

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sejarah Penelitian

Tabel 2.1 Sejarah penelitian sebelumnya

No	Nama	Asal	Bahan	Proses	Kondisi operasi	%Rendemen
1	Wong dkk,2017	Departement Of Chemical Engineering. University Technology Malaysia	LDPE+ Zeolit ZSM-5	<i>Thermal catalytic cracking</i>	400-600°C	76%
2	Shah dkk,2018	Departement of Chemistry, University of Peshawar, Pakistan	LDPE	<i>Thermal cracking</i>	200-400°C	70%
3	Thahir dkk,2021	Politeknik Negeri Samarinda, indonesia	LDPE+ Zeolit ZSM-5	<i>Thermal catalytic cracking</i>	500-600°C	72%

2.2. Plastik

Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang terbentuk melalui tahapan proses polimerisasi. Sedangkan polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (Monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (Makromolekul atau polimer). Plastik umumnya terbuat dari polimer sintesis yang mengandung Hidrogen, Karbon, dan Oksigen yang berasal dari proses pengolahan minyak bumi. Jenis plastik pada era saat ini cenderung lebih sulit untuk diuraikan dan bahan tidak mudah menyatu dengan alam.

Sampah plastik yang tidak diambil oleh pemulung serta dibiarkan saja, sampah ini umumnya dikelola menggunakan metode landfill atau open dump. Dimana metode ini merupakan membuat tempat pembuangan akhir atau landfill

untuk membuang sampah dan limbah lainnya. Karena jika dilakukan proses pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (*Incineration*) dapat menyebabkan gas emisi atau gas buang yang dapat membahayakan seperti CO₂, Co,NO_x dan So_x dll.

Jika plastik dilihat dari proses pembuatannya yang menggunakan hasil distilasi minyak bumi jenis nafta dan gas alam, maka sampah plastik akan berpotensi untuk diolah menjadi bahan bakar alternatif (Ermawati dkk,2011). Pemanfaatan tersebut selain dapat mengurangi volume sampah yang ditimbulkan dapat juga untuk mengatasi masalah global lain yaitu semakin menipisnya ketersediaan minyak bumi sementara waktu ini (Liu dkk,2012).

Salah satu bahan baku pembuatan plastik adalah hasil distilasi minyak bumi jenis nafta dengan hasil distilasi minyak bumi jenis nafta dengan titik didih 36-270°C. Dalam pemanfaatannya nafta digunakan sebagai pelarut, bahan kimia, plastik, dan bahan bakar kendaraan jenis bensin, oleh karena itu sampah plastik berpotensi digunakan sebagai bahan bakar kembali (Surono dkk,2013). Sebagai contoh untuk membuat 1 Kg Plastik memerlukan 1,75 Kg minyak bumi untuk pemenuhan kebutuhan bahan baku maupun kebutuhan energi prosesnya (Kumar dkk,2011).

2.3. Sifat Thermal Plastik

Plastik memiliki kelebihan diantaranya yaitu memiliki nilai densitas yang lebih rendah, bersifat isolator terhadap listrik, memiliki kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan Temperatur yang terbatas dan ketahanan terhadap bahan kimia yang bervariasi.

Sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pirolisis sampah plastik. Umumnya plastik dibuat dengan melakukan reaksi polimerisasi, yang merupakan proses penggabungan molekul-molekul kecil (Monomer) yang membentuk molekul yang lebih besar. Reaksi polimerisasi terbagi menjadi dua yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi. Dimana polimerisasi adisi terjadi pada monomer yang mempunyai ikatan tak jenuh atau ikatan rangkap dengan cara membuka ikatan rangkap dan menghasilkan senyawa polimer dengan ikatan jenuh. Sedangkan polimerisasi kondensasi terjadi dengan cara melepaskan molekul pada gugus fungsional untuk membentuk yang lebih besar.

Proses pirolisis sampah plastik akan berpengaruh terhadap sifat thermal dari jenis plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Titik lebur didefinisikan sebagai titik dimana plastik mulai melunak dan berubah wujud menjadi cair. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Sedangkan untuk temperatur transisi merupakan titik dimana temperatur ketika mengalami proses perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih lunak atau fleksibel. Dan untuk temperatur dekomposisi adalah batasan dari proses pencairan dari plastik, dimana dipengaruhi oleh titik lebur karena plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi jika Temperatur dinaikkan diatas titik lebur. Dekomposisi akan terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul, secara umum polimer akan mengalami proses dekomposisi pada Temperatur diatas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budiyantoro,2012). Sifat Thermal pada proses daur ulang plastik dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik

Jenis Bahan	$T_m(^{\circ}C)$	$T_g(^{\circ}C)$	T_{max} Kerja($^{\circ}C$)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	7-	100
ABS	-	110	85
PS	-	90	70
PMMA	-	100	85
PC	-	150	246
PVC	-	90	71

(Sumber: Surrono, U.B.,2013)

2.4. Jenis Plastik dan Karakteristiknya

Pemanfaatan sampah plastik dengan mengubah bentuknya yang padat menjadi cair dan gas dengan prinsip pemanasan. Sampah plastik tidak diolah dengan cara dibakar karena prosesnya yang tidak sempurna akan menghasilkan senyawa bersifat karsinogen seperti *Polychloro dibenzodioxins* dan *Polychloro dibenzo-furans*. Untuk menghilangkan sifat karsinogennya, maka sampah plastik harus dibakar dengan Temperatur tinggi (Ernawati dkk,2011).

Pada kemasan plastik yang terbuat dari plastik, biasanya ditemukan simbol atau logo daur ulang berbentuk segitiga dengan kode-kode tertentu. Kode ini di keluarkan oleh *The Society of Plastic Industry* pada tahun 1998 di Amerika Serikat dan diadopsi oleh lembaga-lembaga Pengembangan sistem kode, seperti ISO (*International Organization for Standardization*).

Secara umum kode plastik tersebut berada atau terletak pada bagian bawah, berbentuk segitiga yang melambangkan simbol daur ulang (*Recycle*), didalam segitiga terdapat angka yang merupakan kode jenis sampah tersebut dan kadang ada nama jenis plastik dibawah segitiga tersebut. Simbol daur ulang (*Recycle*) menunjukkan jenis bahan resin yang digunakan untuk membuat materi. Dimana tujuan dibentuk simbol ini adalah berdasarkan *System internasional Coding* yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis dan karakteristik berbagai plastik

No kode plastik	Jenis	Simbol	Titik leleh (°C)	Monomer penyusun	Pengunaan
1	PET (<i>polyethylene terephthalate</i>)		250	Glikol (EG) dan <i>Terephthalic acid</i> (TPA) atau dimethyl ester atau Asam Terephthalat (DMT)	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (<i>High-density Polyethylene</i>)		200-280	-	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)		160-180	Monomer Vinil Klordia	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4	LDPE (<i>Low-density Polyethylene</i>)		160-240	-	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP (<i>Polypropylene atau Polypropene</i>)		200-300	Polimersisasi gas propilena	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine.

