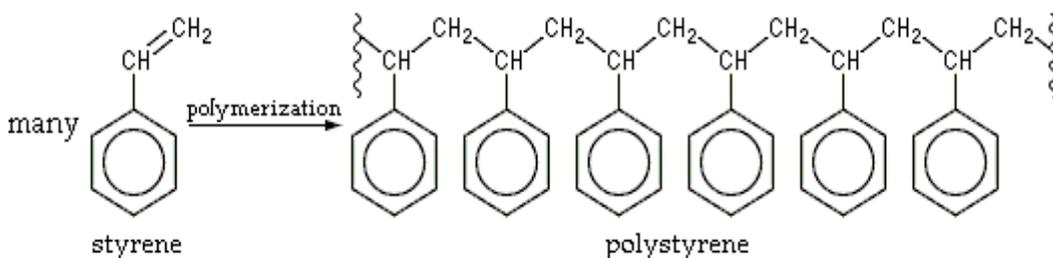


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Styrofoam

*Styrofoam* merupakan suatu jenis plastik yang dibuat dari monomer *styrene* melalui proses polimerisasi. Rumus molekulnya adalah  $(-\text{CHC}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-)_n$ . *Polystyrene* dapat larut dalam alkohol rantai panjang, kitin, ester hidrokarbon yang mengikat klorin. *Polystyrene* yang dicampur dengan seng dan senyawa butadiena menyebabkan *polystyrene* kehilangan sifat jernihnya dan berubah warna menjadi putih susu (Hariady. dkk. 2014). *Polystyrene* memiliki nilai konduktivitas termal dan daya penyerapan air yang rendah yaitu 0,035-0,037 W/(m·K) pada 10 °C (Omnexus. 2020). Gambar 2.1 menunjukkan karakteristik dari *polystyrene*. *Styrofoam* memiliki karakteristik-karakteristik umum sebagai berikut:

1. Sifat mekanis *styrofoam* kaku, keras, mempunyai bunyi seperti metalik bila dijatuhkan
2. Ketahanan terhadap bahan kimia tidak sebaik *polypropylene*. *Polystyrene* mempunyai daya serap air yang rendah dibawah 0,25%.
3. Mempunyai daya kekuatan permukaan relatif lebih keras dari jenis termoplastik yang lain namun mudah tergores.
4. Mempunyai derajat transparansi yang tinggi dan dapat memberikan kilauan yang baik dan tidak dimiliki oleh jenis plastik lain.
5. Mempunyai *softening point* yang rendah (90°C), sehingga tidak digunakan untuk pemakaian pada suhu tinggi.



Gambar 2.1 Rantai *Polystyrene*

(Kirk – Othmer. 2010)

## 2.2 Plastik

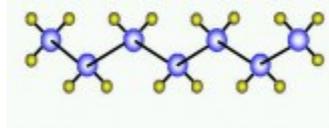
Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah 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 hangus/hancur bila dipanaskan. Kebanyakan material komposit modern menggunakan plastik *thermosetting*, yang biasanya disebut resin. Kelebihan dari plastik jenis ini adalah ketahanan zat kimia yang baik meskipun berada dalam lingkungan yang ekstrim.

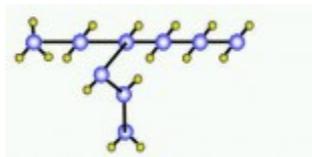
### 2.2.1 Polimer Termoplastik

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 2.2** Struktur Termoplastik-1



**Gambar 2.3** Struktur Termoplastik-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).

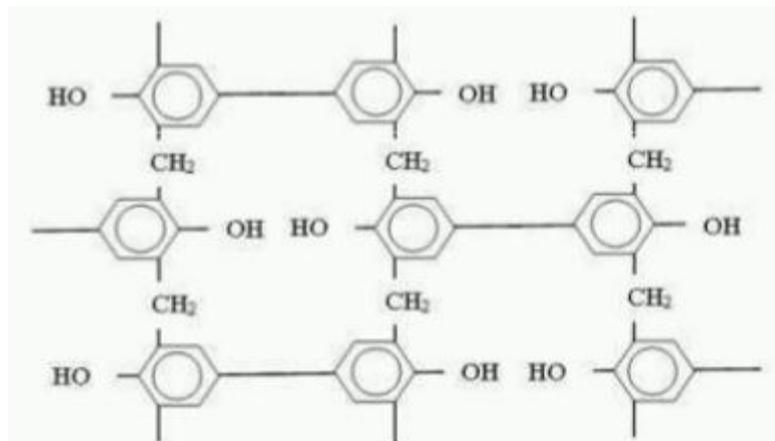
- Polietilena (PE) = Botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik dan jas hujan.
- Polivinilklorida (PVC) = Pipa air, pipa plastik, pipa kabel listrik, kulit sintetis, ubin plastik, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan 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.

