

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

2.1.1 Pengertian Plastik

Plastik merupakan salah satu bagian dari polimer dan hasil produk turunan minyak bumi yang memiliki kandungan energi tinggi seperti bahan bakar pada umumnya yaitu seperti bensin, solar dan minyak tanah [1]. Menurut Trisunaryanti [35], menyebutkan bahwa polimer (*poly*=banyak, *meros*=bagian) adalah molekul besar yang memiliki bobot molekul yang tinggi, dibangun dari pengulangan unit-unit dan akan membentuk rantai yang sangat panjang. Monomer ialah suatu molekul pembentuk dari polimer atau rantai yang paling pendek. Sampah plastik menjadi masalah lingkungan karena plastik membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengalami proses daur ulang. Plastik memiliki beberapa kelebihan seperti ringan, fleksibel, kuat, tidak mudah pecah, transparan, tahan air serta ekonomis.

Menurut Surono [2], plastik ialah 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). Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan yaitu Naphta bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Pada pembuatan 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi dalam bahan bakunya. Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam *thermoplastic* dan *termosetting*. *Thermoplastic* suatu bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. *Thermosetting* suatu bahan plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat

dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Penggunaan plastik berbeda-beda sesuai dengan jenis dan kegunaannya yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

2.1.2 Jenis Plastik

Adapun jenis-jenis dari plastik dan kegunaannya dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.1 Simbol plastik

1. PET (*Polyethylene Terephthalate*)

PET ialah resin *polyester* yang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas. Rumus molekulnya $(-CO-C_6H_5-CO-O-CH_2-CH_2-O-)_n$. PET dapat ditemukan pada botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, botol jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik. PET dapat di daur ulang di berbagai tempat karena sifatnya yang mudah di bentuk.

2. HDPE (*High-Density Polyethylene*)

HDPE (*High Density Polyethylene*) ini memiliki sifat yang kuat dan kaku. Rumus molekulnya $(-CH_2-CH_2)_n$. HDPE dapat ditemukan pada botol detergen, botol obat, botol oli mesin, botol shampo, botol sabun cair, dan botol sabun bayi. HDPE yang memiliki nomor polimer 2 ini dapat di daur ulang.

3. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

PVC dapat diartikan sebagai plastik keras dan kaku yang tidak berwarna. Rumus molekulnya $(\text{CH}_2\text{-CHCl})_n$. PVC ini memiliki sifat yang kuat dan tidak mudah dipengaruhi oleh zat kimia yang lain, botol minyak goreng, kabel listrik, botol pembersih kaca, mainan, botol shampo, pipa air, kemasan kerut, dan kemasan makanan cepat saji. *Polyvinyl Chloride* ini tidak dapat di daur ulang karena sifatnya yang keras.

4. LDPE (*Low-Density Polyethylene*)

LDPE suatu bahan yang mudah dibentuk ketika panas dan terbuat dari minyak bumi. HDPE memiliki rumus molekul $(\text{-CH}_2\text{-CH}_2)_n$. LDPE dapat dijumpai pada kantong kresek, pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.

5. PP (*Polypropylene* atau *Polypropene*)

PP bahan polimer yang mudah dibentuk ketika panas. Rumus molekul $(\text{CHCH}_3\text{-CH}_2)_n$. PP memiliki sifat yang lentur, keras dan ringan. *Polypropylene* dapat dijumpai pada wadah makanan, pot tanaman, tutup botol obat, tutup margarin, sedotan, mainan, tali dan berbagai macam botol.

6. PS (*Polystyrene*)

PS polimer yang mudah dibentuk bila dipanaskan dan memiliki rumus molekul $(\text{CHC}_6\text{H}_5\text{-CH}_2)_n$. *Polystyrene* dapat dijumpai pada perkakas dari plastik seperti kotak CD, gelas plastik, wadah makanan, *styrofoam* dan nampan. Plastik jenis ini sulit untuk di degradasi oleh tanah.

7. *Other* (O)

Other (O) jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6. *Other* dapat dijumpai pada botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, dan sikat gigi [2].