6	PS (<i>Polystyrene</i>)		180-260	Monomer-monomer stirena hasil dehidrogenase etil benzena	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
7	PC (<i>Polycarbonat</i>)		280-310	Kondensasi bisphenol A dengan Fosgen dalam media alkali	Botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego.
	ABS (<i>Acrylonitrile</i>)		180-240	<i>Acrylonitrile, Butadiene, Stryene</i>	
	PA (<i>Polymaide</i>) atau Nolin		260-290	-	
	PA (<i>Polyacetal</i>)		185-225	Homopolimer (Asetal Homopolimer) dan Kopolimer	

(sumber: Untoro, 2014; Gina, 2017)

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua bagian berdasarkan sifat fisiknya yaitu *Thermoplastic* dan *Thermosetting*. Dimana *thermoplastic* merupakan bahan plastik yang jika dilakukan pemanasan hingga mencapai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan dan dapat terjadi berulang-ulang tanpa terjadinya perubahan khusus. *Thermoplastic* termasuk kedalam turunan ethylene dan dinamakan plastik vinyl karena mengandung gugus vinyl atau polyolefin. Bahan ini sebagai besar polimer yang dipakai untuk mengemas atau kontak dengan bahan makanan

Sedangkan *thermosetting* merupakan jenis plastik yang melunak jika dilakukan pemanasan dan pembentukan, serta mengeras secara permanen sehingga dapat hangus atau hancur jika dilakukan proses pemanasan. Jenis plastik ini dapat berubah menjadi arang pada temperatur tinggi, karena struktur kimianya bersifat 3 dimensi dan cukup kompleks. Salah satu kelebihan dari plastik jenis ini adalah pada ketahanannya yang kuat.

Berdasarkan sifat yang dimiliki kedua kelompok plastik diatas, *thermoplastic* merupakan jenis plastik yang memungkinkan untuk didaur ulang. Dengan pendekatan *thermoplastic*, monomer cair akan dipanaskan dan perlahan-lahan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Setelah itu, produk kemudian kemudian didinginkan hingga menjadi bentuk yang diinginkan. Sementara plastik umumnya dianggap sebagai produk yang murah, plastik dapat pula diproses menjadi sesuatu yang bernilai tinggi. Plastik dapat diolah lebih lanjut sehingga memiliki karakteristik tahan panas maupun dingin. Komponen mobil atau pesawat terbang merupakan contoh plastik yang memiliki kualitas tinggi

Berdasarkan sumbernya plastik dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu polimer alami dan polimer sintesis. Polimer alami didefinisikan sebagai polimer yang menggunakan bahan bakunya secara alami dari alam, contohnya yaitu dengan cara penggunaan kulit kayu, kulit binatang, karet alam dan rambut. Sedangkan untuk polimer sintesis adalah polimer dengan buatan hasil sintesis dari industri. Dimana polimer sintesis terbagi menjadi tiga bagian yaitu Tidak terdapat secara alami didalam, Contohnya adalah nylon, poliester, polipropilen, dan polistiren. Terdapat didalam tetapi dibuat secara sintesis Contohnya adalah karet alam dan polimer alami yang dimodifikasi, contohnya adalah seluloid.

2.4.1. *Low Denisty Polyethylene (LDPE)*

Rumus molekul dari LDPE adalah $(C_2H_4)_n$, diproduksi melalui proses polimerisasi radikal bebas, LDPE ini memiliki percabangan rantai panjang dan pendek dari berbagai bentuk PE, sehingga menghasilkan kerapatan yang lebih rendah. Percabangan ini membuat rantai molekul tidak berkemas erat dalam bentuk kristalnya, sehingga LDPE memiliki kekuatan tarik yang lebih sedikit namun memiliki kekerasan yang lebih besar.

LDPE mempunyai massa jenis antara 0,91-0,94 gr/ml, separuhnya berupa kristalan (50-60)% dan memiliki titik leleh 155°C. (Sari dkk,2014). Kebanyakan LDPE dipakai sebagai pelapis komersial, plastik, lapisan pelindung sabun dan beberapa botol yang tidak terlalu keras. Kelebihan dari LDPE ini dapat digunakan sebagai material pembungkus yang harganya murah, proses pembuatan yang mudah, sifatnya yang fleksibel dan mudah didaur ulang. Ketahanan plastik LDPE terhadap bahan kimia diantaranya adalah tidak ada kerusakan dari asam, basa, alkohol dan ester, kerusakan kecil dari keton, aldehida, dan minyak tumbuh-tumbuhan, Kerusakan menengah dari hidrokarbon alifatik dan aromatik dan oksidator dan Kerusakan tinggi pada hidrokarbon terhalogenisasi. Selain itu, LDPE mempunyai daya produksi yang baik terhadap uap air, namun kurang baik terhadap gas lainnya seperti oksigen. LDPE juga memiliki ketahanan kimia yang sangat tinggi, namun melarut dalam benzena atau *Tetrachlorocarbon* (CCl_4).

LDPE memiliki resin yang keras, kuat dan tidak bereaksi terhadap zat kimia lainnya, dimana LDPE memiliki resin yang paling tinggi mutunya. Karena LDPE menggunakan dasar polietilen, maka plastik ini mempunyai nilai konstanta dielektrik yang kecil, sehingga sifat kelistrikannya lebih baik. Dimana semakin tingginya jumlah hidrogen atau klorida dan fluorida yang terikat pada tulang punggung polietilen maka semakin baik konstanta elektriknya.

2.5. **Pirolisis**

Proses pirolisis didefinisikan sebagai proses perengkahan thermal (*Thermal Cracking*) atau pemecahan rantai hidrokarbon panjang menjadi hidrokarbon dengan rantai lebih kecil melalui bantuan panas. Pada reaksi pirolisis akan terjadi proses pemutusan ikatan rantai C-C pada hidrokarbon sehingga

menjadi rantai yang lebih pendek. Proses ini biasanya berlangsung pada temperatur 130-190°C. Dimana proses pirolisis atau perekahan plastik pada temperatur sekitar 230°C, perekahan plastik pada temperatur tinggi ini merupakan proses sederhana untuk mendaur ulang plastik. Pada senyawa yang mempunyai temperature polimerisasi tinggi, proses pirolisis merupakan reaksi depolimerisasi dimana akan mengikuti mekanisme radikal bebas. Sehingga pada proses panas ini membuat struktur makro molekul yang terdapat pada plastik terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan hidrokarbon rantai pendek terbentuk. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene dan aromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi (Surono, 2013).