### 2.2.2 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 2.4** 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*

<b>Polimer Termoplastik</b>	<b>Polimer <i>Termosetting</i></b>
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* ).

### 2.3 Pirolisis

Proses pirolisis dapat disebut dengan proses perengkahan atau *cracking*. *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking plastic* ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Temperatur pirolisis berlangsung pada suhu 200-500°C. Pirolisis tidak bisa lepas dari alat separator yang digunakan sebagai media pemisah fluida produksi kedalam fasa cairan dan fasa gas, dimana fluida berat akan berada dibagian bawah dan fluida lebih ringan akan berada pada bagian atas. Berbeda halnya dengan destilasi yaitu metode pemisahan bahan kimia yang berdasarkan perbedaan kecepatan atau titik didihnya.

Faktor yang mempengaruhi pirolisis :

#### 1. Kadar Air

Adanya air dalam bahan yang akan dipirolisis mempengaruhi proses pirolisis karena kadar air dalam bahan akan menggunakan energi untuk menghilangkan kandungan air. Energi dari luar yang seharusnya digunakan untuk proses pirolisis digunakan sebagian untuk proses pengeringan kadar air bahan. Akibatnya bahan dengan kandungan air yang tinggi membutuhkan energi yang

tinggi untuk proses pirolisis atau dengan kata lain pada energi yang sama bahan dengan kadar air yang tinggi menghasilkan gas yang lebih sedikit dari pada bahan dengan kadar air rendah.

## 2. Ukuran Partikel

Apabila ukuran partikel meningkat maka hasil dari padatan akan meningkat pula sedangkan hasil dari *volatile* dan gas akan menurun. Konsentrasi dari *volatile* dan gas meningkat sampai dengan nilai tertentu dan kemudian menurun sesuai dengan kenaikan ukuran partikel. Seiring dengan kenaikan ukuran partikel maka waktu yang digunakan untuk proses pirolisis pada temperature tertentu juga akan meningkat (Chaurisia & Babu, 2005).

## 3. Laju Pemanasan

Menurut Besler & William (1996), ketika laju pemanasan dinaikkan maka padatan pada proses pirolisis akan menurun. Produk gas yang dihasilkan pada temperatur antara 200°C dan 400°C adalah CO dan CO<sub>2</sub>. Ketika laju pemanasan meningkat maka gas CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub> akan meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan yang tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon, begitupula dengan minyak akan meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan.

## 4. Temperatur

Temperature merupakan faktor yang penting dalam menghasilkan produk pada proses pirolisis. Padaa temperature yang lebih tinggi maka hasil gas yang dihasilkan semakin banyak. Hasil minyak akan meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun, sedangkan padatan cenderung rendah. Semakin tinggi temperatur nilai kalor untuk hasil gas akan meningkat, namun untuk hasil padatan cenderung konstan (Encinar, 2009).

## 5. Bahan

Aydinli & Cagyar (2010), telah meneliti tentang kulit kemiri dengan plastik, hasil yang diperoleh yaitu dengan peningkatan jumlah plastic didapatkan hasil minyak yang lebih banyak, padatan lebih sedikit, dan hasil gas yang cenderung sama.

## 6. Komposisi Bahan Uji

Pada setiap penambahan material plastik didalam proses pirolisis menghasilkan suatu peningkatan kandungan hydrogen didalam minyak dibandingkan pada proses pirolisis tanpa bahan plastic. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi yang berbeda dari bahan yang diperlukan untuk proses pirolisis menghasilkan kandungan minyak yang berbeda

## 7. Laju Nitrogen

Peningkatan dari laju nitrogen menyebabkan penurunan jumlah minyak dan peningkatan jumlah gas, sedangkan hasil padatan sedikit menurun (Encinar, 2009).

## 8. Waktu Tinggal Padatan

Waktu tinggal padatan mempengaruhi jumlah hasil dari pirolisis karena semakin lama bahan didalam reactor maka padatan akan semakin terkomposisi menjadi minyak dan gas (Encinar, 2009).

## 2.4 *Catalytic Cracking*

*Cracking* atau yang sering disebut dengan pirolisis adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa-senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking* plastik dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Terdapat tiga jenis proses *cracking* yaitu *hidro cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Panda, 2011).

