

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan yang sering digunakan adalah naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya (Kumar *et al.* 2011).

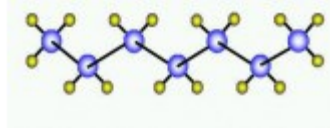
Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya, pengelompokan jenis plastik ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. Sedangkan *thermosetting* plastik yang melunak bila dipanaskan dan dapat dibentuk, tapi mengeras secara permanen, mereka hancur bila dipanaskan. Kebanyakan material komposit modern menggunakan plastik *thermosetting*, yang biasanya disebut resin. Plastik termosetting berwujud cair. Kelebihan dari plastik jenis ini adalah ketahanan zat kimia yang baik meskipun berada dalam lingkungan yang ekstrim.

2.1.1 Polimer Termoplastik

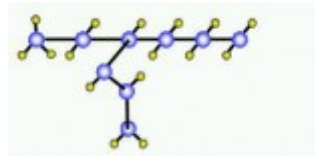
Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga

dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru.

Polimer yang termasuk polimer termoplastik adalah jenis polimer plastik. Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang. Bentuk struktur termoplastik sebagai berikut. (Beltrame et al. 2015).



Gambar 2.1 Struktur Termoplastik-1



Gambar 2. 2 Struktur Termo Plastik-2

Polimer termoplastik memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut :

- a. Berat molekul kecil
- b. Tidak tahan terhadap panas.
- c. Jika dipanaskan akan melunak
- d. Jika didinginkan akan mengeras.
- e. Mudah untuk diregangkan
- f. Fleksibel.
- g. Titik leleh rendah.
- h. Dapat dibentuk ulang (daur ulang).
- i. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai.
- j. Memiliki struktur molekul linear/bercabang

Contoh plastik termoplastik sebagai berikut (Huang. et al, 2010).

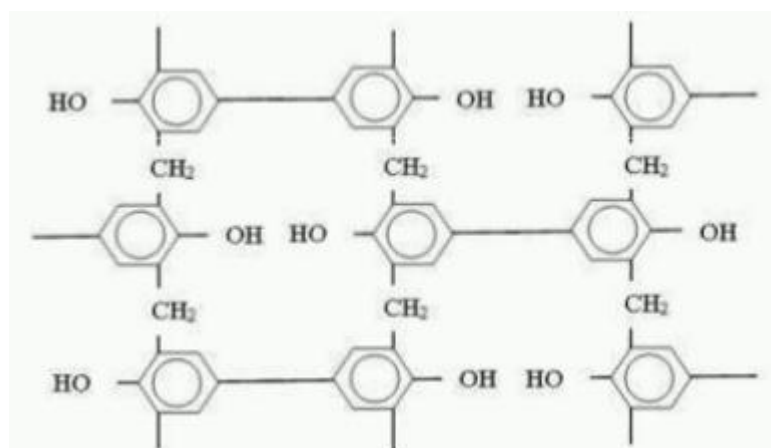
- Polietilena (PE) = Botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik dan jas hujan.

- Polivinilklorida (PVC) = Pipa air, pipa plastik, pipa kabel listrik, kulit sintetis, ubin plastik, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan dan botol detergen.
- Polipropena (PP) = Karung, tali, botol minuman, serat, bak air, insulator, kursi plastik, alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, pembungkus tekstil, dan permadani.
- Polistirena (PS) = Insulator, sol sepatu, penggaris, gantungan baju.

2.1.2 Polimer *Thermosetting*

Polimer *thermosetting* adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi.

Polimer *thermosetting* memiliki ikatan – ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer. Bentuk struktur ikatan silang sebagai berikut.



Gambar 2.3 Struktur *Thermosetting*
(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

Sifat polimer termoseting sebagai berikut.

- a. Keras dan kaku (tidak fleksibel)
- b. Jika dipanaskan akan mengeras
- c. Tidak dapat dibentuk ulang (sukar didaur ulang).
- d. Tidak dapat larut dalam pelarut apapun
- e. Jika dipanaskan akan meleleh.
- f. Tahan terhadap asam basa
- g. Mempunyai ikatan silang antarrantai molekul.

