

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Plastik**

Plastik adalah salah satu bentuk polimer yang terdiri dari rantai panjang atau rangkaian molekul yang lebih kecil yang dikenal sebagai monomer. Plastik terbentuk melalui proses polimerisasi, yaitu proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen.

Komposisi dan material plastik adalah polimer dan zat aditif lainnya. Perkembangan plastik bermula dari ditemukannya plastik pertama yang berasal dari polimer alami, yakni selluloid pada tahun 1872. Plastik pertama tersusun oleh nitrat selulosa, kamfer, dan alkohol. Plastik menjadi industri modern setelah adanya produksi Bakelite oleh American Chemist L.H Baakeland pada tahun 1909. Bakelite tersusun dari polimer fenol dan formaldehid. Dalam perkembangannya, plastik digunakan dalam berbagai bentuk dan kegunaan seperti peralatan makan, pembungkus makanan, lensa optik, struktur bangunan, *furniture*, *fiberglass*, dan lain-lain (Rizky. A., 2017).

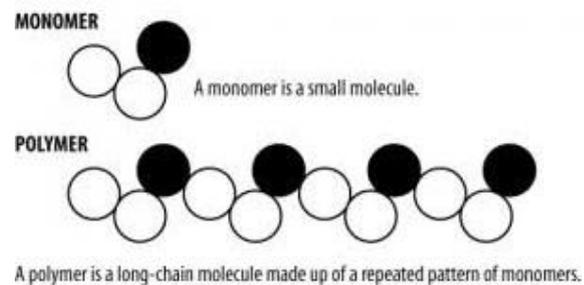
Struktur dasar kimia plastik merupakan ikatan konvalen. Plastik merupakan molekul hidrokarbon. Molekul dari plastik disebut makro molekul karena ukurannya sangat besar dilihat dari jumlah atom karbon. Berikut adalah penjelasan umum mengenai monomer dan polimer.

##### **2.1.1 Monomer**

Dalam kimia, suatu monomer (dari bahasa Yunani mono “satu” dan meros “bagian”) adalah struktur molekul yang dapat berikatan secara kimia dengan monomer lainnya untuk menyusun molekul polimer yang panjang dan berulang-ulang. Monomer dapat berupa hidrokarbon, gula, asam amino, atau asam lemak. Monomer juga tersusun dari atom yang biasanya diambil dari bahan alami atau organik, dan sering diklasifikasikan sebagai petrokimia. Segala macam monomer dapat dimanfaatkan dalam pembuatan plastik.

### 2.1.2 Polimer

Polimer adalah material yang molekul-molekulnya berupa pengulangan atau penggabungan ikatan-ikatan konvalen yang partikelnya lebih kecil. Karena plastik adalah polimer rantai panjang atom yang mengikat satu sama lain. Maka rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau monomer. Satu makro molekul atau polimer terdiri dari kombinasi molekul-molekul monomer. Struktur dari monomer dan polimer dapat dipahami dari gambar 2.1 berikut :



**Gambar 2.1** Struktur Monomer dan Polimer  
(sumber : monomer-polymer images, 2018)

### 2.1.3 Polimerisasi

Polimerisasi adalah proses dimana unit individu dari molekul yang sama atau berbeda (mers atau monomer) digabungkan bersama oleh reaksi kimia untuk membentuk besar atau makromolekul dalam bentuk struktur rantai panjang, memiliki sifat yang sama sekali berbeda daripada molekul awal. Beberapa ratus bahkan ribuan monomer digabungkan bersama untuk membentuk makromolekul polimer. Proses polimerisasi yang menghasilkan polimer berantai lurus mempunyai tingkat polimerisasi yang rendah dan kerangka dasar yang mengikat antar atom karbon dan ikatan antar rantai lebih besar daripada rantai hidrogen.

Bahan yang dihasilkan dengan tingkat polimerisasi rendah bersifat kaku dan keras (Flinn and Trojan, 1975). Bila rantai tersebut dikelompokkan bersama-sama dalam suatu pola acak, menyerupai tumpukan jerami maka disebut amorp, jika teratur hampir sejajar disebut kristalin dengan sifat yang lebih keras dan tegar (Syarief et al, 19888).

## 2.2 Jenis Plastik dan Karakteristiknya

Plastik dapat di kelompokkan menjadi dua macam berdasarkan sifat fisiknya yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), akrilonitril butadiene stiren (ABS), polikarbonat (PC). Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Contoh: resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea- formaldehida.

Berdasarkan kinerja dan penggunaannya dapat dikelompokkan menjadi tiga macam yaitu plastik komoditas, plastik teknik, dan plastik teknik khusus. Plastik komoditas mempunyai sifat mekanik tidak terlalu bagus, Tidak tahan panas Contohnya : polietilen (PE), polistiren (PS), akrilonitril butadiene stiren (ABS), poli metal metakrilat (PMMA), stirena akrilonitril (SAN). Aplikasi : barang-barang elektronik, pembungkus makanan, botol minuman. Plastik teknik bersifat tahan panas, temperatur operasi di atas 100 °C dan Sifat mekanik bagus. Contohnya : poliamide (PA), polioksimetilen (POM), poli carbonat (PC), polibutilena tereftalat (PBT). Aplikasi : komponen otomotif dan elektronik. Sedangkan plastik teknik khusus mempunyai temperatur operasi di atas 150 °C, Sifat mekanik sangat bagus (kekuatan tarik di atas 500 Kgf/cm<sup>2</sup>). Contohnya : PSF, polisulfon (PES), PAI, PAR Aplikasi : komponen pesawat.

Pada kemasan yang terbuat dari plastik, biasanya ditemukan simbol atau logo daur ulang yang berbentuk segitiga dengan kode-kode tertentu. Kode ini dikeluarkan oleh *The Society of Plastik Industry* pada tahun 1998 di Amerika Serikat dan diadopsi oleh lembaga-lembaga pengembangan sistem kode, seperti ISO (*International Organization for Standardization*). Simbol daur ulang (*recycle*) menunjukkan jenis bahan resin yang digunakan untuk membuat materi. Simbol ini dibentuk berdasar atas sistem internasional koding. Plastik lazim digambarkan sebagai angka (dari 1 sampai 7) dilingkari dengan segitiga atau loop segitiga biasa (juga dikenal sebagai *Mobius loop*), dengan akronim bahasa yang

digunakan, tepat di bawah segitiga. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya (lihat Gambar 2.2 dan Tabel 2.1).



Gambar 2.2 Nomor Kode Plastik

Sumber: UNEP, 2009

Tabel 2.1 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaannya

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (Polyethylene terephthalate)	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dll
2	HDPE (High-Density Polyethene)	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik, dll
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dll
4	LDPE (Low-Density Polyethylene)	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya, dll
5	PP (Polypropyle atau Polypropene)	Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, margarine, dll
6	PS (Polystyrene)	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan, dll
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6	Botol susu bayi, plastik kemasan, galon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, mainan lego, dll

Sumber :Thahir, 2014

Dan berikut adalah penjelasan mengenai jenis-jenis plastik, antara lain :

### 2.2.1 Poly EthyleneTerephthalate (PET)

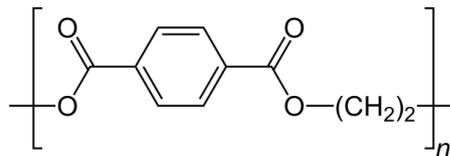
PET merupakan resin *polyester* yang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas. Kepekatannya adalah sekitar 1,35-1,38 gram/cc, ini membuatnya kokoh. Rumus molekulnya adalah :



PET dalam bentuk produk berupa botol air, botol soda, botol jus, dll. PET dapat berupa bewarna atau tidak bewarna (transparan), tergantung dari bahan aditif yang digunakan. Proses pengolahan yang sudah banyak dilakukan untuk jenis PET adalah dengan cara membuat kerajinan dari botol plastik atau botol lainnya menjadi bunga dan hiasan lainnya, dan dapat pula diolah kembali menjadi bijih plastik. Sifat-sifat plastik PET adalah :

- Tembus pandang (transparan), bersih dan jernih
- Tahan terhadap suhu tinggi
- Permeabilitasnya terhadap uap air dan gas rendah
- Densitas sekitar 1,35-1,38 gram/cm<sup>3</sup>
- Tahan terhadap pelarut organik seperti asam-asam organik dari buah-buahan, sehingga dapat digunakan untuk mengemas minuman sari buah.
- Tidak tahan terhadap asam kuat, fenol, dan benzil alkohol.
- Kuat dan tidak mudah sobek - tidak mudah dikelim dengan pelarut

Struktur bangun PET dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :



**Gambar 2.3** Struktur Bangun *Polyethylene Terephthalate* (PET)  
(Sumber : Untoro, 2013)

### 2.2.2 *High Density Polyethylene* (HDPE)

HDPE merupakan material plastik yang tersusun dari polimer *ethylene* dan bahan aditif lainnya. HDPE dibuat dalam kondisi liat, kuat, dan kaku, tekanan dan temperatur tinggi yang berasal dari minyak bumi, yang sering dibentuk dengan cara meniupnya atau tergantung dari hasil produk yang dibuat. HDPE dicirikan dengan densitas yang melebihi atau sama dengan 0,941 gr/cm<sup>3</sup>. HDPE memiliki derajat rendah dalam percabangannya dan memiliki kekuatan antar molekul yang sangat tinggi dan kekuatan tensil. Rumus molekulnya adalah :



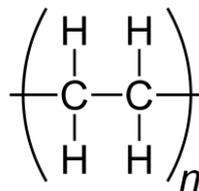
Dalam pemakaian sehari-hari HDPE dapat ditemukan dalam bentuk keranjang plastik, pipa, mainan anak, pembungkus/botol susu, cerek susu, botol

detergen, botol obat, dll. Plastik dengan label HDPE ini dapat didaur ulang menjadi minyak mentah atau bijih plastik kembali.

