

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Secara umum pembahasan yang lebih diutamakan dalam bab ini adalah pengertian dari pada sampah, pengertian plastik, pengkodean dan kegunaan plastik, metode yang dilakukan dalam pengolahan sampah plastik, jenis sampah plastik yang akan diolah menjadi bahan bakar cair alternatif, pengertian dari pirolisis, produk yang dihasilkan dan faktor yang mempengaruhi proses pirolisis, serta jenis-jenis bahan bakar cair dan spesifikasinya.

### **2.1 Sampah**

Sampah merupakan sisa material yang tidak diinginkan oleh manusia, setelah berakhir proses dan penggunaannya. Sisa material tersebut bisa berupa sesuatu yang dihasilkan dari hewan, manusia, ataupun tumbuhan yang sudah tidak digunakan lagi. Sisa material tersebut biasanya akan dilepaskan ke alam dan sudah berbentuk cair, padat atau pun gas.

Menurut sifatnya jenis sampah ini dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

1. Sampah organik atau degradable yaitu suatu jenis sampah yang dapat membusuk, dan terurai kembali. Sampah ini dapat dijadikan pupuk kompos yang berguna dalam menyuburkan tanaman. Contohnya sisa makanan dari sayur-sayuran, daun kering atau makanan.
2. Sampah anorganik atau undegradable yaitu sampah yang susah membusuk dan tidak dapat diuraikan kembali. Namun keunggulannya yaitu dapat didaur ulang menjadi sesuatu yang bermanfaat. Contohnya sampah plastik.

### **2.2 Plastik**

Plastik adalah jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi, yaitu penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar yang disebut dengan polimer (Liestiono et al. 2017). Plastik mempunyai titik didih dan titik leleh yang berbeda berdasarkan pada monomer pembentukannya. Monomer yang sering digunakan dalam pembuatan plastik

adalah propena ( $C_3H_6$ ), etena ( $C_2H_4$ ), vinil khlorida ( $CH_2$ ), nylon, karbonat ( $CO_3$ ), dan styrene ( $C_8H_8$ ). Penamaan polimer dilakukan dengan memberikan awal kata poli- pada nama monomernya. Misalnya untuk polimer dengan monomer stirena, maka nama polimer tersebut adalah polistirena.

### 2.2.1 Klasifikasi Plastik

Klasifikasi plastik salah satunya berdasarkan ketahanan terhadap panas (termal) yang dibedakan menjadi dua, yaitu :

#### a. Termoseting

Plastik jenis termoseting merupakan jenis plastik yang tahan terhadap panas. Jika plastik ini dipanaskan, maka tidak akan meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Contoh untuk plastik termoseting adalah polimer bakelit yang memiliki ikatan silang antar rantai polimernya. Bakelit merupakan polimer turunan yang tersusun atas fenol dan formaldehid yang tahan terhadap guncangan, keras tetapi ringan. Bakelit digunakan untuk peralatan listrik, kaca kapal perang, dan kaca jendela pesawat terbang.

#### b. Termoplastik

Termoplastik adalah jenis plastik yang tidak tahan panas. Jika dipanaskan akan melunak dan akan mengeras kembali jika didinginkan. Proses tersebut dapat dilakukan berulang kali, sehingga jenis plastik ini memungkinkan untuk dapat didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang ini diberi kode berupa nomor untuk mempermudah mengidentifikasi yang dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2. 1** Nomor Kode Plastik

(Sumber: Surono & Ismanto, 2016)

Kode tersebut dikeluarkan oleh *The Society of Plastik Industry* pada tahun 1998 di Amerika Serikat dan diadopsi oleh lembaga-lembaga pengembangan sistem kode, seperti ISO (*International Organization for Standardization*).