Pirolisis juga merupakan proses dekomposisi suatu bahan pada Temperatur tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara yang terbatas. Dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fasa gas. Proses dekomposisi pada pirolisis juga disebut dengan devolatilisasi. Dimana melalui proses ini produk yang dihasilkan berupa arang (char) yang berasal dari bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif, sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar, dan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung (Chaurasia,2015).

Kelamahan dari teknologi pirolisis termasuk kedalam produksi atau proses lambat, dikarenakan menghasilkan energi yang rendah dan polusi udara yang berlebihan. (Frassoldati,2016).

Pirolisis adalah kasus khusus termolisis, dimana akan terjadi pirolisis ekstrem yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu yang disebut karbonisasi. Pirolisis dbanyak digunakan dalam industri kimia salah satunya adalah dapat memecah struktur hidrokarbon dari minyak dalam memproduksi struktur hidrokarbon yang lebih ringan yang seperti ringan (Sumartono,2015).

2.5.1. Cracking

Upaya untuk memanfaatkan sampah plastik menjadi bahan bakar dapat dilakukan dengan metode perekahan (Cracking). Dilakukan proses mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak termasuk dalam daur ulang tersier. Cracking merupakan proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan

breat molekul yang lebih rendah. Cracking juga merupakan proses penyulingan dimana berat-berat molekul dari hidrokarbon akan dipecah menjadi molekul hidrokarbon cahaya oleh aplikasi panas dan tekanan dengan atau tanpa menggunakan katalis untuk mendapatkan berbagai produk bahan bakar. Terdapat beberapa jenis teknologi cracking yaitu *hydrocracking*, *thermalcracking*, dan *catalytic cracking*.

a. Hydrocracking

Hydrocracking merupakan proses cracking yang mereaksikan plastik dengan hidrogen didalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperatur 150-400 °C dengan tekanan hidrogen 3-10 Mpa. Dalam proses hydrocracking ini dibantu dengan katalis. Untuk membantu pencampuran dan reaksi biasanya digunakan bahan pelarut 1 methyl naphtalene, tetralin dan decalin. Beberapa katalis yang sudah diteliti antara lain alumina, amorphous silica alumina, zeolit dan sulphate zirconia.

Hydrocracking adalah proses dua tahap yang menggabungkan proses catalytic cracking dan hidrogenasi. Dimana proses yang terjadi adalah jika bahan baku yang rantainya lebih panjang dapat direngkah dengan adanya hidrogen untuk menghasilkan produk yang lebih diinginkan. Kondisi operasi proses ini menggunakan tekanan tinggi, temperatur tinggi, katalis dan hidrogen. Proses ini ditunjukkan untuk bahan baku yang lebih sulit untuk diproses oleh perengkahan katalik atau reformasi biasa. Bahan baku yang digunakan pada proses hydrocracking biasanya ditandai dengan kandungan aromatik polisklik yang tinggi.

b. Thermal cracking

Thermal cracking adalah proses memecah senyawa besar menjadi senyawa kecil pada suhu tinggi dan tekanan tinggi. perengkahan termal adalah proses dimana sambungan besar dipecah menjadi sambungan kecil pada suhu tinggi dan tekanan tinggi. produk akhir dari perengkahan termal adalah molekul hidrokarbon kecil.

Perengkahan termal tidak melalui za tantara ionic seperti perengkahan katalitik. Sebaliknya, ikatan karbon-karbon terputus sehingga setiap atom karbon berakhir dengan satu elektron dan radikal bebas terbentuk.

Thermal cracking adalah termasuk proses pirolisis karena proses pemanasan polimer tanpa menggunakan O₂. Dimana teknologi pemanasan lain yang hampir sama dengan pirolisis adalah gasifikasi dimana masih membutuhkan O₂ sedikit (Gina,2017). Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur antara 130-600°C tergantung dari jenis bahan baku yang digunakan. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene dan aromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi (Surono,2013).

Thermal cracking merupakan proses pemurnian dimana bertujuan untuk memecah, menata ulang atau menggabungkan molekul hidrokarbon. Melalui penelitian Bajus dkk (2010), Dari penelitian ini diketahui bahwa thermal cracking pada campuran 7 jenis plastik akan menghasilkan produk yang berupa gas, minyak dan sisa yang berupa padatan.

c. *Catalytic Cracking*

Catalytic Cracking adalah proses pemanasan polimer dengan bantuan katalis sehingga prosesnya lebih cepat dengan Temperatur yang lebih rendah. Dalam prosesnya, pirolisis dan gasifikasi dapat juga dikatakan catalytic cracking karena dalam aplikasinya ditambahkan katalis sehingga dapat menghasilkan minyak dan gas dengan jumlah dan kualitas yang lebih baik (Gina,2017).

Pada penelitian yang dilakukan Osueke (2011), melakukan konversi plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) menjadi minyak. Pirolisis dilakukan di dalam tabung stainless steel yang dipanaskan dengan menggunakan elemen pemanas listrik dengan temperatur 145-200°C. Kondenser dengan temperatur 30-35°C. Sehingga didapatkan bahwa temperatur pirolisis 150°C dan perbandingan katalis sampah plastik yang digunakan yaitu 1 : 10 akan menghasilkan minyak dengan cukup banyak.

2.5.2 Faktor yang mempengaruhi pirolisis

Plastik merupakan polimer yang berat molekulnya tidak bisa ditentukan ataupun dihitung. Karena itu, kecepatan reaksi dekomposisi didasarkan pada perubahan massa atau fraksi massa per satuan waktu. Produk pirolisis selain

dipengaruhi oleh Temperatur dan waktu, juga oleh pemanasan (Ramadhan dkk,2012).