Sifat-sifat polietilen adalah :

- Penampakan bervariasi dari transparan, berminyak sampai keruh (translusid) tergantung proses pembuatan dan jenis resin.
- Fleksibel sehingga mudah dibentuk dan mempunyai daya rentang yang tinggi.
- Densitas  $0,941 \text{ gr/cm}^3$  atau lebih
- Dapat tahan hingga temperatur  $120^\circ\text{C}$ .
- Tahan asam, basa, alkohol, detergen dan bahan kimia.
- Kedap terhadap air, uap air dan gas. Dapat digunakan untuk penyimpanan beku hingga suhu  $-50^\circ\text{C}$ .

Struktur bangun HDPE dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut :



**Gambar 2.4** Struktur Bangun *High Density Polyethylene* (HDPE)  
(sumber : Untoro, 2013)

### 2.2.3 *Polyvinyl Chloride* (PVC)

PVC merupakan jenis plastik yang paling sulit didaur ulang. Sifat PVC yang menarik membuatnya cocok untuk berbagai macam penggunaan. PVC tahan secara biologi dan kimia, membuatnya menjadi plastik yang dipilih sebagai bahan pembuat pipa pembuangan dalam rumah tangga dan pipa lainnya dimana korosi menjadi pembatas pipa logam. Rumus molekulnya :



Reaksi yang terjadi antara PVC dengan makanan yang dikemas dengan plastik ini berpotensi berbahaya untuk ginjal, hati, dan berat badan. Bahan ini mengandung klorin dan akan mengeluarkan racun jika dibakar. PVC tidak boleh digunakan dalam menyiapkan makanan atau kemasan makanan. Bahan ini juga dapat diolah kembali menjadi mudflaps, panel, tikar dan lain-lain dengan cara didaur ulang.

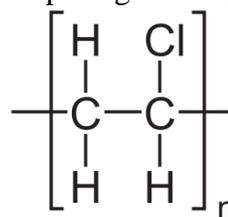
Beberapa jenis PVC adalah :

- *Plasticized Vinyl Chlorida*. Bahan plastis yang digunakan adalah resin (poliester, epoksi) dan non resin (ptalat dan fosfat). Digunakan untuk kemasan daging segar, ikan, buah-buahan dan sayuran.
- *Vinyl Copolymer*. *Vinyl copolimer* mirip dengan *plastized vinil klorida*, hanya resinnya berupa polimer, sehingga dapat digunakan untuk kemasan blister pack, kosmetika dan sari buah.
- *Oriented Film*. PVC jenis *oriented film* mempunyai sifat yang luwes (lunak) dan tidak mudah berkerut.

Sifat-sifat umum kemasan PVC adalah sebagai berikut :

- Tembus pandang, ada juga yang keruh
- Permeabilitas terhadap uap air dan gas rendah – tahan minyak, alkohol dan pelarut petroleum, sehingga dapat digunakan untuk kemasan, metega, margarin dan minyak goreng.
- Kekuatan tarik tinggi dan tidak mudah sobek
- Dipengaruhi oleh hidrokarbon aromatik, keton, aldehida, ester, eter aromatik, anhidrat dan molekul-molekul yang mengandung belerang, nitrogen, dan fosfor. Tidak terpengaruh oleh asam dan basa, kecuali asam pengoksidasi, akan tetapi pemlastis akan terhidrolisa oleh asam dan basa pekat.
- Densitas 1,35-1,4 gr/cm<sup>3</sup>.

Struktur bangun PVC dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :

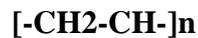


**Gambar 2.5** Struktur Bangun *Poly Vinyl Chloride* (PVC)  
(sumber : Untoro, 2013)

#### 2.2.4 *Low Density Polyethylene* (LDPE)

LDPE merupakan plastik yang mudah dibentuk ketika panas, yang terbuat dari minyak bumi, densitasnya adalah sekitar 0,910 - 0,941 gr/cm<sup>3</sup> dan tidak reaktif pada temperatur kamar, kecuali pada oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan. LDPE dapat bertahan pada

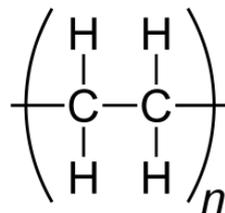
temperatur 90°C namun dalam waktu yang tidak terlalu lama dan rumus molekulnya:



LDPE adalah resin yang keras, kuat, dan tidak bereaksi terhadap zat kimia lainnya. Biasa dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, botol-botol yang lembek, pakaian, mebel, tas plastik, kotak penyimpanan, mainan, perangkat komputer, wadah yang dicetak, dll. Sifat mekanis plastik jenis LDPE ini :

- Tembus pandang
- Kuat, fleksibel dan permukaan agak berlemak
- Tahan hingga temperatur 90°C
- Daya proteksi terhadap uap air tergolong baik
- Densitasnya 0,910 – 0,941 gr/cm<sup>3</sup>
- Dapat didaur ulang serta baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tapi kuat
- Bahan berwujud LDPE ini sulit dihancurkan, tetapi tetap baik untuk tempat makanan karena sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan yang dikemas dengan bahan ini.

Struktur bangun LDPE dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut :



**Gambar 2.6** Struktur Bangun *Low Density Polyethylene* (LDPE)  
(sumber : Untoro, 2013)

### 2.2.5 *Polypropylene* (PP)

PP biasa botol transparan yang tidak jernih atau berawan. *Polypropylene* lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap, yang lentur, keras dan resisten terhadap lemak. Rumus molekulnya :

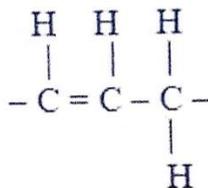


Jenis PP (*polypropylene*) ini adalah pilihan bahan plastik terbaik, terutama untuk tempat makanan dan minuman, tutup botol obat, tube margarin, tutup lainnya, sedotan, mainan, tali, pakaian, dan berbagai macam botol. PP dapat diolah kembali menjadi garpu, sapu, nampan, dan lain-lain. Sifat-sifat propilena sangat tergantung pada berat molekul dan distribusi berat molekul, kristalinitas, jenis dan proporsi monomer (jika digunakan) dan kepadatan PP adalah 0,895 – 0,92 gr/cm<sup>3</sup>, dengan demikian PP merupakan plastik standar yang memiliki kepadatan terendah.

Sifat-sifat dan penggunaannya sangat mirip dengan polietilen, yaitu :

- Ringan (densitas 0,89-0,92 gr/cm<sup>3</sup>)
- Mudah dibentuk
- Tembus pandang dan jernih dalam bentuk film, tetapi tidak transparan dalam bentuk kemasan kaku
- Pada suhu rendah akan rapuh, dalam bentuk murninya mudah pecah pada suhu -30°C sehingga perlu ditambahkan PE atau bahan lain untuk memperbaiki ketahanan terhadap benturan. Tidak dapat digunakan pada kemasan beku.
- Lebih kaku dari PE dan tidak mudah sobek sehingga mudah dalam penanganan dan distribusi.
- Daya tembus (permeabilitasnya) terhadap uap air rendah, permeabilitas terhadap gas sedang, dan tidak baik untuk bahan pangan yang mudah rusak oleh oksigen.
- Polipropilen juga tahan lemak, asam kuat dan basa, sehingga baik untuk kemasan minyak dan sari buah. Pada suhu kamar tidak terpengaruh oleh pelarut kecuali oleh HCl.