Dari klasifikasi polimer yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat dilihat beberapa perbedaan dari polimer termoplastik dan polimer termoseting pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Termoplastik dan *Termosetting*

Polimer Termoplastik	Polimer <i>Termosetting</i>
Mudah diregangkan	Keras dan Rigid
Fleksibel	Tidak fleksibel
Titik leleh rendah	Tidak meleleh jika dipanaskan
Dapat dibentuk ulang	Tidak dapat dibentuk ulang

(*Sumber: Kumar et al, 2011*).

2.2 Jenis-Jenis Plastik

Plastik digolongkan menjadi beberapa golongan berdasarkan sifatnya.

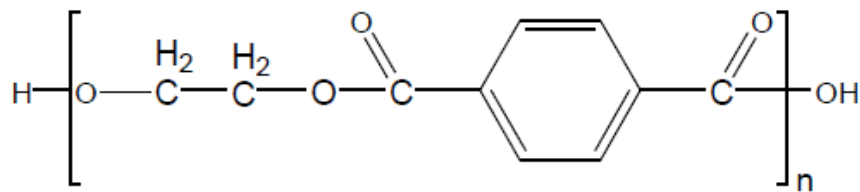
- a. Berdasarkan Sifat fisiknya:
 - Termoplastik merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), ABS, polikarbonat (PC).
 - Termoseting merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang/dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Contoh: resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea-formaldehida
- b. Berdasarkan kinerja dan penggunaannya:
 - Plastik komoditas; sifat mekanik tidak terlalu bagus, tidak tahan panas. Contohnya: PE, PS, ABS, PMMA, SAN. Aplikasi: barang-barang elektronik, pembungkus makanan, botol minuman.

- Plastik teknik; tahan panas, temperatur operasi di atas 100 °C, sifat mekanik bagus. Contohnya: PA, POM, PC, PBT. Aplikasi: komponen otomotif dan elektronik.
- Plastik teknik khusus; temperatur operasi di atas 150 °C, sifat mekanik sangat bagus (kekuatan tarik di atas 500 Kgf/cm²). Contohnya: PSF, PES, PAI, PAR. Aplikasi: komponen pesawat.

2.3 Penggolongan Plastik pada Industri

2.3.1 Polyethylene Terephthalate (PET)

PET adalah singkatan dari *polyethylene terephthalate* merupakan resin polyesteryang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas. kepekatannya adalah sekitar 1,35 – 1,38 gram/cc, ini membuatnya kokoh, rumus molekulnya adalah (-CO-C₆H₅-CO-O-CH₂-CH₂-O-)n. PET dapat ditemukan pada botol air, botol soda, botol jus, botol minyak goreng, tempat pindakas, kemasan makanan dan botol dressing salad

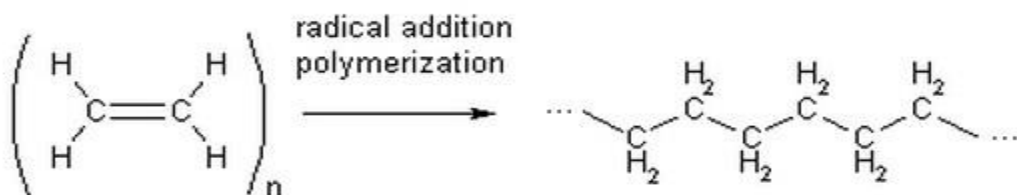


Gambar 2.4 Rantai Polyethylene Terephthalate (PET)

(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

2.3.2 High Density Polyethylene (HDPE)

HDPE adalah *High Density Polyethylene* – resin yang liat, kuat dan kaku yang berasal dari minyak bumi, yang sering dibentuk dengan cara meniupnya. Rumus molekulnya adalah (-CH₂-CH₂-)n. HDPE dapat ditemukan pada cerek susu, botol detergen, botol obat, botol oli mesin, botol shampo, kemasan jus, botol sabun cair, kemasan kopi dan botol sabun bayi.