Kualitas dan kuantitas untuk produk yang dihasilkan melalui proses pirolisis sampah plastik akan dipengaruhi oleh beberapa faktor lain yaitu tipe reaktor, temperatur, waktu tinggal, dan tekanan di dalam reaktor. Parameter yang berpengaruh terhadap kecepatan reaksi pirolisis plastik mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis adalah :

a. Waktu

Laju reaksi adalah laju berkurangnya konsentrasi pereaksi atau laju bertambahnya konsentrasi hasil reaksi tiap satuan waktu. Secara sederhana, laju reaksi diartikan sebagai perubahan konsentrasi pereaksi (reaktan) atau reaksi (produk) persatuan waktu. Laju sendiri memiliki kaitan dengan waktu. Apabila waktu yang dibutuhkan itu singkat, maka lajunya besar. Sebaliknya kalau waktu yang dibutuhkan itu panjang, maka laju tersebut kecil. Artinya, laju berbanding terbalik dengan waktu. Oleh karena itu, tingkat atau order suatu reaksi kimia ditentukan dengan mengukur durasi waktu reaksinya dari beberapa sifat yang dapat dikaitkan dengan jumlah reaktan atau produk.

$$r = - \frac{dca}{dt}$$

Laju reaksi dihitung untuk setiap satuan interval waktu, laju reaksi menjadi bervariasi seiring dengan berjalannya waktu, dimana menurun dikarenakan menurunnya konsentrasi ketika waktu reaksi berlangsung karena menunjukkan proses reaksi sudah selesai.

Sehingga waktu juga mempengaruhi produk yang dihasilkan, karena semakin lama waktu proses pirolisis yang berlangsung maka semakin banyak produk yang dihasilkan.

b. Temperatur

Temperatur yang digunakan akan mempengaruhi produk yang dihasilkan, karena semakin tinggi temperatur yang digunakan maka nilai

konstanta dekomposisi thermal akan semakin besar maka akan membuat laju pirolisis bertambah dan konversi naik.

Berdasarkan persamaan Arrhenius, dimana menyatakan bahwa suhu dapat menambah kecepatan laju dalam reaksi kimia, karena Temperatur akan mempengaruhi produk yang dihasilkan, karena temperatur dekomposisi thermal yang tinggi dari nilai konstanta yang lebih besar dapat meningkatkan laju pirolisis dan kenaikan konversi. Dimana Persamaan Arrhenius adalah sebagai berikut:

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

Dimana:

K= konstanta laju reaksi

A= Faktor frekuensi atau pra-eskponensial (l/mol.s)

E_a= Energi aktivasi (J/mol)

R= Konstanta Gas (8,314 J/mol.K)

T= Temperatur (K)

Persamaan Arrhenius menyatakan bahwa temperatur dapat menambah kecepatan laju dalam reaksi kimia, karena semakin tinggi nilai temperatur maka nilai konstanta laju reaksi akan meningkat sehingga reaksi akan berlangsung semakin cepat. Perubahan terhadap temperatur akan mempengaruhi nilai laju reaksi, karena temperatur yang tinggi ini akan menyebabkan energi kinetik suatu partikel akan meningkat lalu pergerakan partikel dapat menimbulkan tumbukan lebih sering sehingga reaksi akan berlangsung lebih cepat (Naimah,2018).

Melalui persamaan Arrhenius didapatkan teori bahwa energi aktivasi berbanding terbalik dengan laju reaksi dan temperatur. Semakin tinggi nilai energi aktivasinya akan membuat reaksi semakin melambat, dikarenakan energi aktivasi merupakan energi minimum yang diperlukan untuk bereaksi sehingga membuat reaksi melambat (Widiyanti,2018).

Adanya variasi temperatur akan mempengaruhi nilai tetapan laju reaksi, karena nilai temperatur akan berbanding lurus dengan laju reaksi kimia. Dimana semakin tinggi nilai tetapan laju konstanta maka laju reaksi kimia akan semakin besar. Energi aktivasi akan berbanding terbalik dengan

laju reaksi dan temperatur, karena energi aktivasi yang tinggi akan menyebabkan laju reaksi melambat, hal ini disebabkan oleh energi aktivasi dimana merupakan energi minimum yang diperlukan untuk bereaksi, sehingga membuat reaksi melambat. Berdasarkan inila temperatur yang tinggi akan meningkatkan energi aktivasi menurun.

c. Tekanan

Tekanan operasi di dalam Reaktor pirolisis mempunyai peran yang sangat penting pada mengontrol suhu yang akan dicapai atau dioperasikan di dalam reaktor, sehingga tekanan akan sangat mempengaruhi laju pemanasan di dalam reaktor (Mulyadi, 2018).

Pada skala proses yang lebih besar, peran tekanan merupakan variable yang sangat penting untuk dilakukan pengontrolan guna mencapai rendemen bahan bakar yang dihasilkan. Karena tekanan reaktor dipertahankan konstan pada tekanan tertentu agar mengalami dekomposisi thermal dibawah tekanan konstan, semakin bertambahnya tekanan pada reaktor maka atomisasi pembakaran dalam reaktor akan semakin baik dan membuat temperatur pembakaran juga meningkat.

Tekanan reaktor dapat meningkatkan proses pemecahan struktur kimia dan pengurangan kadar pengotor. Kenaikan tekanan reaktor akan meningkatkan proses pemecahan struktur kimia pada umpan dan meningkatkan konversi umpan sehingga membantu untuk menghasilkan produk dengan struktur yang lebih ringan (Gary,2019).

Di sisi lain, semakin tinggi tekanan udara, rendemen minyak plastik yang dihasilkan juga semakin besar, meskipun tidak sebanding dengan konsumsi bahan bakar yang digunakan.

d. Ukuran partikel

Ukuran partikel akan mempengaruhi produk yang dihasilkan, dimana semakin besar ukutan partikel, luas permukaan per satuan berat semakin kecil, sehingga proses menjadi lambat.

Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar produk yang akan dihasilkan, hal ini dikarenakan ukuran patikel pada bahan yang lebih besar

mengakibatkan resistensi perpindahan panas yang lebih besar, sehingga mempengaruhi laju reaksi dan mengakibatkan peningkatan suhu lalu mengakibatkan hasil cairan yang diperoleh semakin meningkat.

Ukuran partikel yang kecil akan memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan partikel yang lebih besar, hal ini disebabkan karena ukuran partikel yang kecil akan lebih mudah teradsorpsi.

e. Berat partikel

Dimana semakin banyak yang digunakan maka akan membuat hasil bahan bakar cair (tar) dan arang meningkat dikarenakan adanya persatuan volum reaktor.

f. Jenis plastik

Pemilihan jenis plastik yang digunakan dalam konversi sampah plastik menjadi bahan bakar ataupun minyak akan menentukan kualitasnya. Karena monomer penyusun yang terdapat pada plastik yang dapat dilihat pada tabel 2.3.

g. Penggunaan jenis katalis

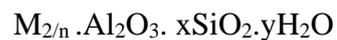
Pemilihan katalis yang digunakan akan mempengaruhi proses pirolisis dimana akan mampu mempercepat konversi menghasilkan minyak dengan kualitas lebih baik. Katalis akan mampu meningkatkan perengkahan yang terjadi pada proses pirolisis. Rantai hidrokarbon yang panjang akan mampu dikonversi menjadi gas hidrokarbon lebih cepat sehingga minyak yang dihasilkan akan semakin banyak (Gina,2017).