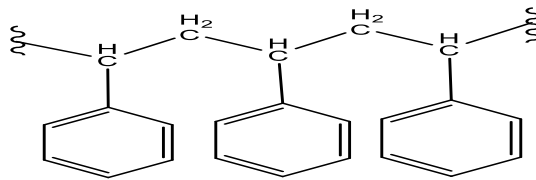
2.2 Polistirena

Polistirena suatu polimer hidrokarbon yang terbentuk dari reaksi polimerisasi. Hasil utama dari pirolisis polistirena adalah monomer stirena yang dapat digunakan sebagai bahan bakar [1]. Polistirena (PS) suatu polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya untuk kantong plastik, tempat makanan, dan ban. Polistirena bersifat lebih tahan panas, keras, *flexible* dan tidak tembus cahaya [13].

Rachmawati [4], telah melakukan penelitian dengan membandingkan jenis plastik yang digunakan pada proses pirolisis yaitu jenis plastik *High Density Polyethylene* (HDPE), *Poly Ethylene Terephthalate* (PET) dan *Polystyrene* (PS). Berdasarkan penelitian tersebut hasil pirolisis menggunakan PS, dengan suhu 500°C dan berat sampel 500 gram tanpa menggunakan katalis menghasilkan persentase dekomposisi sebesar 31,53%, dibandingkan dengan HDPE dan PET yang hanya menghasilkan persentase dekomposisi sebesar 15,49% dan 18,18%.

Minyak bumi mengandung senyawa hidrokarbon. Salah satu hasil pengolahan minyak bumi yaitu polistirena. Polistirena tidak dapat dengan mudah di *recycle* sehingga pengolahan polistirena harus dilakukan secara benar agar tidak merusak lingkungan [14].

Polistirena mempunyai struktur molekul :



Gambar 2.2 Struktur molekul Polistirena

Sifat fisis Polistirena pada suhu kamar yaitu berupa padatan, polistirena jika dipanaskan akan melunak pada suhu 100°C, pada suhu 120-180°C menjadi cairan kental dan pada suhu 250°C menjadi encer [15].

2.2.1 Styrofoam

Styrofoam merupakan salah satu jenis plastik golongan 6 yang terbuat dari polistirena dan gas. Nama lain dari *styrofoam* (polistirena). *Styrofoam* tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas sehingga hal ini membuatnya menjadi insulator panas yang baik [16].

Styrofoam dibuat dari *monomer stirena* melalui *polimerisasi suspensi* pada tekanan dan suhu tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa *blowing agent*. *Styrofoam* banyak kita jumpai sebagai bahan pelindung dan penahan getaran alat elektronik dan lainnya. Namun saat ini, banyak juga dijumpai sebagai pembungkus makanan yang praktis, mudah, efisien, dan tahan panas. Pada bidang industri, bahan ini digunakan sebagai bahan insulasi. Insulasi dapat diartikan proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas, karena bahan ini bisa menahan suhu, sehingga benda didalamnya tetap terasa dingin atau hangat [16].

Styrofoam terdiri dari 90-95% stirena dan 5% udara. Stirena merupakan zat kimia berbahaya bagi tubuh apabila kadar lemak tinggi, kadar alkohol dan asam yang tinggi, serta lamanya makanan yang tersimpan dapat memungkinkan zat kimia berpindah pada makanan. Sementara bagi lingkungan, bahan ini tidak dapat diurai dengan tanah dan sangat berdampak buruk bagi lingkungan karena sifatnya yang tidak dapat diuraikan oleh tanah [16].