Adapun fungsi dari masing-masing jenis plastik berdasarkan nomor kode plastik tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2. 1** Jenis Plastik dan Penggunaannya

<b>No kode</b>	<b>Jenis plastik</b>	<b>Penggunaannya</b>
1	PET (polyethylene terephthalate)	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (High - density Polyethylene)	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal
4	LDPE (Low-density Polyethylene)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku.
5	PP (Polypropylene)	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak.
6	PS (Polystyrene) kotak CD	sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari Styrofoam.
7	Other (O)	jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6 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 & Ismanto, 2016)

Plastik merupakan produk yang dihasilkan dari bahan baku minyak bumi. Berbagai jenis plastik seperti polietilen (PE), polipropilen (PP) dan polistiren (PS) mempunyai nilai kalor yang setara dengan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi seperti minyak tanah, solar dan minyak berat (Syamsiro, 2015). Perbandingan nilai kalor plastik dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Nilai Kalor Beberapa Jenis Plastik dan Bahan Bakar

<b>Jenis Bahan</b>	<b>Nilai Kalor (MJ/kg)</b>
Polietilen	43,3-46,5
Polipropilen	46,5
Polistiren	41,9
Minyak Tanah	46,5
Solar	45,2
Minyak Berat	42,5
Minyak Bumi	42,3

(Sumber: Syamsiro, 2015)

### 2.2.2 Proses Konversi Sampah Plastik

Proses konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dapat dilakukan dengan proses *cracking* (perekahan). *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking* plastik ini dapat diguna sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hidro cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Surono 2014).

#### 1. *Hidro Cracking*

*Hidro cracking* adalah proses perekahan dengan mereaksikan plastik dengan hidrogen di dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperatur antara 423-673 °K dan tekanan hidrogen 3-10 MPa. Dalam proses *hydro cracking* ini dibantu dengan katalis. Untuk membantu pencampuran dan reaksi biasanya digunakan bahan pelarut 1-methyl naphtalene, tetralin dan decalin.

#### 2. *Thermal Cracking*

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

#### 3. *Catalytic Cracking*

*Cracking* cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi perekahan. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Proses katalitik dapat mempercepat reaksi, proses penguraian molekul besar menjadi

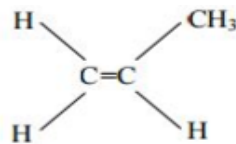
molekul kecil dilakukan dengan suhu tinggi. Jenis katalis yang sering digunakan adalah silica, alumunia, dan zeolite (Trisunaryanti, 2018).

Pengaruh penambahan katalis dalam pirolisis plastik adalah sebagai berikut:

- Suhu pirolisis untuk mencapai konversi tertentu berkurang drastis dan sebagai rasio katalis / plastik meningkat, suhu pirolisis dapat lebih diturunkan.
- Lebih iso-alkana dan aromatik di kisaran C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub>, dapat diproduksi, yang sangat diinginkan bensin-rentang hidrokarbon.
- Laju reaksi meningkat secara signifikan; misalnya tingkat awal degradasi polipropilena dilaporkan menjadi sekitar empat kali lebih cepat daripada *noncatalytic thermal degradation*.

### 2.3 Polypropylene

Polipropilena merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk kedalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. Polipropilena ini merupakan polimer dari propilen dan termasuk jenis plastik olefin. Adapun struktur propilena tampak pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Bentuk Struktur Propilena

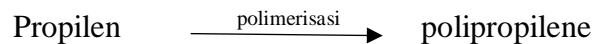
Karena keteraturan ruang polimer ini, rantai dapat dikemas lebih terjejal sehingga menghasilkan plastik yang kuat dan tahan panas. Pada suhu ruang, beberapa sifat, seperti daya regang dan kekakuan, sama dengan sifat polietena bermassa jenis tinggi, tetapi sifat itu berubah pada suhu yang lebih tinggi. Sifat kelarutan poli(propena) sama dengan sifat kelarutan yang dimiliki poli(etena), yakni tak larut pada suhu ruang (Cowd, M.A., 1991).

Polipropilena merupakan jenis bahan baku plastik yang ringan, densitas 0,90-0,92, memiliki kekerasan dan kerapuhan yang paling tinggi dan bersifat kurang stabil terhadap panas dikarenakan adanya hidrogen tersier. Penggunaan bahan pengisi dan penguat memungkinkan polipropilena memiliki mutu kimia yang baik

sebagai bahan polimer dan tahan terhadap pemecahan karena tekanan (stress-cracking) walaupun pada temperatur tinggi.