Struktur bangun PP dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut :



**Gambar 2.7** Struktur Bangun *Poly Propilene* (PP)

(sumber : Untoro, 2013)

### 2.2.6 Polystyrene (PS)

*Polystyrene* merupakan polimer aromatik yang dapat mengeluarkan bahan *styrene* kedalam makanan ketika makanan tersebut bersentuhan. Biasa dipakai sebagai bahan tempat makan styrofoam, tempat minum sekali pakai, dan lain-lain selain tempat makanan, *styrene* juga bisa didapatkan dari asap rokok, asap kendaraan dan bahan konstruksi gedung. Rumus molekulnya :

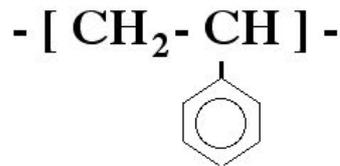


Bahan ini harus dihindari, karena selain berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon esterogen pada wanita yang berakibat pada masalah reproduksi, pertumbuhan, dan sistem syaraf, juga karena bahan ini sulit didaur ulang. Bila didaur ulang, bahan ini memerlukan proses yang sangat panjang dan lama. Bahan ini daprt dikenali dengan kode angka 6, namun bila tidak tertera kode angka tersebut pada kemasan plastik, bahan ini dapat dikenali dengan cara dibakar. Ketika dibakar, bahan ini akan mengeluarkan api bewarna kuning-jingga, dan meninggalkan jelaga. PS mengandung benzene, suatu zat penyebab kanker dan tidak boleh dibakar. Bahan ini diolah kembali menjadi isolasi, kemasan, pabrik tempat tidur, dan lain-lain.

Sifat-sifat umum polistiren adalah :

- Kekuatan tariknya tinggi dan tidak mudah sobek
- Titik lelehnya rendah (88°C), lunak pada suhu 90-95°C
- Tahan terhadap asam dan basa kecuali asam pengoksidasi
- Densitas 1,04-1,1 gr/cm<sup>3</sup>
- Terurai dengan alkohol pada konsentrasi tinggi, ester, keton, hidrokarbon aromatik, dan klorin
- Permeabilitas uar air dan gas sangat tinggi, baik untuk kemasan bahan segar, permukaan licin, jernih dan mengkilap serta mudah dicetak, bila kontak dengan pelarut akan keruh
- Mudah menyerap pemlastis, jika ditempatkan bersama-sama dengan plastik lain menyebabkan penyimpangan warna
- Mempunyai afinitas yang tinggi terhadap debu dan kotoran
- Baik untuk bahan dasar laminasi dengan logam (aluminium)

Struktur bangun PS dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut :



**Gambar 2.8** Struktur Bangun *Polystyrene* (PS)  
(sumber : Untoro, 2013)

### 2.2.7 Others

untuk jenis ini ada empat macam, yaitu : SAN (*styrene-acrylonitrile*), ABS (*acrylonitrilebutadiene-styrene*), PC (*polycarbonate*), dan Nylon. Plastik jenis ini dapat ditemukan pada tempat makanan dan minuman seperti botol minum olahraga, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, dan plastik kemasan. Pada bungkus snack terdapat material komposit yaitu bahan yang terbuat dari dua atau lebih bahan konstituen dengan berbeda secara signifikan fisik atau sifat kimia, yang jika dikombinasikan, menghasilkan bahan dengan karakteristik yang berbeda dari masing-masing komponen.

SAN dan ABS memiliki resistensi tinggi terhadap reaksi kimia dan suhu, kekuatan, kekakuan, dan tingkat kekerasan yang telah ditingkatkan. Jenis ini biasanya terdapat pada mangkuk mixer, pembungkus termos, piring, alat makan, penyaring kopi, dan sikat gigi, sedangkan ABS biasanya digunakan sebagai bahan mainan lego. Merupakan salah satu bahan yang sangat baik untuk digunakan dalam kemasan makanan ataupun minuman. PC (*polycarbonate*) dapat ditemukan pada botol susu bayi, gelas anak batita (*sippy cup*), botol minum polikarbonat, dan kaleng kemasan makanan dan minuman, termasuk kaleng susu formula. Tidak semua plastik nomor 7 adalah polikarbonat, bahkan segelintir berbahan nabati. Polikarbonat masih menjadi perdebatan dalam beberapa tahun terakhir karena ditemukan pada saat mencuci BPA (bisphenol A), menjadi bahan hormon pengganggu kehamilan dan pertumbuhan janin (Thahir, 2014).

## 2.3 Sifat Fisik Plastik

Plastik memiliki beberapa karakteristik fisik yang perlu dipertimbangkan ketika memproses suatu produk. Tabel berikut berisi data sifat fisik untuk beberapa plastik yang tersedia secara komersial. Sifat-sifat fisik jenis plastik dan

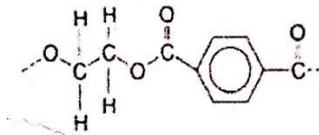
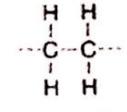
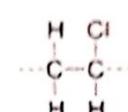
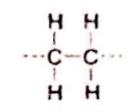
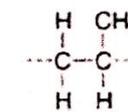
karakteristik berupa struktur atom dan densitas dapat dilihat pada tabel 2.2 dan tabel 2.3 berikut :

**Tabel 2.2** Sifat-Sifat Fisik Jenis Plastik

Jenis Plastik	T <sub>m</sub> (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	Daya Tarik (MPa)	Kekuatan Tekan (MPa)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )
PET	245-265	73-80	48,26-72,39	75,84-103,42	1290-1400
HDPE	130-137		22,06-31,03	18,62-24,82	952-965
PVC		75-105	40,68-51,71	55,16-89,63	1300-1580
LDPE	98-115	-25	82,74-31,37	96,53	917-932
PP	168-175	-20	31,03-41,37	37,92-55,16	900-910
PS		74-105	35,85-51,71	82,74-89,63	1040-1050

Sumber : [www.ppps.org](http://www.ppps.org)

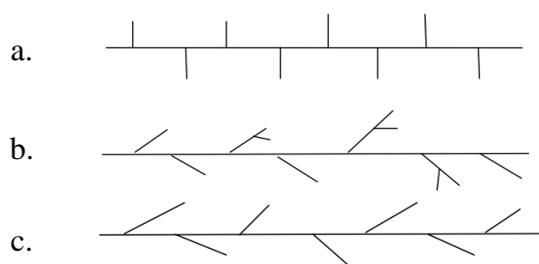
**Tabel 2.3** Karakteristik Plastik

No.	Jenis Plastik	Struktur Atom	Densitas (g/mL)
1	PET (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	 <p>Polyethylene Terephthalate</p>	1,35-1,38
2	HDPE (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	 <p>High Density Polyethylene</p>	0,94-0,97
3	PVC (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl) <sub>n</sub>	 <p>Polyvinyl Chloride</p>	1,16-1,35
4	LDPE (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	 <p>Low Density Polyethylene</p>	0,91-0,94
5	PP (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	 <p>Polypropylene</p>	0,91-0,94
6	PS (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	 <p>Polystyrene</p>	1,04-1,10

Sumber : Mujiarto 1, 2005

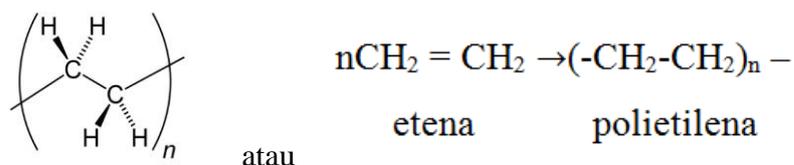
## 2.4 Polietilena

Polietilena adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 110-137°C. Umumnya polietilen bersifat resisten terhadap zat kimia. Pada suhu kamar, polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik (Billmeyer, 1994). Beberapa jenis polietilena antara lain : *Low Density Polyethylene* (LDPE), *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Liniear Low Density Polyethylene* (LLDPE). *Low Density Polyethylene* (LDPE) memiliki struktur rantai bercabang yang tinggi dengan cabang-cabang yang panjang dan pendek. Sedangkan *High Density Polyethylene* (HDPE) mempunyai struktur rantai lurus, *Liniear Low Density Polyethylene* (LLDPE) memiliki rantai polimer yang lurus dengan rantai-rantai cabang yang pendek. Struktur rantai HDPE, LDPE, dan LLDPE bisa dilihat pada Gambar 2.9 berikut :



**Gambar 2.9** Struktur rantai polietilena a. HDPE, b. LDPE, c. LLDPE  
(sumber : [www.academia.edu](http://www.academia.edu))

Polietilena adalah polimer yang termasuk golongan *polyolefin*, dengan berat molekul rata-rata ( $M_w$ ) = 50.000-30.000. (Curlee, 1991). Sifat-sifat dari polietilena sangat dipengaruhi oleh struktur rantai dan kerapatannya. Polietilena merupakan hasil polimerisasi dari etena ( $C_2H_4$ ), sehingga rumus molekulnya  $(C_2H_4)_n$ . Rumus bangun Polietilena bisa dilihat pada Gambar 2.10 berikut :

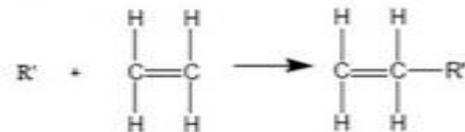


**Gambar 2.10** Rumus bangun polietilena  
(sumber : [www.academia.edu](http://www.academia.edu))

Berdasarkan densitas dan berat molekul penyusunnya, polietilena memiliki tiga produk, yaitu : *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Medium Density Polyethylene* (MDPE), dan *High Density Polyethylene* (HDPE). Reaksi Pembentukan Polietilena :

### 1. Inisiasi

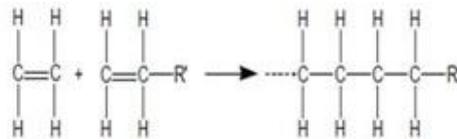
Untuk tahap pertama ini dimulai dari penguraian inisiator dan adisi molekul monomer pada salah satu radikal bebas yang terbentuk. Bila kita nyatakan radikal bebas yang terbentuk dari inisiator sebagai R', dan molekul monomer dinyatakan dengan CH<sub>2</sub> = CH<sub>2</sub>, maka tahap inisiasi dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.11** Tahap inisiasi

### 2. Propagasi

Dalam tahap ini terjadi reaksi adisi molekul monomer pada radikal monomer yang terbentuk dalam tahap inisiasi.