2.3 Katalis

Katalis suatu zat yang terlibat dalam suatu reaksi, namun dihasilkan kembali pada akhir reaksi. Katalis dapat menurunkan energi aktivasi, sehingga mampu mempercepat reaksi. Energi aktivasi didefinisikan sebagai energi minimum yang dibutuhkan untuk bereaksi. Katalis dapat menyediakan situs aktif yang berfungsi untuk mempertemukan reaktan dan menyumbangkan energi dalam bentuk panas sehingga molekul pereaktan mampu melewati energi aktivasi secara lebih mudah. Kemampuan suatu katalis dalam suatu proses biasanya diukur dari aktivitas, selektivitas dan *yield*. Aktivitas katalis biasanya dinyatakan dalam persentase konversi atau jumlah produk yang terbentuk pada setiap jumlah reaktan yang dikatalisis. Aktivitas katalis tersebut tergantung pada luas permukaan, volume pori dan keasaman. Selektivitas adalah kemampuan katalis dalam mempercepat reaksi pada pembentukan suatu produk tertentu. Selektivitas katalis bergantung pada tekanan, temperatur dan komposisi dari reaktan. *Yield* yaitu jumlah produk tertentu untuk setiap satuan reaktan yang terkonsumsi. Keberadaan katalis mempunyai peranan penting di dalam proses pirolisis karena dapat menurunkan kebutuhannya dibandingkan dengan yang tanpa katalis [1].

Jenis katalis dibagi menjadi dua macam katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen memiliki fase yang sama dengan reaktan, sedangkan katalis heterogen memiliki fase yang berbeda dengan reaktan yang biasanya dalam fase padat untuk katalis dan fase gas atau cairan untuk reaktan. Katalis heterogen memiliki fase yang berbeda dengan reaktan sehingga mudah dipisahkan dari reaktan setelah digunakan. Hal ini berbeda dengan katalis homogen yang memiliki fase yang sama, sehingga sulit untuk dipisahkan dari reaktan setelah digunakan. Selain itu, katalis homogen biasanya digunakan pada reaksi esterifikasi dan saponifikasi ester, sedangkan katalis heterogen digunakan pada reaksi perengkahan. Reaksi perengkahan merupakan proses penguraian molekul senyawa hidrokarbon yang besar menjadi hidrokarbon yang memiliki struktur molekul yang kecil [17].

2.4 Zeolit

Zeolit merupakan senyawa alumina-silikat terhidrat dengan kation natrium, kalium dan calium. Zeolit memiliki tingkat keefektifan yang tinggi. Secara umum, zeolit memiliki molekular sruktur yang unik dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Zeolit dalam proses pirolisis akan memberikan perambatan suhu yang cepat dan stabil pada biomassa dikarenakan adanya kandungan alumina pada zeolit, sehingga dengan adanya proses tersebut suhu akan memutus rangkaian struktur kimia pada biomassa [5].

Menurut Ermawati [9], analisis kandungan zeolit menunjukkan bahwa unsur komponen utamanya adalah Silika Oksida dan Alumina Oksida. Alumina merupakan sumber *active matrix* pada zeolit sebagai katalis *cracking*. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Rahman [10],

yang menyatakan zeolit merupakan katalis yang efektif digunakan pada proses *cracking*. Rasio Si/Al zeolit yang tinggi, yang menyebabkan keasaman zeolit tinggi. Adanya pusat asam pada zeolit dapat memberikan medium yang kondusif (lebih reaktif) untuk proses katalitik.

2.4.1 Sifat Zeolit

Menurut Arita [14], zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain:

1. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses yang bertujuan untuk melepaskan molekul-molekul air dari kisi kristal sehingga terbentuk suatu rongga dengan permukaan yang lebih besar dan tidak lagi terlindungi oleh sesuatu yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Proses dehidrasi berfungsi untuk melepas molekul air dari kerangka zeolit sehingga dapat meningkatkan keaktifan zeolit. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume yang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan. Dehidrasi molekul air dapat terjadi karena proses pemanasan zeolit sampai 300°C [14].

2. Adsorpsi

Pada keadaan normal, ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu sekitar 300-400°C air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Dehidrasi menyebabkan zeolit mempunyai struktur pori yang sangat terbuka, dan mempunyai luas permukaan yang besar, sehingga mampu mengadsorpsi sejumlah besar substansi selain air dan mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul dan kepolarannya [14].

3. Penukar Ion

Penukar ion merupakan suatu proses dimana ion yang terdapat dalam intrakristalin zeolit diganti dengan kation lain dari larutan lainnya. Zeolit mempunyai struktur tiga dimensi yang terdiri dari tetrahedral SiO_2 dan AlO_4 , trivalent Al^{3+} dalam posisi tetrahedralnya membutuhkan adanya penambahan muatan listrik, biasanya menggunakan Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , atau Ca^{2+} . Dalam struktur rangka zeolit, kation-kation tersebut tidak terikat pada posisi yang tepat, tapi dapat bergerak bebas dalam rangka zeolit dan bertindak sebagai “*counter ion*” yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain [14].