### 2.3.1 Mekanisme reaksi

Secara umum dasar reaksi polimerisasi polipropilene adalah:



Reaksi molekulnya dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 2. 3** Reaksi Molekul Polipropilen

Polimerisasi polipropilen adalah reaksi polimerisasi adisi koordinasi kompleks. Reaksi ini terbagi atas dua bagian, yaitu pembentukan kompleks koordinasi katalis-kokatalis dilanjutkan dengan polimerisasi pertumbuhan rantai (adisi). Reaksi terdiri dari 3 tahapan, yaitu :

#### 1. Reaksi Inisiasi

Pada tahap ini terjadi proses pengaktifan katalis oleh kokatalis membentuk suatu senyawa kompleks logam transisi yang mempunyai ikatan koordinasi dengan satu sisi aktif. Katalis yang digunakan adalah  $\text{TiCl}_4$  dan kokatalis  $\text{Al(C}_2\text{H}_5)_3$ .

Setelah katalis diaktifkan oleh kokatalis, monomer akan menyerang bagian aktif ini dan berkoordinasi dengan logam transisi, selanjutnya menyisip antara metal dan grup alkil, membentuk radikal bebas baru.

Reaksi ini terus berlangsung menghasilkan radikal bebas selama polimerisasi.

#### 2. Reaksi propagasi

Radikal bebas propilen akan menyerang monomer propilen lainnya terus-menerus dan membentuk radikal polimer yang panjang. Pada tahap ini tidak terjadi pengakhiran, polimerisasi terus berlangsung sampai tidak ada lagi gugus fungsi yang tersedia untuk bereaksi.

#### 3. Reaksi Terminasi

Cara penghentian reaksi yang biasa dikenal adalah dengan penghentian ujung atau dengan menggunakan salah satu monomer secara berlebihan. Pada

penghentian ujung, terjadi reaksi hidrogenasi. Hidrogen sebagai terminator akan bergabung dengan sisi aktif katalis sehingga terjadi pemotongan radikal polimer menjadi senyawa polimer dan senyawa hybrid. Senyawa hybrid akan bergabung kembali dengan monomer propilen lainnya untuk membentuk rantai polimer yang baru.

### 2.3.2 Karakteristik *Polypropylene*

Karakteristik *Polypropylene* (PP) dapat dilihat dari sifat fisik dan kimia. Sifat-sifat dari polipropilen, yaitu :

- a. Ringan (densitas 0.9 g/cm<sup>3</sup>)
- b. Mudah dibentuk
- c. Tembus pandang dan jernih dalam bentuk film, tapi tidak transparan dalam bentuk kemasan kaku
- d. Lebih kuat dari PE. Pada suhu rendah akan rapuh, dalam bentuk murninya mudah pecah pada suhu -30 °C sehingga perlu ditambahkan PE atau bahan lain untuk memperbaiki ketahanan terhadap benturan. Tidak dapat digunakan untuk kemasan beku.
- e. Melalui penggabungan partikel karet, PP bisa dibuat menjadi liat serta fleksibel, bahkan di suhu yang rendah. Hal ini membolehkan polipropilena digunakan sebagai pengganti berbagai plastik teknik, seperti ABS.
- f. Polipropilena memiliki titik leleh 130-171 °C (Wikipedia , 2009) , sebagaimana yang ditentukan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) sehingga sulit untuk dibentuk menjadi kantung dengan sifat kelim panas yang baik.
- g. Polipropilena memiliki resistensi yang sangat bagus terhadap kelelahan.
- h. Polipropilena memiliki permukaan yang tak rata, seringkali lebih kaku daripada beberapa plastik yang lain, lumayan ekonomis, dan bisa dibuat translusen (bening) saat tak berwarna tapi tidak setransparan polistirena, akrilik maupun plastik tertentu lainnya.
- i. Lebih kaku dari PE dan tidak mudah sobek sehingga mudah dalam penanganan dan distribusi.

- j. Daya tembus (permeabilitasnya) terhadap uap air rendah, permeabilitas terhadap gas sedang, dan tidak baik untuk bahan pangan yang mudah rusak oleh oksigen.
- k. Polipropilen juga tahan lemak, asam kuat dan basa, sehingga baik untuk kemasan minyak dan sari buah. Pada suhu kamar tidak terpengaruh oleh pelarut kecuali oleh HCl.
- l. Pada suhu tinggi PP akan bereaksi dengan benzen, siklen, toluen dan asam nitrat.

### 2.3.3 Kegunaan Polypropylene

Polypropylene yang diproduksi secara komersial terdiri atas tiga jenis, yaitu Homopolimer, Kopolimer Random dan Kopolimer Impak. Homopolimer adalah polimer yang terbentuk dari satu macam monomer. Homopolimer dihasilkan langsung dalam satu reaktor. Polimer ini memiliki berat jenis paling ringan, tingkat kejernihan yang lebih baik dibandingkan kopolimer, permukaan kristal yang halus dan daya tahan terhadap tumbukan, kelembaban, abrasi dan gesekan.