**Gambar 2.12** Tahap propagasi

Bila proses dilanjutkan, akan terbentuk molekul polimer yang besar, dimana ikatan rangkap C=C dalam monomer etilena akan berubah menjadi ikatan tunggal C-C pada polimer polietilena.

### 3. Terminasi

Terminasi dapat terjadi melalui reaksi antara radikal polimer yang sedang tumbuh dengan radikal mula-mula yang terbentuk dari inisiator (R') CH<sub>2</sub> - CH<sub>2</sub> + R → CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-R atau antara radikal polimer yang sedang tumbuh dengan radikal polimer lainnya, sehingga akan membentuk polimer dengan berat molekul tinggi R-(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-CH<sub>2</sub> + CH<sub>2</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-R' → R-(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-R'. Proses Pembuatan Polietilena dengan *high pressure process* menghasilkan *Low Density Polyethylene*. Polimerisasi tekanan

tinggi menghasilkan polietilen dengan banyak cabang, cabang cabang terbentuk karena transfer rantai antar molekul selama proses polimerisasi. Mekanisme untuk polimerisasi *low density polyethylene* adalah polimerisasi radikal bebas.

## 2.5 Sifat Thermal Bahan Plastik

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair.

Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budiyantoro, 2010). Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik bisa dilihat pada tabel 2.4 berikut :

**Tabel 2.4** Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik

Jenis Bahan	$T_m$ (°C)	$T_g$ (°C)	Temp. Kerja Maks. (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS		110	85
PS		90	70
PMMA		100	85
PC		150	246
PVC		90	71

(Sumber: Budiyantoro, 2010)

## 2.6 Perengkahan/Pirolisis

Beberapa masyarakat memanfaatkan plastik yang sudah tidak digunakan menjadi barang lain yang lebih bermanfaat seperti kerajinan, alat kebersihan, aksesoris dan hiasan. Namun beberapa penelitian tentang pemanfaatan plastik menjadi bahan bakar cair telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang prospektif untuk dikembangkan. Salah satu metode yang digunakan yaitu pirolisis.

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun plastik. Istilah lain dari pirolisis adalah penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan penyusun yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Saat pirolisis energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai, sebagian besar menjadi karbon. Istilah lain dari distilasi adalah *destructive distillation* atau distilasi kering. Pirolisis merupakan penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar (Suroño, 2013).

Produk pirolisis tergantung pada desain *pyrolizer*, karakteristik fisik dan kimia dari bahan baku dan parameter operasi penting seperti tingkat pemanasan, suhu pirolisis, waktu tinggal saat reaksi. Selain itu kandungan tar dan hasil produk lain juga tergantung pada tekanan, komposisi ambien gas, dan adanya katalis mineral. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda (Endang, 2016). Ada tiga macam proses perengkahan yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking*, dan *catalytic cracking* (Panda, 2011). Berikut adalah penjelasan ketiga macam perengkahan tersebut :

### 2.6.1 Perengkahan Hidro (*Hydro Cracking*)

*Hydrocracking* merupakan proses dua tahap menggabungkan *catalytic cracking* dan hidrogenasi, dimana bahan baku yang lebih berat akan terpecahkan dengan adanya hidrogen untuk menghasilkan produk yang lebih diinginkan. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengkonversi *gas oil* yang bernilai rendah menjadi

produk-produk yang lebih berharga seperti naftha, diesel, gas, dan lain-lain. Proses ini menggunakan tekanan tinggi, suhu tinggi, katalis, dan hidrogen.

*Hydrocracking* limbah polimer biasanya melibatkan reaksi dengan hidrogen dengan katalis didalam reaktor *batch* dan diaduk pada suhu dan tekanan sedang (biasanya 423-673 K dan 3-10 MPa). Pekerjaan berfokus untuk mendapatkan bensin berkualitas tinggi mulai dari berbagai macam bahan baku. Umpan khusus termasuk polietilena, polietilen tereftalat, polistiren, polivinil klorida dan polimer campuran, limbah polimer dari limbah padat kota dan sumber lainnya, pencampuran bersama polimer dengan batubara, pencampuran bersama polimer dengan minyak kilang yang berbeda seperti, minyak, gas, dan ban bekas atau *co-processed* dengan batubara.

Untuk membantu pencampuran dan reaksi, ditambahkan suatu pelarut seperti 1-metil naftalena, dan tetralin. Beberapa katalias yang digunakan secara khusus dalam reaksi penghilangan hidrocracking telah dievaluasi dan termasuk didalamnya logam transisi (misalnya, Pt, Ni, Mo, Fe) yang mendukung pada lingkungan padatan asam (seperti alumina, silika-alumina amorf, zeolit, dan zirkonia sulfat). Katalis-katalis ini menggabungkan aktivitas-aktivitas perengkahan dan hidrogenasi dan menghasilkan produk bensin.

### **2.6.2 Perengkahan Panas (*Thermal Cracking*)**

Proses perengkahan thermal (*thermal cracking*) adalah suatu proses pemecahan rantai hidrokarbon dari senyawa rantai panjang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih kecil melalui bantuan panas. Suatu proses perengkahan thermal bertujuan untuk mendapatkan fraksi minyak bumi dengan boiling range yang lebih rendah dari feed (umpannya). Dari proses ini dihasilkan gas, gasoline, (naptha), diesel, residu, atau *coke*. Pada reaksi perengkahan akan terjadi pemutusan ikatan C-C (*C-C bond scission*), dehidrogenasi, isomerisasi dan polimerisasi (Surono, 2013).

*Thermal cracking* atau pirolisis, melibatkan degradasi bahan polimerik dengan pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada suhu antara 350°C dan 900°C dan menghasilkan pembentukan arang berkarbonisasi (residu padat) dan fraksi yang mudah menguap yang dapat dipisahkan menjadi

minyak hidrokarbon kental yang terdiri dari parafin, isoparafin, olefin, naften dan aromatik, dan gas yang tak terkondensasi dengan nilai kalor yang tinggi. Proporsi setiap fraksi dan komposisi yang tepat sangat tergantung pada sifat limbah plastik dan juga pada kondisi proses. Tingkatan dan sifat dari reaksi ini tergantung baik pada suhu reaksi dan juga pada lama tinggal produk di zona reaksi, suatu aspek yang terpenting dipengaruhi oleh desain reaktor. Namun demikian, degradasi polimer secara termal ke bahan berbobot molekul rendah membutuhkan suhu tinggi dan memiliki kelemahan utama dalam tentang produuk yang sanga luas.

### **2.6.3 Perengkahan Katalitik (*Catalytic Cracking*)**

Perengkahan cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi pemutusan rantai hidrokarbon molekul besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur, dan waktu reaksi (Surono, 2013). Konversi katalitik limbah plastik menunjukkan beberapa keunggulan dibandingkan metode pirolisis. Suhu perengkahan lebih rendah sehingga reaksi perengkahan menghasilkan konsumsi energi yang lebih rendah dan tingkat konversi yang lebih tinggi. Penambahan katalis pada proses cracking juga dapat mempercepat proses reaksi pemutusan rantai hidrokarbon sehingga terbentuk fraksi-fraksi minyak bumi (Rizky, 2017).

Selain itu, degradasi katalitik menghasilkan distribusi produk atom karbon yang jauh lebih sempit dengan rantai pada hidrokarbon yang lebih ringan dan terjadi pada suhu yang lebih rendah. Dari perspektif ekonomi dapat dapat mengurangi biaya operasi, akan membuat proses ini menjadi pilihan yang lebih menarik. Opsi ini dapat dioptimalkan dengan penggunaan kembali katalis dan penggunaan katalis yang efektif dalam jumlah yang lebih sedikit. Metode ini tampak nya yang paling menjanjikan untuk dikembangkan menjadi proses daur ulang polimer komersial yang hemat biaya untuk menyelesaikan masalah lingkungan dari pembuangan limbah plastik menjadi produk yang berguna seperti bahan bakar cair.