2.6 Zeolit

Zeolit merupakan mineral alumina silikat hidrat yang tersusun atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) dan silika (SiO_2) yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berongga terbuka atau berpori. Zeolit telah digunakan sebagai proses penukar ion, adsorpsi logam berat.

Struktur kerangka zeolit tersusun atas unit-unit tetrahedral (AlO_4)⁻⁵ dan (SiO_4)⁻⁴ yang saling berikatan melalui atom oksigen membentuk pori-pori zeolit. Ion silikon bervalensi 4, sedangkan aluminium bervalensi 3. Hal ini yang

menyebabkan struktur zeolit kelebihan muatan negatif yang diseimbangkan oleh kation-kation logam alkali atau alkali tanah seperti Na^+ , K^+ , Ca^+ atau Sr^+ maupun kation-kation lainnya. Kation-kation tersebut terletak di luar tetrahedral, dapat bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit dan bertindak sebagai counter ion yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation lainnya, sifat-sifat inilah yang menjadi dasar bahwa zeolit dapat digunakan sebagai penukar kation. Zeolit mempunyai rumus kimia :



Dengan:

M= Kation alkali penetral

N= valensi logam alkali

x= bilangan tertentu dari 2-10

y= bilangan tertentu 2-7

Struktur bermuatan negatif pada zeolit ini dapat membuat proses reaksi akan berlangsung stabil. Sedangkan rongga terbuka atau berpori ini dapat mempercepat dan membantu reaksi. Zeolit memiliki struktur yang khas, yaitu hampir sebagian besar berfungsi untuk mengarahkan sehingga membuat zeolit memiliki luas permukaan besar. Dimana saat terjadi pemanasan produk gas akan langsung mengalir sedangkan untuk padatan sisa yang tidak ikut serta dalam akan masuk melalui pori-pori katalis kemudian membentuk fasa cair dan gas, sehingga membuat terjadinya perpindahan panas semakin besar.

2.6.1 Macam-macam Zeolit

A. Zeolit alam

Zeolit alam dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Zeolit alam terbentuk karena adanya perubahan alam (Zeolitisasi) dari bahan vulkanik dan dapat digunakan secara langsung untuk berbagai keperluan. Selain itu juga zeolit ini merupakan endapan dari aktivitas vulkanik yang banyak mengandung silika, komposisi kimia zeolit bergantung pada komposisi hidrotermal lingkungan seperti suhu, tekanan, uap air didaerah itu dan dekomposisi air tanah. Contoh dari zeolit alam adalah *clinoptilolite*, *chabazite*, *philipsite*, *erlonite*, *analcime* dan *ferrierite*.

Karena potensi zeolit alam di Indonesia cukup banyak, dinilai berpotensi untuk memberikan peluang dalam mengembangkannya sebagai katalis dalam proses pirolisis limbah plastik. Tentunya dengan dilakukan perlakuan awal sehingga dihasilkan zeolit dengan karakteristik yang diinginkan dengan melakukan aktivasi. Aktivasi bisa dilakukan secara fisika yaitu dengan dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan dan pemanasan pada suhu tinggi untuk mengurangi kandungan air dalam zeolit alam, memperbesar pori, serta menghilangkan pengotor-pengotor organik. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan dengan pengasaman, bertujuan untuk menghilangkan pengotor organik, serta meningkatkan suasana asam pada zeolit alam yang diyakini dapat mempengaruhi aktivitas zeolit sebagai katalis. Salah satu kelebihan dari zeolit adalah memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi. Komposisi zeolit Alam dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Komposisi Zeolit Alam

Komposisi	%Berat
SiO ₂	78,33
Al ₂ O ₃	12,50
Fe ₂ O ₃	1,50
K ₂ O	2,27
Na ₂ O	1,07
MgO	1,95
CuO	2.14

(Sumber: Amelia, 2003)

B. Zeolit sintensis

Zeolit mempunyai sifat yang unik sehingga banyak yang melakukan pembuatan sintesis zeolit sesuai kebutuhan dengan cara memodifikasi komposisi aluminium dan silika dalam zeolit menggunakan proses kimia tertentu. Zeolit sintesis juga memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan zeolit alam dan memiliki rasio Si/Al yang dapat disusun sesuai dengan kebutuhan. Zeolit sintetis ZSM5 sering digunakan dan memberikan hasil gas yang lebih banyak, karena ukuran pori yang lebih kecil dan perbandingan Silika-Alumina yang tinggi. Harga zeolit H-ZSM5

yang sangat tinggi serta belum diproduksi di dalam negeri memberikan kendala tersendiri

Zeolit sintesis bergantung pada jumlah Al dan Si, sehingga dapat dikelompokkan menjadi:

– **Zeolit sintesis dengan kadar Si rendah**

Zeolit jenis ini banyak mengandung Al, berpori, mempunyai nilai ekonomi tinggi karena dinilai efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3$ tiap cm^3 volume zeolit

– **Zeolit sintesis dengan kadar Si sedang**

Zeolit jenis ini merupakan jenis moderit yang mempunyai perbandingan nilai Si atau Al stabil.

– **Zeolit sintesis dengan kadar Si tinggi**

Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyerap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon, zeolit jenis ini umumnya sering digunakan. Contohnya adalah ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21 dan ZSM-24

2.7 Bahan bakar Cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat yang molekulnya dapat bergerak dengan bebas. Contoh bahan bakar cair adalah bensin, gasoline, premium, minyak solar dan minyak tanah. Bahan bakar cair umumnya digunakan dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi dari minyak bumi.

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam ataupun buatan. engan kemudahan penggunaan, ditambah dengan efisiensi thermis yang lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat.

Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Minyak mentah, jika

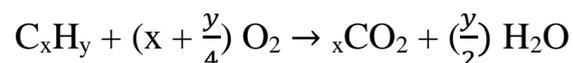
disuling akan menghasilkan beberapa macam fraksi, seperti: bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda (Lakone, 2015).

Bahan bakar minyak (BBM) adalah jenis bahan bakar (fuel) yang dihasilkan dari pengilangan (Refining) minyak mentah (Crude oil). Minyak mentah dari perut bumi diolah untuk menghasilkan produk-produk minyak (oil products) yang termasuk di dalamnya adalah BBM. Selain menghasilkan BBM, pengilangan minyak mentah menghasilkan berbagai produk lain terdiri dari gas, hingga ke produk-produk seperti naphta, Light Sulfur Wax Residue (LSWR) dan aspal. Oleh karena itu BBM (bensin) harus memiliki flash point rendah dan auto ignition yang tinggi. (Sumarto dkk,2015)

Keuntungan dari bahan bakar cair secara teknis adalah mudah dikelola, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan, memiliki kebersihan dari hasil pembakaran, dapat menggunakan alat bakar yang lebih baik dan Penanganannya lebih mudah.