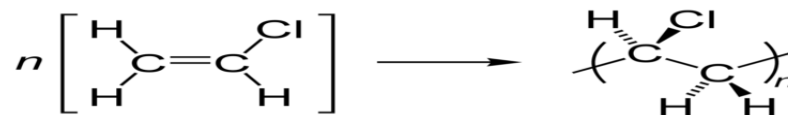


Gambar 2.5 Rantai Polyethylene (HDPE)

(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

2.3.3 Polyvinyl Chloride (PVC)

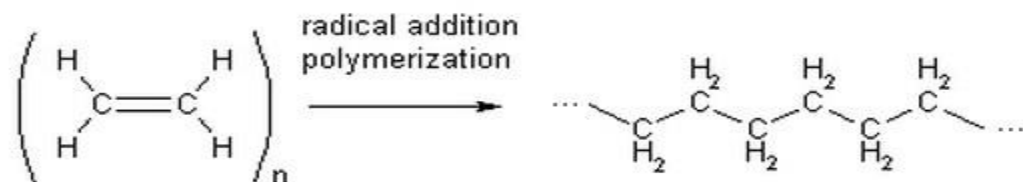
PVC adalah *Polyvinyl Chloride*, rumus molekulnya adalah $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$. Ini merupakan resin yang liat dan keras yang tidak terpengaruh oleh zat kimia lain. PVC dapat dijumpai pada tanda lalu lintas, botol minyak goreng, kabel listrik, botol pembersih kaca, mainan, botol shampoo, pipa air, kemasan kerut, dan kemasan makanan cepat saji.



Gambar 2.6 Rantai *Polyvinyl Chlorida* (PVC)
(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

2.3.4 Low Density Polyethylene (LDPE)

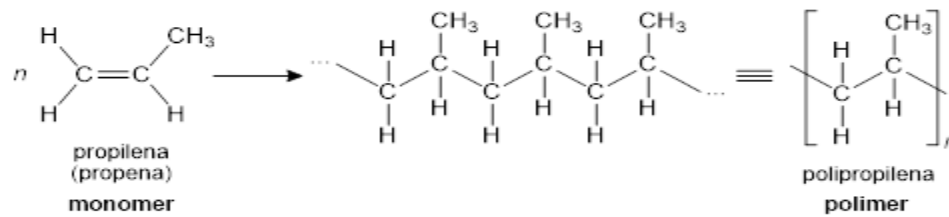
LDPE adalah plastik yang mudah dibentuk ketika panas, yang terbuat dari minyak bumi, dan rumus molekulnya adalah $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$. Dia adalah resin yang keras, kuat dan tidak bereaksi terhadap zat kimia lainnya, kemungkinan merupakan plastik yang paling tinggi mutunya. LDPE dapat dijumpai pada tas plastik, botol, kotak penyimpanan, mainan, perangkat komputer dan wadah yang dicetak.



Gambar 2.7 Rantai *Polyethylene* (LDPE)
(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

2.3.5 Polypropylene

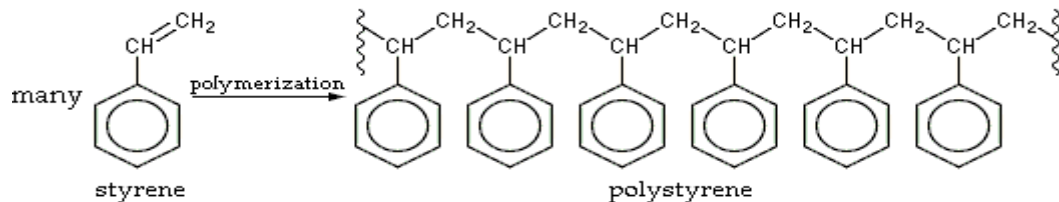
PP adalah *polypropylene* merupakan plastik polimer yang mudah dibentuk ketika panas, rumus molekulnya adalah $(-\text{CHCH}_3-\text{CH}_2-)_n$. Yang lentur, keras dan resisten terhadap lemak. *Polypropylene* dapat dijumpai pada wadah makanan, kemasan, pot tanaman, tutup botol obat, *tube* margarin, tutup lainnya, sedotan, mainan, tali, pakaian dan berbagai macam botol.



