

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Penelitian

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk konversi plastic jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun	Temperatur	Waktu	Rendemen
1	Kurniawan dkk	2014	480°C	1 jam	59.7%
2	Udyani dkk	2018	500 °C	3 jam	39,58%
3	Herliati dkk	2019	550 °C	1 jam	48%

Dari tabel 2.1 dapat dilihat bahwa penelitian ini menghasilkan rendemen yang sedikit pada temperature yang cukup tinggi. Maka dari itu penulis akan melakukan penelitian konversi plastic jenis LDPE untuk menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya dengan temperature yang lebih rendah dan mencari waktu yang optimal untuk menghasilkan rendemen yang lebih banyak.

2.2 Plastik

Plastik merupakan salah satu makromolekul senyawa polimer yang penyusun utamanya adalah karbon dan hydrogen. Dengan melalui tahap polimerisasi sehingga membentuk rantai panjang dan kaku yang menjadi padat setelah temperature pembentukannya. Polimerisasi adalah suatu proses penggabungan dari beberapa molekul sederhana atau monomer menjadi molekul besar atau polimer melalui proses kimia. (Arwizet, 2017 ; Surono, 2013).

Plastik dikelompokkan menjadi dua macam berdasarkan sifat *Thermal*-nya, yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* merupakan bahan plastik yang dapat mencair jika dipanaskan pada temperature tertentu kemudian dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan dan merupakan polimer yang komposisi kimianya tidak dapat berubah ketika dipanaskan, sehingga dapat dipanaskan berulang kali. Polimer jenis ini berupa

Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), dan Polyvinyl Chloride (PVC) (Surono, 2016) .

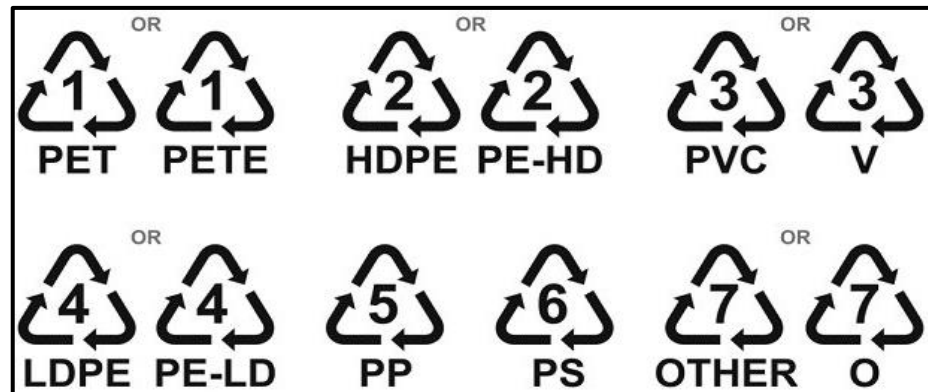
Sedangkan *thermosetting* merupakan polimer yang tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan jika telah dibuat dalam bentuk padat. Polimer *thermosetting* ini tetap padat, tidak dapat meleleh dan dimodifikasi, karena komposisi kimianya tidak dapat dipulihkan sehingga tidak dapat didaur ulang karena memiliki struktur ikatan silang (Alshehrei, 2017).

Jenis plastik yang memungkinkan untuk didaur ulang adalah plastik jenis *thermoplastik*. Plastik yang dapat didaur ulang diberi kode nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi penggunaannya. Kode nomor plastic dapat dilihat pada gambar 2.1

2.3 Sifat Termal Plastik

Dalam proses konversi plastik, sifat-sifat termal yang harus diketahui dari berbagai jenis plastik adalah temperatur lebur, temperature transisi, dan temperature dekomposisi.

- a) Temperature transisi adalah temperature dimana plastik mengalami perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas dengan peningkatan kelenturannya.
- b) Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair.
- c) Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi termal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Temperature transisi dan temperature lebur plastic dapat dilihat pada tabel 2.2.



Gambar 2.1 Nomor Kode Plastik

Tabel 2.2 Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik

Jenis Bahan	T_m (°C)	T_g (°C)	Temp. Kerja Maks (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS		110	85
PS		90	70
PMMA		100	85
PC		150	246
PVC		90	71

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*).