2.7.1 Karakteristik bahan bakar cair

Tujuan mengetahui karakteristik bahan bakar cair yang dipakai pada penggunaan mesin atau peralatan adalah agar hasil pembakaran yang terjadi dapat terjadi secara optimal. Dimana proses pembakaran adalah reaksi antara unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar dengan oksigen. Hasil dari proses pembakaran ini akan menghasilkan kalor dan cahaya, untuk reaksi bahan bakar minyak dapat dituliskan dengan



Untuk karakteristik bahan bakar cair adalah sebagai berikut

a. Densitas

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar dengan acuan 25-27°C. Dimana semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar massa setiap volumenya. Bahan baku yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan

memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa yang memiliki massa jenis rendah.

Analisa densitas dilakukan sesuai menggunakan standar ASTM D-1298 menggunakan alat piknometer, kemudian dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$P = \frac{m}{v}$$

Dimana:

m = massa Piknometer+sampel – massa piknometer kosong (gr)

v = volume piknometer yang digunakan (ml)

b. Specific Gravity

Specific Gravity atau berat jenis adalah suatu perbandingan berat bahan bakar minyak dengan berat air diukur dengan volume dan Temperatur yang sama. Kadar berat jenis ini diukur melalui standar °API Gravity. Dimana dirumuskan sebagai:

$$^{\circ}\text{API Gravity} = \frac{141,5}{\text{SpGr}(60^{\circ}\text{F})} - 131,5$$

SpGr merupakan specific gravity bahan bakar cair, dimana dengan mengetahui nilai dari °API dapat menentukan klasifikasi minyak. Apabila nilai °API berkisar antara 10-20 dan spgr berkisar antara 1,0- 0,93 termasuk *Heavy Oil*, jika °API berkisar antara 20-30 dan spgr diantara 0,93-0,87 termasuk *Medium Oil* sedangkan apabila °API bernilai >30 dan spgr <0,87 termasuk *Light oil*.

c. Titik nyala

Titik nyala (Flash point) pada suatu cairan bahan bakar adalah temperatur minimum fluida pada waktu uap yang keluar dari permukaan fluida langsung akan terbakar dengan sendirinya oleh udara di sekelilingnya disertai adanya kilatan cahaya. Titik nyala juga sering disebut juga titik nyala api, yang merupakan temperatur diatas permukaan fluida pada waktu uap yang keluar akan terbakar secara kontinyu bila nyala api didekatkan.

Flash point merupakan suhu terendah dimana aplikasi suatu pembakar (ignition) menyebabkan uap suatu spesimen terbakar pada kondisi uji yang

spesifik. Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalan api sesaat. Titik nyala yang tinggi akan memudahkan penyimpanan bahan bakar, karena minyak tidak akan mudah terbakar pada temperatur ruang (Aziz dkk,2017). Berikut ini tabel spesifikasi titik nyala pada bahan bakar minyak:

Tabel 2.5 Titik Nyala Bahan Bakar Cair

Bahan bakar	Titik Nyala (°C)
Etanol (70%)	166
Bensin	-43
Diesel (2-D)	>52
Bahan bakar jet (A/A-1)	>38
Kerosin	>38-72
Biodiesel	>130

(sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Titik_nyala)

d. 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 semakin tinggi nilai kalornya. Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 adalah sebesar $\pm 10,500$ kkal/kg.

2.8. Bahan Bakar Kerosin

Komponen utama kerosin adalah paraffin, cycloalkanes (naphtha) serta senyawa aromatik, dimana parafin adalah komposisi terbesar, kerosin tersusun sekurang-kurangnya atas 12 karbon tiap molekul. Unsur pokok kerosin terutama sebagai hidrokarbon jenuh yang terdiri atas tetrahidronaftalin dan disikloparafin. Hidrokarbon lain seperti aromatik dan cincin-cintin sikloparafin atau sejenisnya.

Ada juga diaromatik (cincin aromatik yang terkondensasi), seperti pada naftalin. Dan senyawaan dua cincin yang terisolasi dan sangat sedikit seperti pada bifenil.

Tabel 2.6 Spesifikasi Kerosin (Minyak Tanah)

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min	Maks	
1	Densitas pada 15 °C	kg/m ³	-	835	ASTM D 1298
2	Titik Asap	mm	15	-	ASTM D 1322
3	Nilai Jelaga	%m/m	-	0,004	IP 10
4	Distilasi : Perolehan volume 200 C	% vol	18	-	ASTM D 86
5	Distilasi : Titik akhir	°C	-	310	
6	Titik Nyala	°C	38	-	IP 170
7	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,20	ASTM D 1266 ASTM D 2622 ASTM D 4294 ASTM D 5453
8	Korosi Bilah Tembaga	menit		Kelas 1	ASTM D 130
9	Bau dan Warna	-		Dapat Dipasarkan	-

(Sumber : SK Dirjen Migas No.119.K/18/DJM/2020)

2.8.1 Bahan Bakar Solar

Minyak solar adalah suatu produk destilasi minyak bumi yang khusus digunakan untuk bahan bakar mesin Compression Ignation (udara yang dikompresi menimbulkan tekanan dan panas yang tinggi sehingga membakar solar yang disemprotkan Injector) dan di Indonesia minyak solar ditetapkan dalam peraturan Djend Migas No.002/P/DM/MIGAS/2007.

Minyak solar merupakan fraksi minyak bumi berwarna kuning coklat yang jernih yang mendidih sekitar 175-370 °C dan yang digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Umumnya, solar mengandung belerang dengan kadar yang cukup tinggi. Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi, yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih

Tabel 2.7 Spesifikasi Solar

No.	KARAKTERISTIK SATUAN	BATASAN		METODE UJI	
		MIN	MAX		
1	Angka Setana, atau	-	48	-	ASTM D613
	Indeks Setana	-	45	-	ASTM D4737
2	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	815	870	ASTM D4052 / D1298
3	Viskositas (pada suhu 40 °C)	mm ² /s	2.0	4.5	ASTM D445
4	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.35 ¹⁾	ASTM D4294 /D5453
				0.30 ²⁾	
				0.25 ³⁾	
				0.05 ⁴⁾	
				0.005 ⁵⁾	
5	Distilasi 90% vol penguapan	°C	-	370	ASTM D86
6	Titik Nyala	°C	52	-	ASTM D93
7	Titik Kabut	°C	-	18	ASTM D2500
atau					
8	Titik Tuang	°C	-	18	ASTM D97
9	Residu Karbon	% m/m	-	0.1 ⁶⁾	ASTM D189
10	Kandungan Air	mg/kg	-	500	ASTM D6304
11	Kandungan FAME	% v/v	-	20 ⁷⁾	ASTM D7806 / D7371
12	Korosi Bilah Tembaga	merit	-	Kelas 1	ASTM D130
13	Kandungan Abu	% m/m	-	0.01	ASTM D482
14	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0.01	ASTM D473
15	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	-	0	ASTM D664
16	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0.6	ASTM D664
17	Penampilan Visual	-	Jernih & Terang		-
18	Warna	No. ASTM	-	3.0	ASTM D1500

