

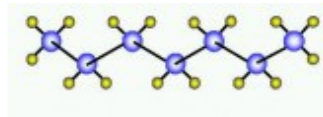
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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. dkk, 2011). Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu termoplastik dan termosetting.

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. Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang (Beltrame et al., 2015). Bentuk struktur termoplastik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Termoplastik
(*Kirk-Othmer, 2010*)

Polimer termoplastik yang praktis dalam pemakaian menyebabkan plastik ini sangat erat keberadaannya dalam kehidupan sehari-hari. Ada 7 macam kode industri jenis plastik yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Jenis-jenis tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Jenis-Jenis dan Kode Daur Ulang Plastik Dalam Industri

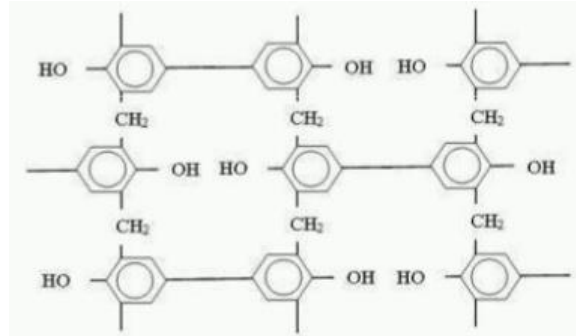
Kode	Nama	Keterangan
	<i>Polyethylene terephthalate</i> (PET/PETE)	PET merupakan plastik yang digunakan untuk mayoritas botol kemasan minuman. Botol PET biasanya jernih, tangguh dan tahan karbon dioksida dengan baik.
	<i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)	Plastik ini digunakan untuk menampung susu dan beberapa cemilan ringan. Plastik ini mudah dibentuk melalui media panas dan tekanan serta relarif kaku dan biaya rendah.
	<i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC/V)	PVC digunakan untuk membuat berbagai macam produk termasuk pipa PVC, film kemasan makanan, dan minyak nabati. Plastik ini menyumbang hanya 5% dari pasar kemasan.
	<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	LDPE memiliki percabangan dan kristalin yang lebih sedikit, lebih fleksibel, dan tidak sekuat HDPE. Plastik ini sebagai bahan utama film untuk membuat kantong sampah dan tas roti.
	<i>Polypropylene</i> (PP)	PP memiliki ketahanan kimia dan kelelahan yang baik. Plastik ini digunakan untuk membuat beberapa bungkus sekrup, tutup botol, mineral <i>cup</i> , dan wadah yoghurt.
	<i>Polystyrene</i> (PS)	PS digunakan untuk membuat berbagai wadah seperti <i>styrofoam</i> , nampan daging, dan karton telur.
	<i>Other</i>	Berbagai macam plastik lainnya datang ke pasar termasuk kopolimer, campuran, dan kombinasi multilayer.

(Carragher. 2017)

2.1.2 Polimer Termosetting

Polimer termosetting adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Polimer termosetting 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 termosetting dapat dilihat pada Gambar 2.2.

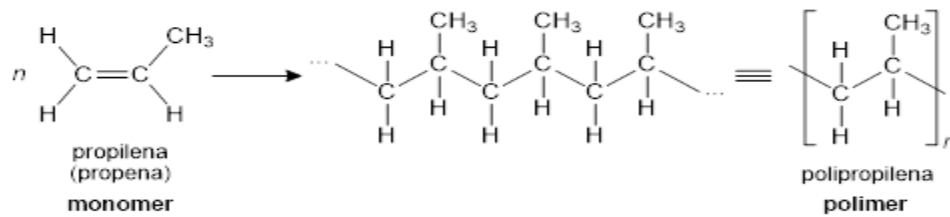


Gambar 2.2 Struktur *Thermosetting*
(Kirk-Othmer, 2010)

2.2 Polypropylene (PP)

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas *propylene*. Mujiarto dalam Adoe, Domingus G.H menyatakan bahwa *polypropylene* mempunyai transisi gelas (T_g) yang cukup tinggi ($190^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$), massa jenis yang rendah sekitar $0,735 \text{ gr/ml}$, viskositas sebesar $0,7607 \text{ cSt}$, titik leleh 168°C , dan titik kristalisasinya antara $130^{\circ}\text{C} - 135^{\circ}\text{C}$. *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi, tetapi ketahanan pukuhnya rendah. Konduktivitas terhadap panas rendah ($0,12 \text{ w/m}$), tegangan permukaan yang rendah, kekuatan benturan yang tinggi, tahan terhadap pelarut organik, bahan kimia anorganik, uap air, minyak, asam dan basa, isolator yang baik tetapi dapat dirusak oleh asam nitrat pekat.