Tabel 2.3 Kode, Jenis, dan Penggunaan Plastik

No.Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Botol kemasan air mineral, botol minak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik.
2	HDPE (<i>High-density Polyethylene</i>)	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo.
4	LDPE (<i>Low-density Polyethylene</i>)	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku.
5	PP (<i>Polypropylene</i> atau <i>Polypropene</i>)	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6	PS (<i>Polystyrene</i>)	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari <i>styrofoam</i> , dan tempat makan plastik transparan
7	OTHER (O)	botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego

(Sumber : Surono dkk, 2013)

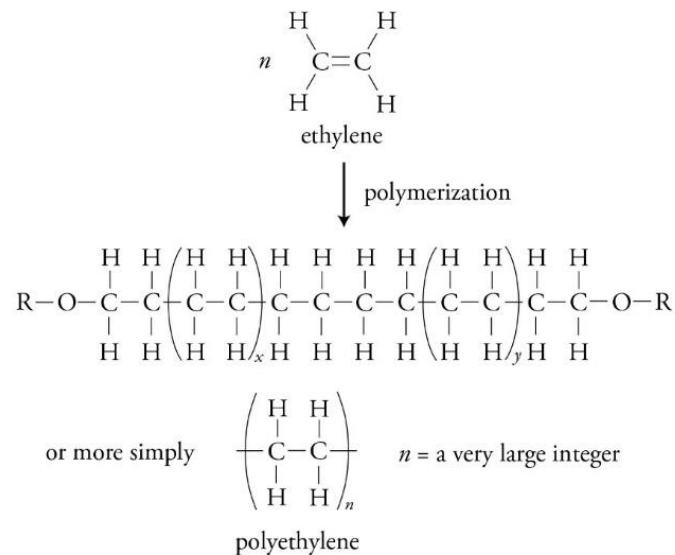
Secara umum kode plastik tersebut berada atau terletak pada bagian bawah, berbentuk segitiga yang melambangkan simbol daur ulang (*Recycle*), didalam segitiga terdapat angka yang merupakan kode jenis sampah tersebut dan kadang ada nama jenis plastik dibawah segitiga tersebut. Simbol daur ulang (*Recycle*) menunjukkan jenis bahan resin yang digunakan untuk membuat materi.

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.

2.3.1 LDPE (*Low Density Poly Ethylene*)

Merupakan jenis plastik yang terbuat dari bahan dasar minyak bumi atau biasa disebut dengan termoplastik dengan kode angka 4. Resistensi plastik LDPE terhadap bahan kimia tergolong baik sehingga dapat digunakan sebagai plastik kemasan makanan selain juga digunakan sebagai tong sampah, tas plastik, pakaian maupun furniture. Rumus molekul LDPE adalah $(C_2H_4)_n$, memiliki percabangan rantai Panjang dan pendek dari berbagai bentuk LDPE sehingga menghasilkan kerapatan yang lebih rendah. LDPE mempunyai massa jenis antara 0,91-0,94 gr/ml, separuhnya berupa kristalan (50-60)% dan memiliki titik leleh 115°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).



Gambar 2.2 Reaksi LDPE

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

Pirolisis berasal dari dua kata yaitu *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi (Wahyudi, 2018). Pirolisis merupakan dekomposisi kimia dengan proses pemanasan dalam kondisi bebas oksigen (Nasrun, 2015). Mengurai senyawa organik dari suatu bahan menjadi produk cair dan gas dengan melepaskan ikatan bahan-bahan anorganik yang terikat.

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).

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* plastik ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking*, dan *catalytic cracking* (Chen dkk, 2014).

2.4.1 *Hydro Cracking*

Hydro Cracking adalah proses perengkahan dengan meraksikan plastic dengan hydrogen didalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperature antara 423-673 K dan tekanan hydrogen 3-10 Mpa. Daam

proses hydrocracking ini dibantu dengan katalis. Untuk membantu pencampuran dan reaksi biasanya digunakan bahan pelarut *1-methyl naphthalene*, tetralin dan decalin. Beberapa katalis yang sudah diteliti antara lain alumina, *amorphous silica alumina*, *zeolite* dan *sulphate zirconia*.

2.4.2 Thermal Cracking

Thermal Cracking merupakan salah satu proses pirolisis yang dilakukan dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan – bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomasa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen didalamnya. Proses ini biasanya berlangsung pada temperatur 150 – 800°C (Aguado dkk., 2007). Selain itu, 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 suhu dan waktu, juga oleh laju pemanasan. (Rodiansono dkk., 2007). produk dari pirolisis ini terdiri dari fraksi gas, cair dan residu padatan (Buekens dan Huang, 2016/1998).