(Sumber: SK Dirjen Migas, 2016)

2.8.2 Bahan Bakar Bensin

Bensin adalah salah satu jenis bahan bakar minyak yang digunakan untuk bahan bakar mesin kendaraan yang pada umumnya adalah jenis sepeda motor dan mobil. Bahan bakar bensin yang dipakai untuk motor bensin adalah jenis gasoline atau petrol. Bensin umumnya merupakan suatu campuran dari hasil pengilangan yang mengandung parafin, naphtene dan aromatik dengan perbandingan yang bervariasi.

Tabel 2.8 Spesifikasi Bensin

No.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN MIN	BATASAN MAX	METODE UJI
1	Bilangan Oktan Riset (RON)	RON	88.0	-	ASTM D2699
2	Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	ASTM D525
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.05 ¹⁾	ASTM D2622 atau ASTM D4294 atau ASTM D7039
4	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	- Injeksi timbal tidak diizinkan	0.013 *	ASTM D3237
5	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	Tidak Terlacak ²⁾		ASTM D3831 atau ASTM D5185 atau UOP 391
6	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2.7 ³⁾	ASTM D4815 atau ASTM D6839 atau ASTM D5599
7	Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan		ASTM D1319 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730
8	Kandungan Aromatik	% v/v	Dilaporkan		ASTM D1319 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730
9	Kandungan Benzena	% v/v	Dilaporkan		ASTM D5580 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730 atau ASTM D3606
	Distilasi :				
	10% Vol Penguapan	°C	-	74	
10	50% Vol Penguapan	°C	75	125	ASTM D86
	90% Vol Penguapan	°C	-	180	
	Titik Didih Akhir	°C	-	215	
	Residu	% vol	-	2.0	
11	Sedimen	mg/l	-	1	ASTM D5452
12	Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70	ASTM D381
13	Washed Gum	mg/100 ml	-	5	ASTM D381
14	Tekanan Uap	kPa	45	69	ASTM D5191 atau ASTM D323
15	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770	ASTM D4052 atau ASTM D1298
16	Korosi Bilah Tembaga	merit	Kelas 1		ASTM D130
17	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0.002 ⁴⁾	ASTM D3227
18	Penampilan Visual		Jernih dan terang		
19	Bau		Dapat Dipasarkan		
20	Warna		Kuning		
21	Kandungan Pewarna	g/100 l	-	0.13	

(Sumber: SK Dirjen Migas, 2013)

2.9. Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan salah satu bagian dari sabut kelapa yang masih memiliki potensi dikembangkan menjadi produk yang bermanfaat dan bernilai ekobomis karena mengandung bahan organik dengan kadar yang cukup tinggi yaitu selulosa 33,61%, dan hemiselulosa 19,27% (Lulrahman,2019).

Pada dasarnya limbah biomassa dari tempurung kelapa sangat melimpah dan dalam pemanfaatnya belum begitu optimal. Biasanya pemanfaatan limbah tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar sekali pakai. Tempurung kelapa adalah bagian dari buah kelapa yang berupa endokrap, bersifat keras dan memiliki komposisi kimia mirip dengan kayu. Tempurung kelaoa dinilai cocok sebagai bahan baku proses pembakaran karena menghasilkan nilai kalor sebesar 6.500-7.600 Kkal/gr (Das,2017).

Tempurung kelapa memiliki nilai kalor tinggi dan banyak dijadikan sebagai bahan bakar seperti arang, karena tempurung kelapa memiliki kemampuan tinggi dalam mengadsorpsi gas dan zat warna dan dalam bentuk karbon aktif. Tempurung kelapa sendiri merupakan bagian keras yang melindungi daging buah kelapa dengan ketebalan 3-5 mm dan bobot 19-20% dari massa kelapa itu sendiri (Muhammad,2018). Berikut ini tabel komposisi tempurung kelapa

Tabel 2.9. Komposisi tempurung kelapa

Komponen	Presentase (%)
Lignin	29,40
Hemiselulosa	27,70
Selulosa	26,60
Air	8,00
Abu	0,60
Nitrogen	0,10

(Sumber: Lulrahman,2019)

Pada metode pirolisis diperlukan bahan bakar yang digunakan sebagai pemanas. Tempurung kelapa dinilai cocok karena akan menghasilkan asap cair, arang aktif dan gas metan. Dimana tempurung kelapa akan membantu membentuk asap cair yang merupakan suatu hasil kondensasi atau pengemunan dari uap hasil pembakaran secara langsung dari bahan yang digunakan.

2.10 Pirolisis Sampah Plastik Jenis LDPE

Dekomposisi termal dari bahan plastik merupakan proses endotermik sehingga dibutuhkan energi minimal sebesar energi disosiasi ikatan rantai C-C di dalam rantai plastik. Energi disosiasi adalah energi yang diperlukan untuk memutus satu buah ikatan pada suatu molekul. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul (energi disosiasi).

Pada proses pirolisis menggunakan reaktor sistem batch. Reaktor batch adalah jenis reaktor dengan sistem tertutup, dikarenakan agar mencegah masuknya udara pada saat proses pirolisis dilakukan. Keadaan yang tertutup rapat juga akan membuat mengurangi panas hilang pada proses pirolisis.

Proses yang terjadi pada reaktor adalah penguraian plastik dengan bantuan panas tanpa adanya udara. Panas akan berasal dari tempurung kelapa yang dibakar pada ruang bakar, plastik akan perlahan berubah menjadi cair jika telah mencapai titik lelehnya. Panas yang tinggi akan membantu minyak untuk menguap dan melewati pipa yang telah dirangkai untuk naik ke separator kemudian dialirkan menuju kondenser. Pada kondenser akan bekerja sebagai pendingin dari uap yang terlewatkan sehingga uap-uap minyak tersebut dikondensasi sehingga berubah menjadi minyak. Proses akan terus berlangsung hingga bahan pada reaktor habis terbakar (Pakpahan,2019).