## 2.7 Hubungan Energi Ikatan terhadap Pemutusan Ikatan pada Polimer

Energi ikatan merupakan perubahan entalpi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan tertentu dalam satu mol molekul gas. Semakin tinggi tingkat energi ikatan maka semakin sulit pula ikatan tersebut untuk dilepaskan karena dibutuhkan lebih banyak energi yang diperlukan untuk melepaskannya. (Wikipedia, 2019). Data sumber energi ikatan dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut :

**Tabel 2.5** Energi Ikatan

<b>Ikatan</b>	<b>Energi Ikatan Rata-rata (kJ/mol)</b>	<b>Ikatan</b>	<b>Energi Ikatan Rata-rata (kJ/mol)</b>
C-C	348	C-Br	276
C=C	607	C-I	238
C≡C	833	H-H	436
C-H	415	H-F	563
C-N	292	H-Cl	432
C=N	619	H-Br	366
C≡N	897	H-I	299
C-O	356	H-N	391
C=O	724	H-O	463
C-F	484	H-S	338
C-Cl	338	H-Si	376

Sumber: *General Chemistry, Principles and Structure, James E. Brady, 1990. Pada Naufan, 2016*

Menurut Suhartana (2016), senyawa dari sampah plastik (polietilena) hasil pirolisis akan membentuk senyawa hidrokarbon cair yang mempunyai bentuk mirip lilin, dan sebagian besar hidrokarbon lainnya berbentuk gas. Struktur hidrokarbon dan sifat kimianya ternyata identik dengan senyawa dan struktur kimia hidrokarbon minyak mentah.

## 2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Pirolisis

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi proses pirolisis plastik dan distribusi molekul produk pirolisis termasuk komposisi kimia dari bahan baku, temperatur *cracking*, kecepatan pemanasan, penggunaan katalis, jenis plastik dan lain-lain. Faktor-faktor ini dirangkum sebagai berikut :

### 1. Temperatur

Temperatur merupakan variabel yang paling penting yang mempengaruhi katalitik cracking dari plastik. Temperatur reaksi biasanya pada rentang suhu 300-450°C. Secara umum, kenaikan temperatur mengarah pada peningkatan

kemampuan katalis. Tetapi hal tersebut harus diperhitungkan, bahwa pada suhu tinggi terjadinya secara bersamaan dengan reaksi termal *cracking* yang lebih sering, dimana hal tersebut dapat mengubah selektivitas dari produk.

Jika pirolisis katalitik berlangsung pada temperatur operasi yang lebih tinggi atau pada tingkat pemanasan yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan pemecahan ikatan dan dengan demikian mendukung produksi molekul yang lebih kecil. Salah satu cara untuk meningkatkan konversi yaitu dengan menaikkan temperatur, dan dapat dilihat bahwa dengan konversi yang lebih tinggi produk utama yang terbentuk akan menjadi produk gas dan hasil cairan yang minimal atau nol. Pengaruh katalis yang berbeda pada cairan yang dihasilkan dan distribusi produk menjadi kurang signifikan dengan meningkatnya temperatur, reaksi yang terjadi akan mirip dengan degradasi termal.

Tidak semua bahan polimer dapat pecah dengan meningkatkan temperatur. Van der Waals adalah gaya antara molekul, yang menarik molekul bersama-sama dan mencegah pecahnya molekul. Ketika getaran molekul cukup besar, molekul akan menguap dari permukaan objek. Namun rantai karbon akan rusak jika energi yang disebabkan oleh Van der Waals di sepanjang rantai polimer lebih besar dari entalpi ikatan C-C dalam rantai, ini adalah alasan mengapa molekul polimer yang tinggi susah terurai bila dipanaskan. Dalam teori, temperatur untuk memecah ikatan C-C harus konstan untuk jenis plastik (polimer) tertentu dan laju pemanasan yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju reaksi.

## 2. Jumlah Katalis

Jumlah katalis dan rasio katalis terhadap bahan baku mempengaruhi hasil proses pemecahan seperti konversi proses. Sharatt et al mengamati pemecahan HDPE dengan zeolite HZSM-5 dan memvariasikan rasio massa katalis dengan polimer mulai dari 1:10 hingga 1:1 pada suhu 360°C. Konversi yang didapat selalu diatas 90%. Perbedaan yang terlihat adalah pada distribusi produk. Peningkatan rasio katalis dengan polimer akan menghasilkan jumlah C3-C4 yang lebih banyak.

Gonzales et al menggunakan rasio katalis / PE pada semua percobaan yaitu 1:10 berat (1,0 gr katalis untuk 10,0 gr PE limbah), percobaan sebelumnya dan data yang diperoleh oleh penulis lain menunjukkan rasio ini menjadi optimal dalam penggunaan katalis untuk konversi tertinggi. Rasio 0,1:10 dan 0,3:10 juga diuji, yang pertama tidak memadai (konversi lebih rendah dari 5%) yang kedua dilakukan untuk nilai yang sama dari konversi PE.

### 3. Waktu

Perubahan kinerja katalis dengan waktu secara langsung berhubungan dengan kinetika penonaktifan katalis tersebut. Gonzales et al menetapkan waktu degradasi ditetapkan pada 2 jam berdasarkan penelitian sebelumnya, percobaan sebelumnya telah dilakukan selama ini, untuk membandingkan hasil yang diperoleh dengan konversi yang sama pada waktu degradasi yang lebih tinggi dan degradasi yang tidak sempurna pada waktu degradasi yang lebih rendah.

### 4. Komposisi Plastik

Komposisi limbah plastik mempunyai pengaruh yang besar pada kemampuan katalis. Bagaimanapun katalis akan menghasilkan konversi yang tinggi pada reaksi pemecahan yang menggunakan polimer murni atau satu jenis polimer saja. Akan tetapi dapat kehilangan aktivitasnya apabila bahan baku adalah limbah plastik yang bercampur (tidak satu jenis). Jenis plastik bahan baku juga mempengaruhi distribusi produk jenis plastik bahan baku juga mempengaruhi distribusi produk.

Pada jenis termoplastik pada umumnya, hasil produk cairan adalah 80% atau lebih, dimana  $PS > PP > PE$ . Plastik dengan struktur polisiklik mempunyai hasil cairan dan padatan yang lebih banyak dibandingkan plastik yang mempunyai struktur poliolefinik.

## 2.9 Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis Sampah Plastik

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Bensin/Gasoliparafin/premium, minyak solar, minyak tanah adalah contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi

maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi, yakni campuran beberapa hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa : parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Minyak mentah jika disuling akan menghasilkan beberapa fraksi, seperti : bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda.

## **2.10 Karakteristik Bahan Bakar Cair**

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal dan mineral (Wiratmaja, 2010). Karakteristik bahan bakar cair yang akan dipakai pada penggunaan tertentu untuk mesin atau peralatan lainnya perlu diketahui terlebih dahulu, dengan maksud agar hasil pembakaran dapat tercapai secara optimal (Pertamina, 2010). Secara umum karakteristik bahan bakar cair yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

### **2.10.1 Nilai Kalor**

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor dari bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18,300-19,800 Btu/lb atau 10,160-11,000 kkal/kg. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis (density). Pada volume yang sama, semakin besar berat jenis suatu minyak, semakin kecil nilai kalornya, demikian juga sebaliknya semakin rendah berat jenis maka semakin tinggi nilai kalornya. Kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada bomb calorimeter. Peralatan ini terdiri dari *container stainless stell* yang dikelilingi bak air yang besar. Bak air tersebut bertujuan meyakinkan bahwa temperatur akhir produk akan berada sedikit diatas temperatur awal reaktan, yaitu 25°C. Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 adalah sebesar  $\pm 10,500$  kkal/kg. Nilai kalori diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah

konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan british). Untuk mengetahui nilai kalor dari bahan bakar tersebut dihitung menggunakan rumus:

$$Q_s = Q_w + Q_c$$

$$Q_s = m_w \cdot c_w \cdot (t_2 - t_1) + C_c \cdot (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$Q_s$  = Energi panas yang dihasilkan oleh sampel (kalori)

$Q_w$  = Energi panas yang diserap oleh air (kalori)

$Q_c$  = Energi panas yang diserap oleh kalorimeter (kalori)

$m_w$  = massa air (gram)

$c_w$  = Kalor jenis air (kalori/g.K)

$t_2$  = Temperatur setelah reaksi (K)

$t_1$  = Temperatur sebelum reaksi (K)

$C_c$  = Kapasitas kalor dari kalorimeter (kalori/K)

Nilai Kalor beberapa fluida dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut :

**Tabel 2.6** Nilai Kalor Beberapa Fluida

No.	Bahan Bakar	Nilai Kalor (MJ/kg)	Pustaka
1	Minyak Tanah	43	
2	Bensin	47,3	
3	Alkohol 90%	30	
4	Minyak Pirolisis PP	43,33	Santoso J. (2010)
5	Minyak Pirolisis LDPE	43,33	Santoso J. (2010)

### 2.10.2 Viskositas

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan atau hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir (tahanan geser dari bahan cair). Semakin tinggi viskositas minyak akan semakin kental dan lebih sulit mengalir. Demikian sebaliknya, semakin rendah viskositas minyak maka semakin encer dan lebih mudah minyak untuk mengalir. Cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada *viscometer* yang digunakan dan hasil (besarnya viskositas) yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran. Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar

minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbo pada ujung burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat. Peralatan yang biasanya digunakan untuk pengukuran viskositas berupa *Saybolt Universal Viscosity* dan *Saybolt Furol Viscosity*.