Pirolisis plastik melibatkan tiga mekanisme dekomposisi yaitu:

1. Pemotongan secara random rantai polimer yang menyebabkan terbentuknya rantai polimer yang lebih pendek
2. Pemotongan pada ujung rantai dimana molekul kecil dan rantai panjang polimer akan terbentuk
3. Pemisahan rantai polimer membentuk molekul – molekul kecil.

Mekanisme tersebut akan sangat berhubungan dengan energi disosiasi ikatannya, derajat aromatisasi maupun keberadaan halogen dan heteroatom lainnya didalam rantai polimer (Xingzhong, 2006). Jenis plastik yang digunakan sebagai umpan pada proses pirolisis mempunyai korelasi langsung terhadap kualitas bahan bakar yang dihasilkan seperti distribusi atom karbon, flash point, bilangan oktan, bilangan setana, dan pour point.

2.4.3 Catalytic Cracking

Catalytic Cracking merupakan proses pirolisis yang dilakukan dengan menggunakan katalis untuk melakukan reaksi pemecahan molekul besar menjadi molekul kecil. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperature dan waktu reaksi. Jenis katalis yang digunakan adalah silica alumina, *zeolite*, dan beberapa jenis lainnya seperti *clay*. Umumnya reaksi dari proses perengkahan katalitik menggunakan mekanisme perengkahan ion karbonium.

Faktor yang mempengaruhi pirolisis, parameter utama yang mempengaruhi pirolisis adalah sebagai berikut :

a. Temperatur

Temperature merupakan salah satu yang mempengaruhi faktor tumbukan suatu reaksi. Faktor tumbukan merupakan pertemuan partikel-partikel reaktan sebelum membentuk suatu reaksi. Pada proses ini ada yang menghasilkan reaksi dan ada juga yang tidak menghasilkan reaksi. Tumbukan yang terjadi dan bisa menghasilkan partikel-partikel hasil reaksi disebut sebagai tumbukan efektif. Efektifnya tumbukan ditentukan oleh faktor energi kinetik partikel (molekul) dan arah partikel.

$$k = Ae \left(-\frac{E}{RT} \right)$$

Tumbukan dengan fraksi molekul yang memiliki energi sama atau melebihi energi aktivasi menentukan laju reaksi kimia. Fraksi molekul yang teraktifkan biasanya sangat kecil, dan hal ini menyebabkan laju reaksi jauh lebih kecil daripada frekuensi tumbukannya itu sendiri.

Dalam hal ini pada temperatur yang tinggi lebih banyak jumlah partikel yang bertumbukan dibandingkan pada temperature rendah. Penyebab dari hal ini karena pada temperatur tinggi energi kinetik partikel akan lebih besar dan sebagai akibatnya jumlah tumbukan semakin banyak sehingga laju reaksi akan meningkat.

Dalam teori tumbukan dan energi aktivasi, suatu reaksi kimia dapat berlangsung apabila terjadi interaksi atau tumbukan antara molekul-molekul reaktan, tetapi hanya tumbukan efektif yang akan menghasilkan zat hasil reaksi. Efektivitas suatu tumbukan ditentukan oleh posisi/arah

tumbukan dari molekul dan energi kinetik yang dimilikinya. Teori tumbukan dan energi aktivasi sangat bermanfaat untuk menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi. Dengan menaikkan harga energi kinetik molekul atau menurunkan harga energi aktivasinya, laju reaksi kimia dapat dipercepat.

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.

b. 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.

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). 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). Semakin tinggi tekanan udara burner akan menyebabkan terjadinya pencampuran udara yang cukup baik, sehingga pembakaran akan sempurna dan menghasilkan panas yang besar (Prabawa, 2019). Adanya panas yang besar ini kemudian ditransfer ke dalam reaktor pirolisis dengan cukup bagus sehingga bisa meningkatkan rendemen minyak hasil pirolisis.

d. Ukuran partikel

Ukuran partikel akan mempengaruhi produk yang dihasilkan, dimana semakin besar ukuran 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 partikel 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.

e. Berat partikel

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

f. Jenis plastik

Pemilihan jenis plastik yang digunakan dalam konversi sampah plastik menjadi bahan bakar ataupun minyak akan menentukan kualitasnya.