Polypropylene merupakan plastik polimer yang mudah dibentuk ketika panas dengan rumus molekul $(-\text{CHCH}_3-\text{CH}_2-)_n$. *Polypropylene* dapat dibuat dari monomer propilen melalui proses polimerisasi menggunakan katalis Ziegler-Natta, Kaminsky atau katalis *metallocene*. Pembuatan *polypropylene* terdiri dari beberapa tahapan yaitu, persiapan bahan baku dari minyak mentah, monomer mengalami polimerisasi yang membentuk resin hingga resin akan diolah lebih lanjut untuk menjadi produk baru. *Polypropylene* dapat dijumpai pada wadah makanan, pot tanaman, tutup botol obat, *tube* margarin, sedotan, mainan, tali, pakaian dan berbagai macam botol. Rantai *polypropylene* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rantai *Polypropylene* (PP)
(Kirk-Othmer, 2010)

2.3 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. Ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Chen. dkk. 2014).

2.3.1 *Hydro Cracking*

Hydro cracking merupakan proses perengkahan dengan cara mereaksikan plastik dengan hidrogen di dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperatur antara 423-673 K dan tekanan hidrogen 3-10 Mpa. Proses *hydro cracking* berlangsung dengan bantuan katalis. Beberapa katalis yang sudah diteliti antara lain alumina, *amorphous silica alumina*, *zeolite*, dan *sulphate zirconia*.

2.3.2 *Thermal Cracking*

Thermal cracking termasuk proses pirolisis dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini dilakukan pada temperatur 350-900°C. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi, gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene dan aromatik serta gas yang tidak bisa terkondensasi.

2.3.3 *Catalytic Cracking*

Catalytic cracking menggunakan bantuan katalis dalam proses perengkahan. Dengan adanya katalis dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi pada proses penguraian molekul besar menjadi molekul kecil.

Produk dari reaksi dapat diklasifikasikan sebagai produk gas (C₁-C₄) dan produk cair (C₅-C₄₄). 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 2.2 menunjukkan produk cair yang sesuai dengan fraksi *refinery*.

Tabel 2.2 Produk Cair yang Sesuai dengan Fraksi Refineri

Fraksi Refineri	Nomor Karbon	<i>Boiling Point</i> (°C)
<i>Gasoline</i>	C ₅ -C ₁₂	39-220
<i>Jet Fuel, Naptha</i>	C ₁₃ -C ₁₄	221-254
<i>Kerosene</i>	C ₁₅ -C ₁₇	255-300
<i>Gas Oil</i>	C ₁₈ -C ₂₈	301-431
<i>Fuel Oil</i>	C ₂₉ -C ₄₄	432-545

(*Kirk-Othmer, 2010*)

2.4 Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasi zat tersebut. Katalis terlibat dalam reaksi, namun katalis akan dihasilkan kembali di akhir reaksi tanpa bergabung dengan produk. Menurut Ismi pada tahun 2017, tahapan reaksi pada katalis yaitu:

1. Transport reaktan ke permukaan katalis.
2. Interaksi reaktan dengan katalis, pada molekul ini terjadi pelemahan ikatan dari molekul yang teradsorp.
3. Reaksi molekul reaktan yang teradsorpsi dengan membentuk senyawa intermidiet dan menghasilkan produk.
4. Desorpsi produk dari permukaan katalis.
5. Transport produk menjauhi katalis.

2.4.1 Zeolit Alam

Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral [SiO₄]⁴⁻ dan [AlO₄]⁵⁻ yang saling terhubungkan 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).

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Namun

zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Untuk mengurangi kadar pengotor pada zeolit dilakukan proses aktivasi dan modifikasi. Selain untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang terdapat pada zeolit alam, proses aktivasi zeolit juga ditujukan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan dan keasaman. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat.

2.4.2 Gamma Alumina

Aluminium banyak digunakan sebagai bahan dasar pendukung katalitik karena sifat kimianya yang tinggi, kekuatan, dan kekerasan. Alpha (α), Beta (β), dan Gamma (γ) adalah fase yang berbeda dari Alumina. Alpha-Alumina juga dikenal sebagai nano-alumina yang memiliki struktur oktahedral seperti corundum yang sangat keras karena memiliki sifat kestabilan yang sangat tinggi sehingga tidak mudah larut dalam asam. Alpha-Alumina memiliki luas permukaan spesifik rendah, tahan terhadap suhu tinggi dan lembam, dan hampir tidak memiliki aktivitas katalitik.

β -Alumina berbentuk heksagonal dengan struktur pipih dan sel satuan berisi dua blok berbasis alumina spinel (Paranjpe. 2017). Sementara, γ -Alumina memiliki struktur kubik higroskopis yang larut dalam asam, luas permukaan yang baik karena ukuran partikel kecil sekitar 150-300 m²/g sehingga menghasilkan aktivitas permukaan yang tinggi untuk katalis (Rachmawati, Any. 2009). γ -Alumina banyak digunakan untuk aplikasi dalam katalisis dan adsorpsi, karena luas permukaan yang tinggi dan parameter porositas yang baik.