Menurut Trisunaryanti (2014) dikutip dari Sihombing, J.L., dkk (2017), reaksi *catalytic cracking* atau perengkahan katalitik adalah reaksi perengkahan menggunakan katalis (katalis heterogen) sebagai material yang mampu mempercepat laju reaksi untuk mencapai kesetimbangan dan menghasilkan produk akhir reaksi melalui mekanisme pembentukan ion karbonium. Menurut Nasikin dan Susanto (2010) dikutip dari Yolanda (2018) terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada proses mekanisme reaksi katalitik:

1. Difusi eksternal, yaitu reaktan berdifusi ke permukaan katalis.
2. Difusi internal, yaitu reaktan berdifusi ke dalam rongga-rongga katalis menuju permukaan aktif katalis.

3. Adsorpsi, yaitu proses dimana reaktan terserap secara kimia ke permukaan aktif katalis.
4. Terjadinya reaksi pada sisi katalis sehingga reaktan terkonversi menjadi produk.
5. Desorpsi, yaitu proses dimana produk terlepas dari permukaan katalis.

Produk dari reaksi dapat diklasifikasikan sebagai produk gas ( $C_1-C_4$ ) dan produk cair ( $C_5-C_{44}$ ). Produk gas dianalisa dengan kromatografi gas. 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 2.1 menunjukkan produk cair yang sesuai dengan fraksi *refinery*.

**Tabel 2.2** Produk Cair yang Sesuai dengan Fraksi Refineri

Fraksi Refineri	Nomor Karbon	Boiling Point ( $^{\circ}C$ )
<i>Gasoline</i>	C7-C11	39-220
<i>Kerosene-Diesel</i>	C12-C20	221-254
Pelumas	C21-C24	255-300
<i>Long Residu</i>	>C24	301-431
Asam Lemak dan Senyawa Lainnya	$C_xH_xO_x$	432-545

(Sumber : Data aktual Pertamina, Jakarta. 2016)

## 2.5 Gamma Alumina ( $\gamma-Al_2O_3$ )

Gamma alumina ( $\gamma-Al_2O_3$ ) merupakan oksida aluminium yang terbentuk melalui dehidrasi termal (kalsinasi) pada temperatur ( $500-750$ ) $^{\circ}C$  dari *precursor amorf*, yang sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben, katalis temperatur tinggi, penyangga katalis dan sebagai membrane filtrasi. Gamma alumina memiliki karakteristik luas permukaan yang besar, bersifat mesopori, serta memiliki ketahanan terhadap bahan kimia, termal dan mekanik. Aluminium oksida adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral  $[SiO_4]^{4-}$  dan  $[AlO_4]^{5-}$  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, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992). Untuk persentase katalis yang digunakan dimulai dari 5% sampai 20%. Adanya katalis dapat menyebabkan *yield* cairan yang dihasilkan meningkat, namun dapat terjadi penurunan jumlah *yield* cairan ketika dilakukan penambahan jumlah katalis, hal ini kemungkinan disebabkan karena dengan penambahan katalis telah melewati kondisi jenuh.

## 2.6 Sifat fisik dan kimia Gamma Alumina ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ )

Sifat fisika-kimia ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) sangat mempengaruhi unjuk kerja katalis *hydrotreating*. Sifat fisik ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) lainnya yang harus diperhatikan adalah kekuatan mekanik. Katalis dengan kekuatan rendah akan menghasilkan serbuk dalam jumlah lebih banyak yang dapat mengakibatkan *channeling*, *pressure drop* yang tinggi dan *hot spot* (Illuuta.dkk.,2006; Topsoe dkk.,1996). Sifat kimia ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) diidentifikasi dengan pusat asam. Tipe pusat asam yang muncul di permukaan ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) dapat berupa pusat asam Lewis ( $\text{AlO}^-$ ) dan atau pusat asam Bronsted ( $\text{Al-OH}$ ) (Gate dkk.,1979). Menurut Valente dkk. (2006), pusat asam (*acid site*) permukaan ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) sangat mempengaruhi aktivitas dan selektivitas katalis *hydrotreating*. Kemampuan untuk dapat mengatur keasaman ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) merupakan hal yang sangat penting. Upaya-upaya untuk memodifikasi keasaman permukaan ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) seperti menambahkan boron, flour, asam fosfat, asam sulfat, memadukan dengan oksida lain (misal : silica) dan sebagainya dalam pembuatan ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) telah dilakukan oleh sejumlah peneliti.