Viskositas yang dicatat adalah lama waktu pengaliran minyak dalam wadah dengan volume tertentu melalui lubang tertentu pada suhu tertentu. Salah satu cara untuk mengukur besarnya nilai viskositas zat cair adalah dengan menggunakan metode *Falling Ball*. Penentuan ini didasarkan pada hukum Stokes. Bola dengan rapatan ( $d$ ) dan jari-jari ( $r$ ) dijatuhkan kedalam tabung berisi cairan yang akan ditentukan viskositasnya. Waktu yang diperlukan untuk bola untuk jatuh melalui cairan dengan tinggi tertentu kemudian dicatat dengan stopwatch. Persamaan viskositas dengan metode *falling ball* adalah :

$$\eta = \frac{2r_b^2(\rho_b - \rho)gt}{h} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- $\eta$  = Viskositas (cP)
- $r$  = Jari-jari kelereng (cm)
- $\rho_b$  = Massa jenis aquadest (gr/ml)
- $\rho$  = Massa jenis zat cair (gr/ml)
- $g$  = Konstanta gravitasi (m/s)
- $t$  = Rata-rata waktu (menit)
- $h$  = Tinggi tabung (cm)

Viskositas beberapa fluida dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Viskositas Beberapa Fluida

No.	Fluida	Suhu (°C)	Viskositas (Cp)	Pustaka
1	Air	20	1	
2	Alkohol Ethyl	20	1,2	
3	Minyak Mesin (SAE 10)	30	200	Douglas C. Giancoli, D.C., 1997
4	Gliserin	20	1500	
5	Udara	20	0,018	
6	Hidrogen	0	0,009	
7	Minyak Tanah	28	0,294-3,34	<a href="http://www.en.wikipedia.org">http://www.en.wikipedia.org</a>
8	Bensin	20	0,652	
9	Alkohol	27	0,8609	Percobaan di Laboratorium
10	Aseton	27	0,3417	MIPA UNS
11	Minyak Pirolisis PP	27	0,43	Santoso J. (2010)
12	Minyak Pirolisis LDPE	27	0,58	Santoso J. (2010)

### 2.10.3 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Nilai titik nyala bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan *Open Cup Flash Point Tester* (ASTM-D92), minyak-minyak berat akan di periksa dengan cara dipanaskan dengan kecepatan 10 °F per menit, sedangkan untuk minyak-minyak ringan pada kecepatan 1,8 °F/menit. Pada setiap pemeriksaan, nyala api dimasukkan kedalam uap selama selang waktu 30 detik, lalu suhu dicatat.

### 2.10.4 Massa Jenis

Massa jenis menyatakan densitas atau berat persatuan volume suatu zat. Massa jenis dapat ditentukan dengan piknometer (ASTM D941 dan D1217). Satuan massa jenis dapat dinyatakan dengan lb/gal atau lb/barel atau gr/cm serta gr/ml. Massa jenis juga dapat diartikan pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Tujuan dilaksanakan pemeriksaan terhadap massa jenis adalah untuk indikasi mutu minyak. Semakin rendah massa jenis maka minyak tersebut semakin berharga karena banyak mengandung bensin. Begitu pula sebaliknya,

semakin tinggi massa jenis berarti minyak tersebut mempunyai kandungan panas (*heating value*) yang rendah. Rumus untuk menentukan massa jenis adalah:

$$\text{Berat sampel} = (\text{Berat Piknometer} + \text{Sampel}) - (\text{Berat Piknometer Kosong})$$

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$\rho$  = massa jenis (gr/ml)

$m$  = massa sampel (gr)

$v$  = volume Aquadest (ml)

Massa jenis beberapa fluida dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut :

**Tabel 2.8** Massa jenis beberapa Fluida

No.	Jenis Minyak	Massa Jenis (kg/l)	Pustaka
1	Bensin	0,68	
2	Alkohol Alkil	0,79	
3	Air Laut	1,025	Giancoli, D.C., 1997
4	Raksa	13,6	
5	Air (4°)	1	
6	Udara	$1,29 \times 10^{-3}$	
7	Minyak Tanah	0,78-0,81	<a href="http://www.en.wikipedia.org">http://www.en.wikipedia.org</a>
8	Minyak Pirolisis PP	0,71-0,74	Santoso J (2010)
9	Minyak pirolisis LDPE	0,74-0,77	Santoso J (2010)

## 2.11 Karakteristik Minyak Bumi

Minyak bumi sebagai campuran alamiah, selain mengandung hidrokarbon, juga dapat mengandung sulfur, nitrogen, dan senyawa oksigen turunan hidrokarbon. Minyak bumi yang dihasilkan diketahui memiliki perbedaan dalam hal komposisinya sehingga mempunyai sifat-sifat karakteristik sendiri (Pertamina, 2010). Jenis hidrokarbon yang terdapat pada minyak bumi sebagian besar terdiri dari:

### 1) Parafin atau alkana

Fraksi terbesar dalam minyak bui, dengan rumus molekul  $C_nH_{2n+2}$  yang memiliki rantai lurus (bersifat stabil) dan bercabang. Contoh senyawa yang tergolong dalam parafin adalah metana, heksana, dan heksadiena.

### 2) Olefin

Senyawa olefin hampir tidak terdapat dalam minyak mentah tetapi dapat ditemukan pada produk perengkahan minyak bumi. Mempunyai ikatan

rangkap dengan titik didih yang rendah dan dapat digunakan sebagai bahan baku zat petrokimia. Rumus senyawa olefin adalah  $C_nH_{2n}$ .

3) Naptha

Naptha digunakan dalam industri petrokimia untuk memproduksi olefin serta dapat digunakan sebagai pelarut. Senyawa naptha memiliki nama lain yaitu siklo alkane yang memiliki cincin 5 (siklo pentane) maupun cincin 6 (siklo heksana). Rumus molekul senyawa naptha adalah  $C_nH_{2n}$ .

4) Aromatic

Senyawa aromatic memiliki karbon yang terdiri dari 6 atom C yang membentuk rantai benzena. Senyawa ini terdapat dalam hidrokarbon penyusun minyak bumi dalam jumlah yang sedikit. Kegunaan dari senyawa aromatic yang terkandung dalam minyak bumi adalah sebagai senyawa yang baik untuk mencegah *knocking* pada kendaraan.

## 2.12 Spesifikasi Bahan Bakar Minyak

Spesifikasi bahan bakar minyak yang menjadi acuan merupakan standar dan mutu (spesifikasi) yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi (Dirjen Migas).

### 2.12.1 Spesifikasi Bahan Bakar Jenis Solar

Minyak diesel atau solar adalah hasil penyulingan minyak yang berwarna hitam yang berbentuk cair pada temperatur rendah, biasanya memiliki kandungan sulfur yang rendah dan dapat diterima oleh *Medium Speed Diesel Engine* di sektor industri. Oleh karena itulah, diesel *oil* disebut juga *Industrial Diesel Oil* (IDO) atau *Marine Diesel Fuel* (MDF). Adapun spesifikasi dari bahan bakar solar dapat dilihat pada tabel 2.9.

**Tabel 2.9** Spesifikasi Bahan Bakar Jenis Solar

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min	Max	ASTM
1.	Bilangan Cetana	-	48	-	D 613
	Angka Setana atau Indeks Setana	-	45	-	D 4737
2.	Berat Jenis @ 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	815	800	D 1298/D 4052
3.	Viskositas @ 40 °C	mm <sup>2</sup> /sec	2,0	4,5	D 445
4.	Kandungan Sulfur		-	0,35 <sup>1)</sup>	
			-	0,30 <sup>2)</sup>	
		% m/m	-	0,25 <sup>3)</sup>	D 2022/D5453/
			-	0,05 <sup>4)</sup>	D 4294/D7039
			-	0,005 <sup>5)</sup>	
5.	Distilasi 90% vol.penguapan	°C	-	370	D 86
6.	Titik Nyala	°C	52	-	D 93
7.	Titik Tuang	°C	-	18	D 97
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D 4530/D 189
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304
10.	Biological Growth *)	-	Nihil		
11.	Kandungan FAME *)	% v/v	-	-	
12.	Kandungan Metanol *)	% v/v	Tak Terdeteksi		D 4815
13.	Korosi Bilah Tembaga	Menit	-	Kelas 1	D 130
14.	Kandungan Abu	% v/v	-	0,01	D 482
15.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473
16.	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D 664
17.	Bilangan Asam Total	mgKOH/gr	-	0,6	D 664
18.	Partikulat	mg/l	-	-	D 2270
19.	Penampilan Visual	-	Jernih & Terang		
20.	Warna	No.ASTM	-	3,0	D 1500
21.	Lubricity	Micron	-	400	D 6079

(HFRR wear scar da @ 60 °C)

(Sumber : Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, No: 28.K/10/DJM.T/2016)

### 2.12.2 Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 88 (Premium)

Bahan bakar jenis premium masih rentan terhadap pencemaran udara apabila kondisi mesin kurang baik, oleh karena itulah bahan bakar jenis ini sudah jarang digunakan pada mesin kendaraan bermotor. Adapun spesifikasi dari bahan bakar bensin jenis 88 (premium) dapat dilihat pada tabel 2.10.