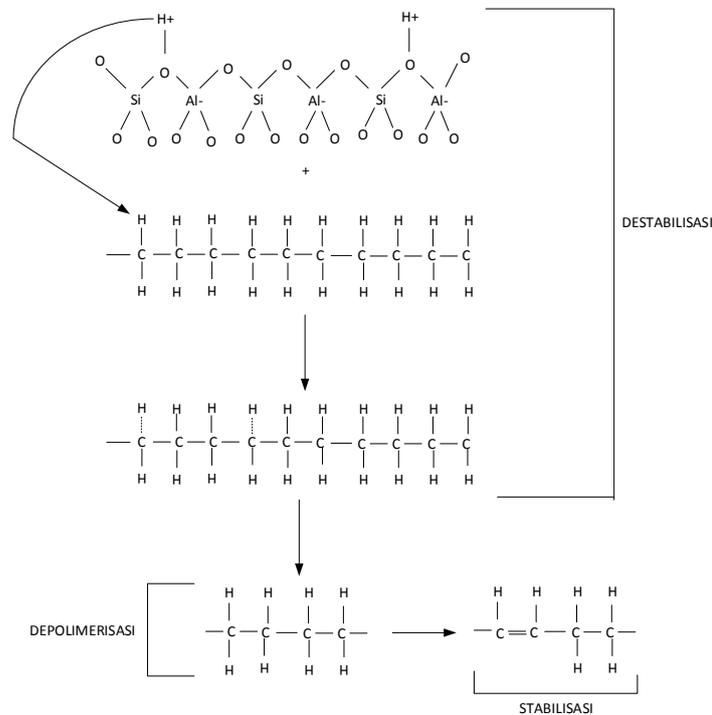
LDPE memiliki Rumus molekul $(C_2H_4)_n$ atau $(-CH_2-CH_2-)_n$. Densitas LDPE berkisar antara 0,91-0,92 gr/ml, titik leleh berkisar antara 115°C dan titik lebur pada temperature 140°C. Di atas titik lebur, LDPE akan mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Pada temperatur lebur LDPE akan melunak dan berubah menjadi cair. Pada kondisi tersebut LDPE akan mengalami dekomposisi dan mengalami perubahan fase menjadi cair. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul (energi disosiasi). Struktur ikatan kimia LDPE dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1. Ikatan kimia polietilen

Pada ikatan struktur molekul polietilennya terdapat dua jenis atom yang berikatan, yaitu ikatan C-C dan C-H. Ikatan paling lemah diantara dua jenis atom

tersebut adalah ikatan antara atom C-C. Sehingga kemungkinan produk yang diperoleh dari proses pirolisis polietilen sangat banyak. Produk yang mungkin diperoleh dari proses pirolisis LDPE berdasarkan energi disosiasi ikatan paling lemah antara lain produk gas $C_1 - C_4$, produk Minyak ringan $C_5 - C_{12}$, dan produk minyak berat dengan $C > 12$. Untuk mekanisme reaksi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme Reaksi *Polyethylene* dan Zeolit

Pada Gambar 2.2 terlihat mekanisme reaksi *Polyethylene* dan zeolit, pertama rantai panjang akan melalui proses Destabilisasi, dimana atom H akan mengganggu kestabilan ikatan senyawa kompleks rantai panjang pada plastik sehingga melemahkan energi ikatan sehingga dapat terjadi pemutusan rantai pada plastik, proses ini berlangsung pada temperatur 100-120 °C. Rantai senyawa *Polyethylene* akan terjadi perpindahan dengan membentuk hidrokarbon tak jenuh dan termal radikal yang baru, proses akan berlangsung lalu membentuk molekul hidrokarbon yang jenuh dengan ikatan rangkap pada kedua ujung atau salah satunya. Terbentuknya radikal bebas terjadi karena adanya pemisahan ikatan rantai karbon, lalu mengalami perengkahan termal hidrokarbon sehingga terbentuknya radikal bebas. Dilanjutkan dengan terjadi proses β -Scission (pemotongan beta) pada rantai polimer, dimana prosesnya berupa radikal bebas akan memecah dua karbon

dan karbon yang bermuatan menghasilkan olefin (Etilen) dan radikal bebas primer, yang memiliki dua atom karbon lebih sedikit.

Depolimerisasi merupakan proses mengubah polimer menjadi monomer atau campuran monomer dengan cara menggunakan perengkahan panas atau sering disebut depolimersisasi termal, proses ini dapat menggunakan katalis atau tidak menggunakan katalis. Proses ini dikaitkan dengan peningkatan entropi, Katalis pada depolimerisasi, dapat menurunkan suhu reaksi yang diperlukan. Salah satu keuntungan dari proses depolimerasi pada suhu kerja yang lebih rendah untuk pemanasan. Saat mendepolimerisasi bahan baku, sebagian besar produk berasal dari depolimerisasi, yang sifatnya tergantung pada kondisi proses dekomposisi, terutama pada ketinggian suhu dekomposisi, yang menentukan karakternya - berminyak, berlilin atau diesel. Ketika bahan mentah dipanaskan di atas stabilitas termal zat organik yang ditemukan dalam bahan baku, terjadi pembelahan matriks makromolekul menjadi produk cair dan gas dengan berat molekul rendah yang stabil, serta residu padat.

Depolimerasi dimana terjadi proses perengkahan panas (*Thermal Cracking*) pada tahapan *thermal cracking* dipotong oleh temperatur yang tinggi dengan cara pemanasan secara homolitik menjadi radikal bebas. Tujuan dilakukan perengkahan untuk mengkonversi bahan baku atau feed untuk menjadi berbagai macam produk dengan fraksi lebih ringan. Proses ini berjalan pada temperatur 130-140°C.

Tahap stabilisasi bertujuan untuk menstabilkan radikal bebas selama proses *Thermal Cracking* dimana proses akan berjalan pada temperatur 150-160°C . Pada proses ini terjadi kerusakan molekul dikarenakan *overheating*, karena temperatur yang tinggi membuat komponen rantai panjang polimer mengalami pemotongan molekul dan bereaksi dengan katalis untuk mengubah sifat-sifat polimer dan menstabilkan reaksi. Pada stabilisasi akan ada perubahan pada berat molekul dari polimer, perubahan warna dan umumnya sifat-sifat fisik, Karena bila digunakan diatas temperatur kestabilan panasnya bahan polimer penggunaannya tidak diperoleh untuk kerjanya yang baik. Polimer yang ditermal stabilisasi pada suhu lebih tinggi yang menghasilkan pengurangan viskositas. Selain dari penurunan viskositas polimer, viskositas juga dapat mengendap (precipitation) dengan adanya air formasi di reservoir berkadar garam tinggi (Kamal,2015).