Gambar 2.8 Rantai *Polypropylene* (PP)
(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

2.3.6 *Polystyrene* (PS)

Polystyrene adalah plastik polimer yang mudah dibentuk bila dipanaskan, rumus molekulnya adalah $(-\text{CHC}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-)_n$. Sangat kaku dalam suhu ruangan. *Polystyrene* dapat dijumpai pada perkakas dari plastik, kotak CD, gelas plastik, wadah makanan dan nampan.



Gambar 2.9 Rantai *Polystyrene* (PS)
(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

2.3.7 Jenis Lain

Paling sering, produk dengan label 7 terbuat dari campuran dua atau lebih jenis plastik (1 s.d. 6). Kadang kala label 7 mengindikasikan bahwa bahan baku resinnya tidak dike? tahu. Bisa jadi untuk segala macam benda, namun paling sering akan dijumpai plastik 7 digunakan dalam industri minuman ataupun makanan.

2.4 Sifat Termal Bahan Plastik

Sifat termal plastik 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 (Singh *et al.* 2017). Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik bisa dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.2 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: Singh *et al.*, 2017)

2.5 Pirolisis

Pirolisis yaitu pemanasan dalam kondisi bebas oksigen, mengurai senyawa organik dari suatu bahan menjadi produk cair dan gas dengan melepaskan ikatan bahan-bahan anorganik yang terikat. Proses pirolisis dapat disebut juga dengan proses perengkahan atau *cracking*. *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses cracking plastik ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hidro cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Chen, *et al* 2014).

2.5.1 Catalytic Cracking

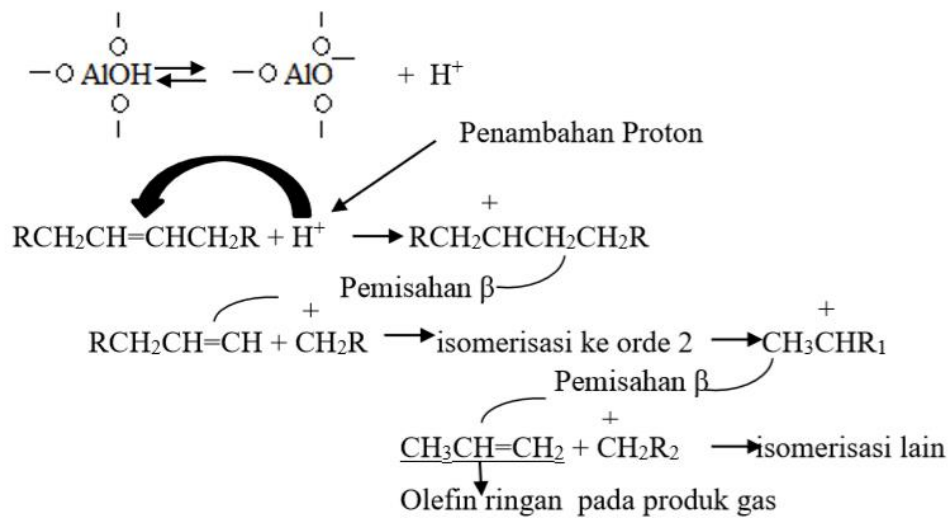
Cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi pemecahan molekul. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Osueke dan Ofundu (2011) melakukan penelitian konversi plastik *low density polyethylene* (LDPE) menjadi minyak. Proses konversi dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan *thermal cracking* dan *catalytic cracking*. Pyrolisis dilakukan di dalam

tabung stainless steel yang dipanaskan dengan elemen pemanas listrik dengan temperatur bervariasi antara 475 – 600 °C. Kondenser dengan temperatur 30 – 35 °C, digunakan untuk mengembunkan gas yang terbentuk setelah plastik dipanaskan menjadi minyak. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah *silica alumina*. Dari penelitian ini diketahui bahwa dengan temperatur pirolisis 550 °C dan perbandingan katalis/sampah plastik 1:4 dihasilkan minyak dengan jumlah paling banyak. Lin YH *et al.* (2004) melakukan penelitian tentang pirolisis terhadap plastik yang terkontaminasi untuk memperoleh senyawa hidrokarbon. Pirolisis dilakukan di dalam reaktor tabung, dengan memasukkan material plastik secara kontinyu. Plastik yang diproses ada dua macam, yaitu HDPE dalam kondisi bersih dan HDPE yang terkontaminasi minyak pelumas. Dalam penelitian ini temperatur pirolisis 500 °C. Pirolisis dilakukan dengan katalis (*thermo-catalytic pyrolysis*) dan tanpa katalis (*thermal pyrolysis*). Katalis yang digunakan adalah Zeolite. Dari penelitian ini diketahui bahwa HDPE yang terkontaminasi produk volatilnya lebih tinggi dan densitasnya juga lebih tinggi. Pemakaian katalis mempengaruhi proses perekahan pada HDPE yang tidak terkontaminasi, tetapi pada HDPE yang terkontaminasi pengaruh pemakaian katalis tidak signifikan. Pemakaian katalis menurunkan densitas dari minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis.