4. Katalisator

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang luas dan juga memiliki sisi aktif. Dengan adanya rongga zeolit dapat digunakan sebagai katalis [14].

5. Penyaring/Pemisah

Berdasarkan penyaringan ataupun pemisahannya, zeolit dapat dipisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring. Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat dari suatu campuran tertentu karena memiliki rongga yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam. Volume dan ukuran garis tengah ruang kosong dalam kristal-kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit yang bertindak sebagai penyaring molekul. Molekul yang berukuran lebih kecil dapat masuk kedalam pori, sedangkan molekul yang berukuran lebih besar dari pori akan tertahan [14].

2.4.2 Aktivasi Zeolit

Aktivasi katalis, suatu proses untuk menjadikan katalis lebih aktif. Aktivasi katalis bertujuan untuk membersihkan katalis dari pengotor agar pori-pori lebih terbuka dan meningkatkan aktivitas katalis. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Selain itu untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang terdapat pada zeolit, proses aktivasi zeolit juga digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan dan keasaman sehingga dapat digunakan sebagai katalis, absorben atau aplikasi lainnya. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat [18].

Proses aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan aktivasi secara fisika dan aktivasi secara kimia.

1. Aktivasi secara Fisika

Aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan cara memperkecil ukuran untuk memperbesar luas permukaan dan pemanasan pada suhu tinggi [19]. Rahman [10], melakukan penelitian mengenai pirolisis sampah plastik jenis *polypropylene* (PP) menggunakan katalis zeolit yang diaktivasi secara fisika. Zeolit diaktivasi dengan *furnace* selama 1 jam pada suhu 400°C. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 400°C selama 60 menit. Berdasarkan penelitian tersebut hasil pirolisis menggunakan katalis zeolit yang diaktivasi secara fisika menghasilkan *yield* cairan sebesar 75,69%.

2. Aktivasi secara Kimia

Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan penambahan asam yang mengakibatkan terjadinya pertukaran kation dengan H^+ . Proses pertukaran ion sering digunakan karena metode ini sangat sederhana, menghasilkan limbah buangan padat yang sedikit dan dapat dilakukan proses regenerasi dengan cara aktivasi. Pada proses kalsinasi katalis zeolit suhu yang efektif yaitu $300^{\circ}C$ karena tidak merusak struktur awal dari zeolit [19].

Aktivasi dengan perlakuan asam menyebabkan terjadinya dealuminasi dan dekationasi. Aktivasi dengan HCl, menyebabkan terjadinya dealuminasi dan dekationasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation dalam kerangka zeolit, sehingga menyebabkan bertambahnya luas permukaan zeolit karena berkurangnya logam pengotor yang menutupi pori-pori zeolit. Bertambahnya luas permukaan tersebut maka akan mengakibatkan proses reaksi yang terjadi semakin besar [11].

Menurut penelitian Wulandari [12], aktivasi katalis zeolit menggunakan aktivator HCl dalam mengkonversi limbah plastik jenis polipropilen memiliki luas permukaan $44,850 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $33,632 \times 10^{-3} \text{ cc/g}$ dan *yield* cairan yang dihasilkan sebesar 81,7834%.

2.5 Pirolisis

Pirolisis adalah suatu proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Proses ini umumnya berlangsung pada temperatur antara $500-800^{\circ}C$. Produk dari pirolisis ini

terdiri dari fraksi gas, cair dan residu padatan. Pada suhu tersebut, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas [1].

Menurut Endang [20], menyatakan bahwa proses pirolisis limbah plastik merupakan proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat dalam plastik melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa melibatkan oksigen. Pada proses pirolisis senyawa hidrokarbon rantai panjang yang terdapat pada plastik diharapkan dapat diubah menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih pendek dan dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif.