2.6 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Dimasa yang akan datang, kemungkinan bahan bakar cair yang berasal dari *oil shale, tar sands*, batubara dan biomassa akan meningkat. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral (Wiratmaja, 2010). Dengan 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. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan. Gasoline, solar, dan kerosen merupakan contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai pada industry, transportasi, maupun rumah tangga merupakan fraksi minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa : *paraffin, naphtena, olefin, dan aromatic*. Beberapa kelebihan bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain:

- Kebersihan dari hasil pembakaran
- Menggunakan alat bakar yang lebih kompak
- Penanganannya lebih mudah

Salah satu kekurangan bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks.

2.5.1 Karakteristik Bahan Bakar Cair

Salah satu produk hasil pengolahan minyak bumi dan merupakan zat cair yang memiliki kemampuan untuk menguap pada suhu yang rendah, komponen

utama yang terkandung di dalam bahan bakar. Karakteristik bahan bakar minyak yang akan digunakan untuk tujuan tertentu perlu diketahui terlebih dahulu. Dengan demikian tujuan penggunaan bahan bakar akan sesuai dengan tujuan sehingga proses pembakaran dapat berjalan optimal. Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Dimasa yang akan datang, kemungkinan bahan bakar cair yang berasal dari oil shale, tar sands, batubara dan biomassa akan meningkat. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral (Wiratmaja, 2010). Beberapa karakteristik bahan bakar cair yang harus diketahui untuk tujuan penggunaan bahan bakar sehingga proses pembakaran berjalan secara optimal.

a. Densitas

Densitas merupakan nilai yang menunjukkan besarnya perbandingan antara massa dan volume benda tersebut, massa jenis suatu benda bersifat tetap artinya jika ukuran benda diubah maka massa jenisnya tetap, hal ini disebabkan oleh kenaikan massa benda dan kenaikan volume benda diikuti secara linier dengan kenaikan volume atau massa benda. Densitas suatu bahan tidak sama pada setiap bagiannya tergantung pada factor lingkungan seperti suhu dan tekanan. Satuan densitas adalah kg/m^3 (Mariana,Z.T, 2012). Pengukuran densitas minyak dapat dilakukan dengan menggunakan piknometer . Nilai densitas dapat dihitung menggunakan rumus:

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

ket :

ρ = massa jenis cairan (gr/cm^3)

m = massa cairan (gr)

v = volume cairan (cm^3)

b. Viskositas

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan/hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukurannya tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit

mengalir. Demikian sebaliknya makin rendah viskositas minyak makin encer dan lebih mudah minyak untuk mengalir, cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viscometer yang digunakan, dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran. Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.

c. Specific Gravity

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

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

Tujuan dilaksanakan pemeriksaan terhadap °API Gravity dan berat jenis adalah untuk indikasi mutu minyak dimana makin tinggi °API Gravity atau makin rendah berat jenis maka minyak tersebut makin berharga karena banyak mengandung bensin. Sebaliknya semakin rendah °API Gravity karena mengandung banyak lilin. Minyak yang mempunyai berat jenis tinggi berarti minyak tersebut mempunyai kandungan panas yang (heating value) yang rendah.

°API dan spgr 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* (Widharyanto, 2013).

d. Nilai Kalori

Nilai kalori merupakan jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara/oksigen. Nilai kalor bahan bakar berkisar antara 10.160-11.000 kcal/kg. nilai kalori berbanding terbalik dengan berat jenis, artinya semakin besar berat jenisnya maka semakin rendah nilai kalornya. Nilai kalori dibutuhkan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan mesin dalam periode tertentu. Nilai kalori dinyatakan dalam satuan kcal/kg atau BTU/lb.

e. Titik Nyala

Menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak saat minyak terbakar bila permukaan minyak didekatkan dengan nyala api. Titik nyala dibutuhkan untuk keperluan keamanan dalam penanganan minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala dapat dinyatakan dengan *flash point tester*.

f. Angka oktan (Octane Number)