1. Mekanisme Reaksi *Catalytic Cracking*

Mekanisme reaksi *catalytic cracking* dari rantai polimer sama dengan jalur dari *catalytic cracking* hidrokarbon di pabrik penyulingan minyak bumi. Mekanisme ini telah dipelajari selama beberapa tahun. Proses *catalytic cracking* berlangsung pada suhu yang cukup tinggi untuk memiliki reaksi paralel *thermal cracking*. Mekanisme *catalytic cracking* hidrokarbon berupa reaksi ion, seperti pada katalis jenis zeolit memiliki pusat bronsted asam kuat, yang akan mentransfer ion hidrogen ke rantai polimer. Gambar 2.3 menunjukkan mekanisme *catalytic cracking* hidrokarbon.

Mekanisme ion



Gambar 2.5 Mekanisme *Catalytic Cracking Hydrocarbon*
(Sumber: Buekens, 2008)

Ion yang dihasilkan dapat distabilkan oleh β - *splitting*, isomerisasi atau mentransfer reaksi hidrogen. Skema selanjutnya menunjukkan reaksi yang berbeda yang dapat terjadi, masing-masing terjadi yang bergantung pada suhu. Luas permukaan dan struktur katalis yang berpori juga berperan penting. Penguraian rantai polimer dimulai pada permukaan eksternal katalis dan fragmen yang cukup kecil mungkin masuk ke dalam pori-pori, di mana reaksi cracking tambahan berlangsung, sehingga molekul gas terbentuk. Tidak seperti thermal cracking, katalis tertentu dapat membuat selektivitas terhadap produk tertentu.

Produk dari reaksi dapat diklasifikasikan sebagai produk gas (C1-C4) dan produk cair (C5-C44). Produk gas dianalisa dengan kromatografi gas. Identifikasi beberapa senyawa spesifik dapat dilakukan dengan kromatografi. Produk cair dianalisis dengan distilasi simulasi (ASTM metode D-2887), yang sesuai dengan bensin, turbosine (atau bahan bakar jet atau nafta), minyak tanah, minyak gas dan fraksi bahan bakar minyak. Tabel 2.3 menunjukkan produk cair yang sesuai dengan fraksi refinery.

Tabel 2.3 Produk Cair yang Sesuai dengan Fraksi Refineri

Fraksi Refineri	Nomor Karbon	Boiling Point (°C)
<i>Gasoline</i>	C5-C12	39-220
<i>Jet Fuel, Naptha</i>	C13-C14	221-254
<i>Kerosene</i>	C15-C17	255-300
<i>Gas Oil</i>	C18-C28	301-431
<i>Fuel Oil</i>	C29-C44	432-545

(Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

2.6 Aluminium Oksida

Aluminium Silika merupakan material yang memiliki banyak kegunaan. Aluminium Oksida telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Aluminium Oksida adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga, yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992).

2.7 Sifat-Sifat Kimia dan Fisika Aluminium Oksida

Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Secara alami, alumina terdiri dari mineral korondum, dan memiliki bentuk kristal. (Hudson, et. al., 2002).

Halimantun Hamdan (1992) mengemukakan Secara umum, alumina sering dijumpai dalam bentuk kristal. Struktur kristalnya yaitu trigonal. Oksigen pada aluminium oksida struktur heksagonal ion aluminium yang mengisi $2/3$ celah oktahedral. Alumina juga sering dijumpai dalam bentuk lain misalnya η , χ , γ , δ and θ theta alumina.

