, serta karakteristik mesin.
- Roll-Neck (RN) Grease. RN grease sangat lazim digunakan pada bearing sederhana pada mesin-mesin berputar. Grease tidak memiliki karakteristik istimewa sehingga hanya cocok digunakan pada bearing dengan beban kerja rendah.
- Soap Thickened Mineral Oils (STMO). Grease tipe ini menjadi yang paling banyak digunakan di dunia industri, sebab ia menggunakan

oli mineral sebagai bahan utamanya dengan penambahan zat aditif kimia yang disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan. Zat aditif tersebut antara lain adalah sodium, barium, lithium, kalsium, serta aluminium.

- Grease Multi-Fungsi. Grease multi-fungsi memiliki karakteristik unik yaitu menggabungkan dua atau lebih sifat-sifat dari grease tertentu. Dengan cara ini akan didapatkan satu jenis grease yang mampu bekerja untuk beberapa kondisi berbeda. Dengan metode ini, bahkan kita dapat membuat satu jenis grease multi-fungsi untuk menggantikan hingga enam grease khusus. Sebagai contoh grease yang menggunakan emulsi lithium, selain memiliki ketahanan terhadap air dan korosi, ia juga memiliki ketahanan mekanis dan oksidasi yang baik.

Kelebihan grease :

- Bertahan di hanya satu titik pelumasan yang diperlukan.
- Tidak mudah rusak karena cat ataupun partikel-partikel debu atmosfer.
- Tidak memerlukan pemberian grease yang terlalu sering.
- Cocok digunakan pada poros tegak/vertikal.
- Membantu proses sealing karena tidak mudah ditembus partikel debu.
- Tahan air.
- Cocok digunakan pada mesin dengan beban kejut, kecepatan rendah, serta beban tinggi.

Kekurangan grease :

- Karena wujudnya yang semi-solid, maka sifatnya tidak dapat menjadi pendingin.
- Sekali saja pengotor debu masuk dan bercampur dengan grease, ia tidak dapat dibersihkan. Sehingga partikel tersebut akan menjadi gangguan bagi performa grease.

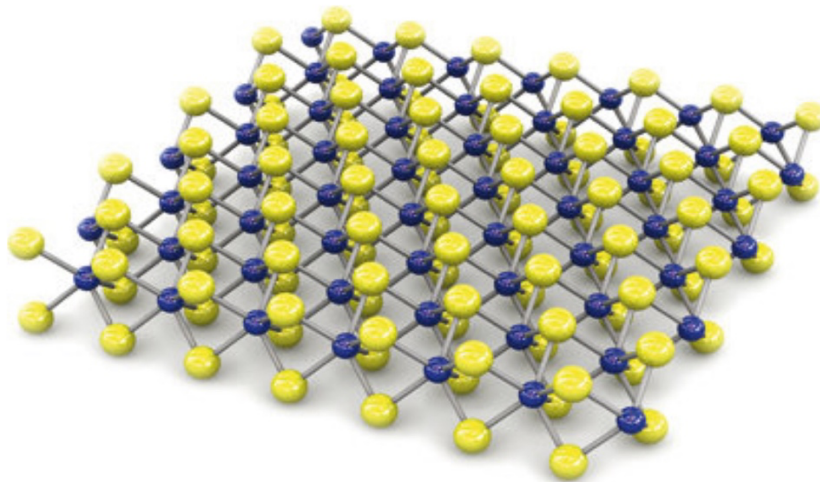


### 3. Pelumas Padat

Karena wujudnya yang semi-solid, maka sifatnya tidak dapat menjadi pendingin.

Sekali saja pengotor debu masuk dan bercampur dengan grease, ia tidak dapat dibersihkan. Sehingga partikel tersebut akan menjadi gangguan bagi performa grease.

- Grafit banyak digunakan di kompresor udara, industri makanan, sambungan rel kereta, roda gigi terbuka, ball bearing, serta alat-alat perbengkelan. Grafit juga lazim digunakan pada gembok dan mesin kunci. Hal ini dilakukan karena jika digunakan oli untuk melumasi mesin kunci, debu-debu di udara justru mudah menempel dan akan cepat merusak komponen-komponen mesin. Grafit mampu bekerja hingga temperatur 900°F (482°C). Di atas temperatur tersebut grafit akan teroksidasi dan meningkatkan nilai koefisien geseknya.
- Molibdenum disulfida (MoS<sub>2</sub>) menjadi bahan pelumas padat kedua setelah grafit yang paling banyak digunakan. MoS<sub>2</sub> memiliki karakter unik yang berbeda dengan grafit, jika grafit membutuhkan kelembaban dalam udara untuk melubrikasi komponen mesin, molibdenum disulfida tidak membutuhkan kelembaban tersebut. Bahkan MoS<sub>2</sub> mampu bekerja pada kondisi udara vakum, karena hal inilah ia cocok digunakan pada peralatan-peralatan ruang angkasa. Di udara bebas molibdenum disulfida mampu bertahan hingga temperatur 700°F (371°C), di atas temperatur tersebut akan mengakibatkan MoS<sub>2</sub> teroksidasi membentuk MoO<sub>3</sub> dan SO<sub>2</sub>. Oksidasi tersebut bersifat menyerap kelembaban udara dan menaikkan koefisien gesekannya. Pada kondisi vakum yang tidak dimungkinkan terjadi proses oksidasi, molibdenum disulfida mampu bertahan hingga temperatur 2100°F (1150°C).