**Tabel 2.10** Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 88 (Premium)

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min	Maks	ASTM
1.	Bilangan Oktana				
	Angka Oktana Riset	RON	88,0	-	D 2699
2.	Stabilitas Oksidasi	Menit	360	-	D 525
3.	Kandungan Sulfur	% m/m			
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l		0,013 *	D 3237
			*Injeksi timbal tidak diijinkan		
5.	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	Tidak Terlacak		D 3831/ D 5185
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7	D 4815/ D 6839/ D5599
7.	Kandungan Olefin	% v/v			D 1319/ D 6839/ D 6730
8.	Kandungan Aromatik	% v/v	Dilaporkan		D 1319/ D 6839/ D 6730
9.	Kandungan Benzena	% v/v			D 5580/ D 6839/ D 6730/ D 3606
10.	Distilasi :				D 86
	10% vol.penguapan	°C	-	74	
	50% vol.penguapan	°C	75	125	
	90% vol.penguapan	°C	-	180	
	Titik didih akhir	°C	-	215	
	Residu	% vol	-	2,0	
11.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452
12.	<i>Unwash gum</i>	mg/100ml	-	70	D 381
13.	<i>Washed gum</i>	mg/100ml	-	5	D 381
14.	Tekanan Uap	Kpa	45	69	D 5191/ D 323
15.	Berat Jenis @15 °C	kg/m <sup>3</sup>	715	770	D 4052/ D 1298
16.	Korosi Bilah Tembaga	% massa	Kelas 1		D 130
17.	Sulfur Mercaptan		-	0,002	D227
18.	Penampilan Visual		Jernih dan Terang		
19.	Bau		Dapat dipasarkan		
20.	Warna		Kuning		
21.	Kandungan Pewarna	g/100 l	-	0,13	

(Sumber :Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, No: 2933.K/10/DJM.S/2013)

### 2.12.3 Spesifikasi Bahan Bakar Jenis Minyak Bakar

Minyak bakar bukan berasal dari jenis distilat tetapi dari jenis residu dan berwarna hitam gelap. Minyak bakar lebih kental daripada minyak diesel dan memiliki titik tuang (*pour point*) yang lebih tinggi daripada minyak diesel. Penggunaan minyak bakar pada umumnya untuk bahan bakar pada pembakaran langsung pada dapur-dapur industri besar, pembangkit listrik tenaga uap dan lain-

lain yang sangat memperhatikan segi ekonomis dari bahan bakarnya. Minyak bakar ini disebut juga *Marine Fuel Oil*. Adapun spesifikasi dari bahan bakar jenis minyak bakar dapat dilihat pada tabel 2.11.

**Tabel 2.11** Spesifikasi Bahan Bakar Jenis Minyak Bakar

No	Karakteristik	Satuan	Batasan				Metode Uji
			Info 1		Info 2		
			Min	Max	Min	Max	ASTM
1.	Nilai Kalori	MJ/kg	41,87	-	-	-	D 240
2.	Densitas pada 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	-	991	41,87	991	D 1298
3.	Viskositas Kinematik pada 50 °C	mm <sup>2</sup> /dt	-	180	-	380	D 445
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	3,5	-	4,0	D 1552/ D 2622
5.	Titik Tuang	°C	-	30	-	40	D 97
6.	Titik Nyala	°C	60	-	-	-	D 93
7.	Residu Karbon	% m/m	-	16	-	20	D 189
8.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,10	-	0,15	D 482
9.	Sedimen Total	% m/m	-	0,10	-	0,10	D 473
10.	Kandungan Air	% v/v	-	0,75	-	1,00	D 95
11.	Vanadium	mg/kg	-	200	-	-	AAS
12.	Alumunium + Silikon	mg/kg	-	80	-	-	D 5184/AAS

(Sumber : Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, No: 14499.K/14/DJM/2008)

### 2.12.3 Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Pertamax Turbo adalah bahan bakar yang dikembangkan dengan formula *Ingition Boost Formula* (IBF) dengan angka oktan 98 untuk kesempurnaan performa kendaraan. Adapun spesifikasi dari bahan bakar bensin jenis 98 (pertamax turbo) dapat dilihat pada tabel 2.12.

**Tabel 2.12** Spesifikasi Bahan Bakar bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

No	Parameter	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min	Maks	
			(1)	(2)	(3)
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)	RON	98,0	-	D 2699
2.	Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-	D 525
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,005	D 2622/ D4294/ D 5453

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
4.	Sulfur Merkaptan	% m/m		0,002	D 3237/ D 5059
5.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	- Injeksi timbal tidak diijinkan - Dilaporkan		D 3237/ D5059
6.	Kandungan Fosfor	mg/l	Tidak Terdeteksi		D 3231
7.	Kandungan Logam : - Mangan - Besi	mg/l	Tidak Terdeteksi		D 3831/ D 5185
8.	Kandungan Silikon	mg/l	Tidak Terdeteksi		
9.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7	D 4815/ D 6839/ D 5599/ D 6730
10.	Kandungan Olefin	% v/v	-	-	D 1319/ D 6839/ D 6730
11.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	4,0	D 1319/ D 6839/ D 6730/ D 5580
12.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0	D 1319/ D6839/ D 6730/ D 5580
13.	Distilasi :				D 86
	- 10% vol.penguapan	°C	-	70	
	- 50% vol.penguapan	°C	75	125	
	- 90% vol.penguapan	°C	130	180	
	- Titik didih akhir	°C	-	215	
	- residu	% vol	-	2,0	
14.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452
15.	<i>Unwashed gum</i>	mg/100 ml	-	70	D 381
16.	<i>Washed gum</i>	mg/100 ml	-	5	D 381
17.	Tekanan Uap	Kpa	45	69	D 5191/ D 323
18.	Berat Jenis (@15°C)	kg/m <sup>3</sup>	715	770	D 4052/ D 1298
19.	Korosi Bilah Tembaga	Menit	Kelas 1		D 130
20.	Penampilan Visual		Jernih dan Terang		
21.	Warna		Merah		

(Sumber :Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, No: 0177.K/10/DJM.T/2018)

#### 2.12.4 Spesifikasi Bahan Bakar bensin Jenis 90 (Pertalite)

Pertalite merupakan bahan bakar gasoline yang memiliki angka oktan 90 serta bewarna hijau terang dan jernih. Bahan bakar pertalite yang memiliki angka oktan yang lebih tinggi daripada premium 88, sehingga lebih tepat digunakan untuk kendaraan bermesin bensin yang mampu menempuh jarak yang lebih jauh dengan tetap memastikan kualitas dan harga yang terjangkau. Adapun spesifikasi dari bahan bakar bensin jenis 90 (pertalite) dapat dilihat pada tabel 2.13.

**Tabel 2.13** Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

No	Parameter	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min	Maks	ASTM
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)		90,0	-	D 2699
2.	Stabilitas Oksidasi	Menit	360	-	D 525
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622/ D4294/ D 5453/ D 7039
4.	Sulfur Merkaptan	% m/m		0,002	D 3227
5.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	- Injeksi timbal tidak diijinkan - Dilaporkan		D 3237/ D5059
6.	Kandungan Logam :				
	- Mangan	mg/l		1	D 3831/ D 5185
	- Besi			1	
7.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7	D 4815/ D 6839/ D 5599
8.	Kandungan Olefin	% v/v			D 1319/ D 6839/ D 6730
9.	Kandungan Aromatik	% v/v	Dilaporkan		D 1319/ D 6839/ D 6730/ D 5580
10.	Kandungan Benzena	% v/v			D 1319/ D 6839/ D 6730/ D 3606
11.	Distilasi :				D 86
	- 10% vol.penguapan	°C	-	74	
	- 50% vol.penguapan	°C	75	125	
	- 90% vol.penguapan	°C	130	180	
	- Titik didih akhir	°C	-	215	
	- residu	% vol	-	2,0	
12.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452
13.	<i>Unwashed gum</i>	mg/100 ml	-	70	D 381
14.	<i>Washed gum</i>	mg/100 ml	-	5	D 381
15.	Tekanan Uap	Kpa	45	69	D 5191/ D 323
16.	Berat Jenis (@15°C)	kg/m <sup>3</sup>	715	770	D 4052/ D 1298
17.	Korosi Bilah Tembaga			Kelas 1b	D 130
18.	Penampilan Visual		Jernih dan Terang		
19.	Warna		Hijau		

(Sumber : Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, No: 0486.K/10/DJM.S/2017)

### 2.12.5 Spesifikasi Bahan Bakar Kerosin (Minyak Tanah)

Kerosin merupakan fraksi minyak bumi yang mempunyai daerah didih sekitar 150-300°C. Mempunyai *flash point* diatas 38°C (100°F). Kerosin (minyak tanah) adalah fraksi minyak bumi yang lebih berat dari Migas, nilai kalor untuk minyak tanah yaitu 10.478,95 Kcal/kg. (A Hardjono, 2015). Adapun spesifikasi dari bahan bakar kerosin dapat dilihat pada tabel 2.14.