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pirolisis

Menurut (Udyani, 2018) faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis adalah:

1. Kadar Air

Adanya air dalam bahan yang dipirolisis mempengaruhi proses pirolisis karena kadar air dalam bahan akan menggunakan energi untuk menghilangkan kandungan air.

2. Ukuran Partikel

Apabila ukuran partikel meningkat maka hasil dari padatan akan meningkat pula sedangkan hasil dari volatil dan gas akan menurun.

3. Laju Pemanasan

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 CO₂. Ketika laju pemanasan meningkat maka gas CO, CO₂, CH₄, CH₃ akan meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan yang lebih tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon, begitu juga dengan minyak akan meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan.

4. Temperatur

Semakin tinggi temperatur nilai kalor untuk hasil gas akan meningkat. Hal ini dikarenakan bahan baku padatan akan menguap dan berubah menjadi gas sehingga berat dari padatan bahan baku akan berkurang. Namun, semakin tinggi temperatur akan membuat produk oil yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan temperatur yang tinggi dapat merubah hidrokarbon rantai yang panjang dan sedang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang pendek. Jika rantai hidrokarbon sangat pendek, maka diperoleh hasil gas yang tidak dapat dikondensasi.

5. Bahan

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.

2.6 Pengujian Karakteristik *Liquid Fuel*

2.6.1 Densitas

Densitas fluida didefinisikan sebagai massa per satuan volume. Massa jenis atau densitas merupakan suatu indikator banyaknya zat-zat pengotor hasil reaksi. Jika massa jenis suatu bahan bakar melebihi ketentuan, maka akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan mesin (Setiawati, 2012). Pada

umumnya, suatu bahan bakar harus memiliki nilai densitas yang rendah agar mudah dialirkan. Densitas (ρ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Densitas} = \frac{\text{massa sampel}}{\text{volume}}$$

2.6.2 Viskositas

Viskositas ialah sebuah tingkatan kepekatan fluida yang bisa menjelaskan besar kecilnya suatu sentuhan dalam fluida. Kemudian, jika semakin besar viskositas dalam fluida maka akan bertambah sulit untuk bergerak dan juga akan bertambah sulit benda dapat bergerak di dalam fluida. Faktor- faktor yang mempengaruhi viskositas adalah tekanan, temperatur, kehadiran zat lain, ukuran dan berat molekul, kekuatan antar molekul, konsentrasi larutan. Rumus Viskositas:

$$\mu = K (\rho \text{ bola} - \rho \text{ sampel}) t$$

$$V = \frac{\mu}{\rho \text{ sampel}}$$

Dimana :

$$\mu = \text{viskositas dinamik (mPa/s)}$$

$$K = \text{konstanta bola (mPa.s.cm}^3\text{/gr.s)}$$

$$\rho \text{ bola} = \text{densitas bola (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho \text{ minyak} = \text{densitas minyak (gr/cm}^3\text{)}$$

$$t = \text{waktu bola jatuh dari batas atas sampai batas bawah (s)}$$

$$V = \text{viskositas kinematik (cSt)}$$

2.6.3 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala (*flash point*) adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menyala pada kondisi tertentu pada tekanan satu atmosfer. Titik nyala (*flash point*) merupakan faktor penting untuk keamanan terhadap kebakaran. Penentuan nilai titik nyala ini juga berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan penanganan bahan bakar dan diuji dengan menggunakan alat *Pensky Marten Closed Tester* (ASTM, 1990).

2.6.4 Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor rendah (*Lower Heating Value*) merupakan jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakaran dibuat 150°C. Pada temperatur ini air berada dalam fase uap. Sementara jumlah kalor laten

yang diperhitungkan maka akan diperoleh nilai kalor atas (*Heat Heating Value*) dimana air berada dalam fase cair.

Nilai kalor bahan bakar dapat ditentukan dengan menggunakan alat bom kalorimeter. Bahan bakar yang diuji akan dibakar menggunakan kawat yang dialiri arus listrik dalam suatu bilik yang disebut bom dan ditenamkan dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor, hal ini menyebabkan suhu kalorimeter akan naik.

2.6.5 *Gas Chromatography-Mass Spectrometry*

Gas chromatography-mass spectrometry merupakan suatu instrumen yang terdiri dari dua metode analisis. Kromatografi gas berfungsi sebagai pemisah komponen dalam suatu senyawa, sedangkan spektrometri massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada kromatografi gas (Ismi, 2017).

Gas chromatography dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan dengan membandingkan waktu retensi dari komponen yang dianalisis dengan waktu retensi zat pembanding pada kondisi analisis yang sama. Sementara, untuk analisa kuantitatif dengan menghitung dari luas puncak kromatogram komponen yang dianalisis.