Adalah suatu angka yang menyatakan kemampuan bahan bakar minyak (khususnya bensin) dalam menahan tekanan kompresi untuk mencegah bensin terbakar sebelum busi meloncatkan bunga api (ketahanan terhadap detonasi). Angka oktan merupakan angka yang membandingkan antara Normal heptana yang memiliki oktan nol dengan Iso oktan yang memiliki angka oktan 100. Angka oktan ini yang saat ini menjadi salah satu faktor pembatas perbandingan kompresi motor bensin tidak dibuat tinggi. Semakin tinggi angka oktan semakin tahan suatu bensin terhadap tekanan kompresi yang lebih tinggi. Angka oktan diperlukan karena berhubungan dengan kemajuan teknologi permesinan, yang mempunyai kecenderungan menaikkan perbandingan kompresi untuk meningkatkan power output, yang mana membutuhkan gasoline dengan angka oktan yang tinggi.

g. Angka Cetane (Cetane Number)

Adalah suatu angka yang menyatakan kualitas bahan bakar mesin diesel yang diperlukan untuk mencegah terjadinya knocking pada motor diesel. Mesin diesel putaran tinggi memerlukan angka cetane yang lebih tinggi. Untuk menentukan angka cetane digunakan bahan bakar standart yaitu campuran dari normal cetane (C₁₆H₃₄) yang mempunyai waktu pembakaran tertunda sangat pendek dengan α -methyl naptalene (C₁₆H₇CH₃) dalam satuan volume. Bahan bakar yang diukur dibandingkan dengan bahan bakar standart.

h. % Rendemen

Perbandingan antara massa produk yang dihasilkan dengan massa awal bahan baku. Rendemen dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ rendemen} = \frac{mp}{mb} \times 100\%$$

Ket :

Mp = massa produk (gr)

Mb = massa bahan baku (gr)

Tabel 2.4 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 ASTM D2622 atau
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.05 ¹⁾	ASTM D4294 atau ASTM D7039
4	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	-	0.013 * Injeksi timbal tidak diizinkan	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 ASTM D1319 atau
7	Kandungan Olefin	% v/v		Dilaporkan	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	
	90% Vol Penguapan	°C	-	180	ASTM D86
	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)

Tabel 2.5 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	
				0.35 ¹⁾		
				0.30 ²⁾		ASTM D4294 /D5453
				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	
19	Lubricity	micron	-	460 ⁸⁾	ASTM D6079	
	(HFRR wear scar dia. @ 60 °C)					
20	Kestabilan Oksidasi Metode Rancimat	Jam	35		EN 15751	

(Sumber: SK Dirjen Migas, 2016)

2.6 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa adalah bagian dari buah kelapa yang berupa endokarp, bersifat keras, dan di selimuti oleh sabut kelapa biasanya tempurung kelapa digunakan sebagai bahan kerajinan, bahan bakar, dan briket. Pada bagian pangkal tempurung kelapa terdapat 3 titik lubang tumbuh (ovule) yang menunjukkan bahwa bakal buah asalnya berlubang 3 dan yang tumbuh biasanya 1 buah saja. Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia mirip dengan kayu, mengandung lignin, pentosa, dan selulosa. Tempurung kelapa dalam penggunaan biasanya digunakan sebagai bahan pokok pembuatan arang dan arang aktif. Hal tersebut dikarenakan tempurung kelapa merupakan bahan yang dapat menghasilkan nilai kalor sekitar 6.500 – 7.600 Kkal/g.

Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan ketebalan 3-5 mm dan bobot 19-20% dari massa kelapa dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasar berat kering) yang tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. Berikut ini tabel komposisi tempurung kelapa :

Tabel 2.6 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)

Tempurung kelapa memiliki nilai kalor yang tinggi dan banyak dijadikan sebagai bahan bakar seperti arang, karena tempurung kelapa memiliki kemampuan tinggi dalam mengadsorpsi gas dan zat warna dalam bentuk karbon aktif.