Susunan molekul Molibdenum Disulfida

**Gambar 2.6** Susunan Molekul Molibdenum Disulfida

- Pelumas padat Heksagonal Boron Nitrida (h-BN) sangat baik bekerja pada temperatur rendah dan tinggi bahkan hingga  $900^{\circ}\text{C}$ . Pelumas ini sangat cocok digunakan apabila sifat konduktivitas listrik serta reaktifitas kimia dari grafit menjadi masalah. Kelebihan lain dari h-BN dibandingkan dengan grafit adalah sifat lubrikatifnya yang tidak memerlukan molekul air atau gas untuk terperangkap di antara lapisan-lapisan molekulnya. Karena itulah h-BN juga cocok digunakan pada kondisi vakum seperti halnya molibdenum disulfida.
- Polytetrafluoroethylene (PTFE) menjadi bahan pelumas padat dikarenakan molekul penyusunnya yang mudah bergeser relatif terhadap molekul lainnya dengan hanya diberikan sedikit gaya geser. PTFE baik digunakan pada kondisi vakum maupun lingkungan atmosfer (hingga  $290^{\circ}\text{C}$ ).

Kelebihan pelumas padat :

- Lebih efektif ketimbang pelumas oli pada mesin dengan beban tinggi.
- Sangat stabil pada kondisi temperature tinggi, serta pada kondisi lingkungan beradiasi dan reaktif.

- Membuat desain mesin menjadi lebih sederhana karena tidak dibutuhkan ruang lebih seperti jika menggunakan pelumas oli.
- Kebersihan mesin lebih terjaga.

Kekurangan pelumas padat :

- Jika sekali saja lapisan film lubrikasi rusak, maka tidak akan dapat diperbaiki, keseluruhan bagian pelumas padat harus diganti.
- Koefisien gesekan lebih tinggi jika dibandingkan dengan pelumas oli.
- Mudah aus.

### 2.6.1 Biopelumas

Biopelumas atau biasa disebut biolubricant adalah pelumas yang secara tepat dapat terdegradasi (biodegradable) dan tidak beracun (nontoxic) bagi manusia dan lingkungan (Askew, 2004). Biopelumas dikembangkan dari bahan dasar berupa lemak hewan ataupun minyak tumbuh-tumbuhan. Pelumas berbahan dasar minyak tumbuhan bersifat biodegradable dan nontoxic, juga bersifat dapat diperbaharui (renewable) (Kuweir, 2010). Selain tidak beracun dan mudah terurai, biopelumas memiliki keunggulan lain dibandingkan pelumas mineral dan pelumas sintesis (Honary, 2006), yaitu:

- a. Memiliki sifat pelumasan yang lebih baik karena struktur molekulnya lebih polar sehingga lebih menempel pada permukaan;
- b. Lindungi permukaan dengan baik walaupun tekanan tinggi
- c. Memiliki titik nyala yang tinggi sehingga lebih aman digunakan;
- d. Indeks viskositas yang tinggi: viskositasnya tidak terlalu berubah banyak seperti pelumas mineral terhadap perubahan temperatur,
- e. Memiliki volatilitas yang rendah sehingga tidak mudah menguap

### 2.6.2 Karakteristik Bio - Pelumas

#### 1. Viskositas

Viskositas adalah kekentalan suatu minyak pelumas yang merupakan ukuran kecepatan bergerak atau daya tolak suatu pelumas untuk mengalir (Arisandi, 2012). Viskositas adalah tegangan geser pada bidang fluida perunit

perubahan kecepatan terhadap bidang normal. Viskositas memiliki satuan mm/s atau centistoke (cSt) semakin tinggi nilai viskositas pelumas akan semakin kental (Darmanto, 2011).

## 2. Indeks Viskositas

Indeks viskositas merupakan kecepatan perubahan kekentalan suatu pelumas dikarenakan adanya perubahan temperatur (Arisandi et al., 2012). Indeks viskositas merupakan hubungan antara viskositas/kekentalan pelumas terhadap perubahan temperatur. Temperatur kerja yang semakin tinggi akan menurunkan viskositas pelumas, demikian juga sebaliknya semakin rendah temperatur kerja kekentalan pelumas akan naik (Darmanto, 2011).

Menurut Sudrajat et al. (2007), indeks viskositas merupakan pengukuran perubahan viskositas relatif terhadap perubahan temperatur antara suhu 40°C dan 100°C. Nilai indeks viskositas pelumas terbagi menjadi 3 golongan, yaitu:

- a. Indeks viskositas rendah atau Low Viscosity Index (LVI) adalah pelumas yang memiliki indeks viskositas lebih rendah dari 40
- b. Indeks viskositas sedang atau Medium Viscosity Index (MVI) adalah pelumas yang memiliki indeks viskositas antara 40 sampai dengan 80.
- c. Indeks viskositas tinggi atau High Viscosity Index (HVI) adalah pelumas yang memiliki indeks viskositas lebih besar dari 80.

## 3. Titik Nyala

Flash point atau titik nyala, menunjukkan temperatur dimana pelumas akan dan terus menyala sekurang-kurangnya selama 5 detik (Arisandi et al., 2012). Titik nyala digunakan untuk mengetahui saat awal pelumas akan terbakar atau timbul nyala api saat berada dalam mesin (Sudrajat et al., 2007).

## 4. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang merupakan suhu terendah dimana pelumas dapat mengalir pada kondisi tersebut. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui kemampuan mengalir pelumas pada suhu rendah yang berhubungan dengan suhu minimum pemakaian atau kondisi kerja dari pelumas tersebut.