Cracking merupakan suatu proses pemutusan ikatan senyawa hidrokarbon dengan berat molekul tinggi menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. *Cracking* dalam proses pengolahan minyak bumi merupakan proses yang penting dalam produksi bahan bakar. Reaksi *cracking* dibedakan menjadi 2 yaitu *thermal cracking* dan *catalytic cracking* [21].

2.5.1 Thermal Cracking

Thermal cracking didefinisikan sebagai suatu reaksi pemutusan ikatan senyawa hidrokarbon karena pengaruh termal (suhu tinggi). Pada mekanisme reaksi *thermal cracking* dapat dilakukan melalui pembentukan radikal bebas dalam membentuk produk akhirnya. Pada perengkahan termal metil ester melalui mekanisme radikal bebas terjadi pemutusan ikatan rantai hidrokarbon yang menghasilkan molekul-molekul hidrokarbon lebih rendah [21].

2.5.2 Catalytic Cracking

Reaksi perengkahan (*cracking*) menggunakan material katalis (katalis heterogen) sebagai material yang mampu mempercepat laju reaksi untuk mencapai kesetimbang dalam menghasilkan produk akhir. Pada proses perengkahan katalitik juga dalam perengkahan termal yang

dihadirkan suatu katalis dalam reaksinya. Karbokation akan sangat mudah terbentuk apabila reaksi berlangsung pada suhu tinggi [21].

2.5.3 Faktor yang mempengaruhi Proses Pirolisis

Menurut Arita [14], adapun faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis adalah :

1. Waktu

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena semakin lama waktu dalam proses pirolisis maka, produk yang dihasilkannya (cair dan gas) semakin naik. Kenaikan itu terjadi sampai waktu yang diperlukan mencapai konstan. Tetapi jika melebihi waktu optimalnya maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar) sehingga menjadi karbon dioksida dan abu. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangatlah penting [14].

2. Suhu

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilai konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju bertambah dan konversi naik [14].

Menurut penelitian Rizka [13], pada pembuatan stirena dari limbah plastik dengan membandingkan suhu dalam proses pirolisis yaitu 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C. Berdasarkan penelitian tersebut suhu optimum untuk mendapatkan stirena adalah 500°C dengan stirena 39,35 %. Selain itu menurut Siti Salamah [7], dengan membandingkan variasi suhu dan persen katalis, suhu yang digunakan yaitu 340°C, 380°C, 420°C, 460°C, 500°C dan 540°C dalam proses pirolisis limbah *styrofoam* menggunakan katalis

silika alumina. Suhu optimum pirolisis terjadi pada 500°C dengan hasil *yield* produk cairan sebesar 95,65% dan terjadi persen katalis optimum pada komposisi katalis 20%.

3. Ukuran Partikel

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil, semakin besar ukuran partikel. Luas permukaan semakin kecil, sehingga proses akan menjadi lambat [14].

2.6 Bahan Bakar

Bahan bakar dapat diartikan sebagai suatu bahan yang dapat menghasilkan energi panas apabila terbakar. Bahan bakar cair juga dapat diartikan sebagai hidrokarbon cair yang berasal dari plastik pada kondisi suhu dan tekanan normal. Bahan bakar cair yang dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia terdiri dari *gasoline* (bensin), avtur, mogas (*motor gasoline*), kerosin (minyak tanah), minyak solar, dan minyak bakar [22]. Adapun hasil pirolisis plastik jenis *polypropylene* menggunakan katalis zeolit *sintetis* dengan variasi persen katalis yang digunakan terhadap berat plastik yang dihasilkan, dapat disesuaikan dengan standar mutu bahan bakar solar (SNI 7390:2008) dapat dilihat pada Tabel 2.1[10].

Tabel 2.1. Karakteristik Minyak Pirolisis dengan SNI Solar

| Karakteristik | SNI 7390:2008 | | Minyak Pirolisis |
|---------------------|---------------|------|------------------|
| | Min | Max | |
| Densitas (g/ml) | 0,81 | 0,87 | 0,85 |
| Titik Nyala (°C) | 60 | - | 52 |
| Nilai Kalor (MJ/kg) | - | 44,8 | 44,673 |