**Tabel 2.14** Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Kerosin

No	Parameter	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min	Maks	ASTM
1.	Densitas pada 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	-	835	D 1298
2.	Titik Asap	Mm	15	-	D 1322
3.	Nilai Jelaga ( <i>Char Value</i> )	Mg/kg	-	40	IP 10
4.	Distilasi : Perolehan pada 200°C	% vol	18	-	D 86
5.	Titik Akhir	°C	-	310	-
6.	Titik Nyala Abel	°C	38	-	IP 170
7.	Titik Didih Akhir	°C	-	215	
8.	Kandungan Belerang	% massa		0,20	D 1266
9.	Korosi Bilah Tembaga (3 jam/50°C)	-	-	No.1	D 130
10.	Bau dan Warna		Dapat dipasarkan		

(Sumber :Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, No: 0177.K/10/DJM.T/2007)

### 2.13 Oli Bekas sebagai Bahan Bakar

Oli merupakan sisa dari produk-produk minyak bumi yang lain. Beberapa produk sisa adalah minyak bakar residu, minyak bakar untuk diesel, *road oil*, *spray oil*, *coke*, *asphalt*, dll. Oli digunakan sebagai minyak pelumas pada kendaraan, namun limbahnya yaitu oli bekas belum ada penanganan yang tepat sehingga oli bekas tersebut dapat mencemari lingkungan.

Pelumas dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang berada diantara dua permukaan yang bergerak secara relatif agar dapat mengurangi gesekan antar permukaan tersebut. Sistem pelumasan merupakan salah satu sistem utama pada mesin, yaitu suatu rangkaian alat-alat mulai dari tempat penyimpanan minyak pelumas, pompa oli (*oil pump*), pipa-pipa saluran minyak, dan pengaturan tekanan minyak pelumas agar sampai pada bagian-bagian yang memerlukan pelumasan. Minyak pelumas memiliki ciri-ciri fisik yang penting, antara lain :

#### 1) *Viscosity*

*Viscosity* atau kekentalan suatu minyak pelumas adalah pengukuran dari mengalirnya bahan cair dari minyak pelumas, dihitung dalam ukuran standard. Makin besar perlawanannya untuk mengalir, berarti semakin tinggi *viscosity*-nya, begitu juga sebaliknya.

2) *Viscosity Index*

Tinggi rendahnya indeks ini menunjukkan ketahanan minyak pelumas terhadap perubahan suhu. Semakin tinggi angka indeks minyak pelumas, maka semakin kecil perubahan *viscosity*-nya pada penurunan atau kenaikan suhu. Nilai *viscosity index* ini dibagi dalam tiga golongan, yaitu :

- HVI (*High Viscosity Index*) diatas 80
- MVI (*Medium Viscosity Index*) 40-80
- LVI (*Low Viscosity Index*) dibawah 40

3) *Flash Point*

*Flash point* atau titik nyala merupakan suhu terendah pada waktu minyak pelumas menyala seketika. Pengukuran titik nyala ini menggunakan alat-alat standard, tetapi metodenya berlainan tergantung dari produk yang diukur titik nyalanya.

4) *Pour Point*

Merupakan suhu terendah dimana suatu cairan mulai tidak bisa mengalir dan kemudian menjadi beku. *Pour point* perlu diketahui untuk minyak pelumas yang dalam pemakaiannya mencapai suhu yang dingin atau bekerja pada lingkungan udara yang dingin.

5) *Total Base Number (TBN)*

Menunjukkan tinggi rendahnya ketahanan minyak pelumas terhadap pengaruh pengasaman, biasanya pada minyak pelumas baru (*fresh oil*). Setelah minyak tersebut dipakai dalam jangka waktu tertentu, maka nilai TBN ini akan menurun. Untuk mesin bensin atau diesel, penurunan TBN ini tidak boleh sedemikian rupa hingga kurang dari 1, lebih baik diganti dengan minyak pelumas baru, karena ketahanan dari minyak pelumas tersebut tidak ada.

6) *Carbon Residue*

Merupakan jenis persentasi karbon yang mengendap apabila oli diuapkan pada suatu tes khusus.

7) *Density*

Menyatakan berat jenis oli pelumas pada kondisi dan temperatur tertentu.

8) *Emulsification* dan *Demulsibility*

Sifat pemisahan oli dengan air. Sifat ini perlu diperhatikan terhadap oli yang kemungkinan bersentuhan dengan air.

Selain ciri-ciri fisik yang penting seperti telah dijelaskan sebelumnya, minyak pelumas juga memiliki sifat-sifat penting, yaitu :

1) Sifat kebasaaan (*alkalinity*)

Untuk menetralsir asam-asam yang terbentuk karena pengaruh dari luar (gas buang) dan asam-asam yang terbentuk karena terjadinya oksidasi.

2) Sifat *detergency* dan *dispersancy*

Sifat *detergency* : untuk membersihkan saluran-saluran maupun bagian-bagian dari mesin yang dilalui minyak pelumas, sehingga tidak terjadi penyumbatan.

Sifat *dispersancy* : untuk menjadikan kotoran-kotoran yang dibawa oleh minyak pelumas tidak menjadi mengendap, yang lama-kelamaan dapat menjadi semacam lumpur (*sludge*). Dengan sifat *dispersancy* ini, kotoran-kotoran tadi dipecah menjadi partikel-partikel yang cukup halus serta diikat sedemikian rupa sehingga partikel-partikel tadi tetap mengembang di dalam minyak pelumas dan dapat dibawa di dalam peredarannya melalui sistem penyaringan. Partikel yang bisa tersaring oleh filter, akan tertahan dan dapat dibuang sewaktu diadakan pembersihan atau penggantian filter elemennya.

3) Sifat tahan terhadap oksidasi

Untuk mencegah minyak pelumas cepat beroksidasi dengan uap air yang pasti ada di dalam karter, yang pada waktu suhu mesin menjadi dingin akan berubah menjadi embun dan bercampur dengan minyak pelumas. Oksidasi ini akan mengakibatkan minyak pelumas menjadi lebih kental dari yang diharapkan, serta dengan adanya air dan belerang sisa pembakaran maka akan bereaksi menjadi  $H_2SO_4$  yang sifatnya sangat korosif.

## 2.14 Karakteristik Oli Bekas

Ditinjau dari komposisi kimianya sendiri, oli adalah campuran dari hidrokarbon kental ditambah berbagai bahan kimia aditif. Oli bekas memiliki campuran komposisi lebih dari itu, dalam oli bekas terkandung sejumlah sisa hasil pembakaran yang bersifat asam korosif, deposit, dan logam berat yang bersifat karsinogenik.

Berdasarkan kriteria limbah yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, oli bekas termasuk kategori limbah B3. Meski oli bekas masih bisa dimanfaatkan, bila tidak dikelola dengan baik, ia bisa membahayakan lingkungan.

Minyak pelumas yang telah digunakan dalam waktu cukup lama akan mengalami perubahan komposisi atau susunan kimia, selain itu juga akan mengalami perubahan sifat fisis, maupun mekanis. Hal ini disebabkan karena pengaruh tekanan dan suhu selama penggunaan dan juga kotoran-kotoran yang masuk ke dalam minyak pelumas itu sendiri. Minyak pelumas bekas yang dikeluarkan dari peralatan biasanya dibuang begitu saja bahkan ada yang dimanfaatkan kembali tanpa melalui proses daur ulang yang benar. Oleh karena itu akan lebih aman dan tepat apabila minyak pelumas bekas dapat diolah kembali. Karakteristik minyak pelumas baru dan bekas dapat dilihat pada Tabel 2.15 berikut :

**Tabel 2.15** Karakteristik minyak pelumas bekas dan baru

<b>Parameter Menurut Penelitian</b>	<b>Densitas (gr/cm<sup>3</sup>) ASTM D298</b>	<b>Viskositas (cP) ASTM D2393</b>
Prasaji, dkk	Baru : 0,866	Baru : 58,879
	Bekas : 0,868	Bekas : 55,857
Owallabi, dkk	Baru : 0,90	Baru : 92,80
	Bekas : 0,91	Bekas : 21,10

(Sumber : Owallabi, dkk, 2013 dan Prasaji, dkk, 2013)