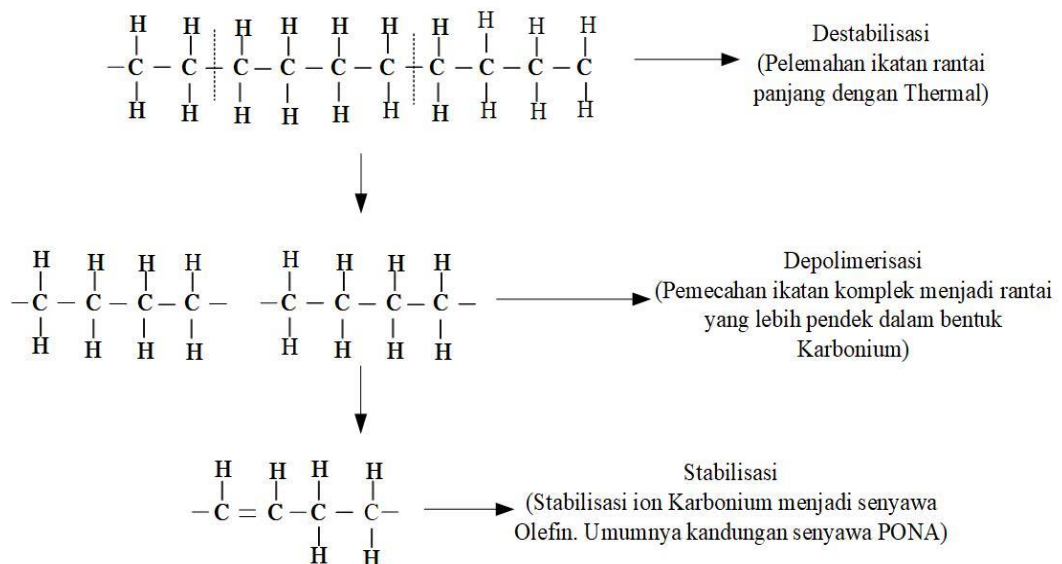
Pada metode pirolisis diperlukan bahan bakar sebagai pemanas. Tempurung kelapa dinilai cocok karena menghasilkan asap cair, karbon aktif dan gas metan.

2.7 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, hal ini dikarenakan agar mencegah masuknya udara pada saat proses pirolisis dilakukan. Keadaan yang tertutup rapat juga akan membuat mengurangi hilangnya panas 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 melewati kondenser. Pada kondenser akan bekejera sebagai pendingin dari uap yang terlewatkan sehingga uap-uap minyak tersebut berubah menjadi minyak. Proses akan terus berlangsung hingga bahan pada reaktor habis terbakar (Pakpahan,2019).



Gambar 2.3 Mekanisme Reaksi LDPE

LDPE memiliki Rumus molekul $(C_2H_4)_n$ atau $(-CH_2-CH_2-)_n$. LDPE memiliki titik leleh berkisar antara $115^\circ C$ dan titik lebur pada temperature $140^\circ C$. 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.

Pada proses dekomposisi ini sebelumnya LDPE mengalami beberapa tahap:

1. Tahap destabilisasi.

Tahapan ini merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum tahapan pemutusan ikatan secara termal. Tahapan ini dimaksudkan untuk mengganggu kestabilan ikatan senyawa kompleks LDPE sehingga akan melemahkan energi ikatannya. Proses destabilisasi ini dilakukan dengan menggunakan medan elektromagnet dan elektrolisis secara simultan. Dengan memanfaatkan senyawa-senyawa minor pada LDPE maka akan membantu untuk melemahkan gaya van der Waals molekul-molekul LDPE sehingga molekul ini merenggang jaraknya sehingga menyebabkan LDPE melunak.

2. Tahap Depolimerisasi

Setelah mengalami destabilisasi selanjutnya LDPE mulai memutuskan ikatan antarmolekul yang disebut dengan depolymerization bantuan panas dari luar akan membantu memutuskan ikatan antar molekul-molekul. Pemutusan ikatan menjadi radikal bebas ini terjadi pada ikatan yang terlemah. Pada ikatan struktur molekul polietilen hanya 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. Dengan pemutusan ikatan C-C ini maka akan terbentuk senyawa hidrokarbon baru dengan berat molekul yang lebih kecil dari senyawa kompleks LDPE yang besar. Setelah terjadi inisiasi maka akan dilanjutkan dengan tahap propagasi ikatan membentuk beberapa jenis rantai hidrokarbon yang beragam. Tahapan ini akan diakhiri dengan mekanisme terminasi radikal bebas melalui proses stabilisasi.

3. Tahap Stabilisasi

Tahap ini bertujuan untuk menstabilkan radikal bebas yang terbentuk selama *thermal cracking* terjadi. Pada tahap ini molekul LDPE dengan berat molekul yang kecil dan dalam keadaan tidak stabil akan distabilkan dan membentuk radikal lain yang akan berikatan dengan radikal hasil proses Thermal Cracking sehingga dapat saling menstabilkan. 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 $C > 12$.