Kopolimer random mengandung etilen yang bereaksi bersama propilen dalam pembentukan rantai polimer. Kopolimer ini juga langsung dihasilkan dalam satu reaktor. Dibandingkan dengan homopolimer, polimer ini memiliki sifat pengkristalan yang lebih rendah dan memiliki butiran sperulit yang lebih kecil.

Kopolimer impak/blok merupakan campuran antara homopolimer dengan fasa karet etilen-propilen. Kopolimer ini memiliki titik leleh paling tinggi dengan dua atau lebih fasa lelehan, memiliki kekakuan dan kekerasan lebih rendah daripada homopolimer, ketahanan terhadap tumbukan pada temperatur rendah cukup baik, dan tidak tembus cahaya.

Produk yang dihasilkan tersebut dapat digunakan pada berbagai aplikasi. Aplikasi dari berbagai spesifikasi produk tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain :

- a. BOPP (Biaxially Oriented Polipropilen)

Film Jenis ini merupakan resin dengan berat molekul tertinggi yang diproduksi. Penggunaannya antara lain untuk bahan kemasan makanan, rokok, plastik laminating, plastik dekorasi.



b. *Yarn*

Banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan karung bahan kimia, untuk bagian bawah karpet, dan tali rafia. Sifatnya kuat, licin dan tidak menyerap air.

c. *IPP (Inflation Polipropilen)*

Film Resin ini paling banyak diproduksi dan digunakan untuk kemasan makanan, kantong plastik bagian dalam dan pembungkus tekstil.

d. *Injection Molding*

Resin ini banyak digunakan untuk keperluan peralatan rumah tangga seperti botol, kursi, peralatan dapur dan juga untuk keperluan otomotif.

e. *Fyber*

Jenis ini digunakan untuk karpet, benang dan karpet pelapis.

f. *Thermoforming*

Resin ini banyak digunakan untuk gelas dan wadah plastik. Sifatnya bening, kuat dan tidak menimbulkan bau dan rasa.

g. *Cast film*

Digunakan untuk bahan pelapis pada metal atau logam. Berupa lembaran yang dalam pembuatannya hanya ditarik dengan satu arah tetapi lebih lembut karena bersifat fleksibel

## **2.4 Pirolisis**

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis. Secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi temperatur yang tinggi tanpa oksigen. Pirolisis dapat didefinisikan sebagai dekomposisi thermal material organik pada suasana inert (tanpa oksigen) yang akan menyebabkan terbentuknya senyawa volatil (Udyani, Ningsih, and Arif 2017).

Adapun keuntungan dari metode pirolisis untuk pembakaran limbah plastik yaitu :

1. konsumsi energi yang rendah
2. Dapat mengatasi limbah plastik yang tidak dapat didaur ulang
3. Beroperasi tanpa membutuhkan udara atau campuran hidrogen dan tidak memerlukan tekanan tinggi (Naimah et al. 2012).

Pirolisis berdasarkan jenisnya terbagi menjadi 2 yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah proses pembentukan arang yang terjadi pada suhu  $150^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ . Proses pengarangannya ini terjadi karena adanya energi panas yang mendorong terjadinya oksidasi sehingga suatu senyawa karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang. Pirolisis sekunder adalah proses lanjutan perubahan arang/karbon lebih lanjut menjadi karbon monoksida, gas hidrogen dan gas-gas hidrokarbon (Juliastuti et al. 2015).

#### **2.4.1 Produk Hasil pirolisis**

Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Produk dari pirolisis ini terdiri dari fraksi gas, cair dan residu padatan. Pada suhu tertentu, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas. Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek. Selanjutnya proses pendinginan dilakukan pada gas tersebut sehingga akan mengalami kondensasi dan membentuk cairan. Cairan inilah yang nantinya menjadi bahan bakar, baik berupa bensin maupun bahan bakar diesel (Syamsiro, 2015)

Bahan bakar yang dihasilkan dari hasil pirolisis dapat diidentifikasi berdasarkan karakteristiknya. Adapun karakteristik yang perlu diperhatikan dalam menentukan jenis bahan bakar yang dihasilkan yaitu massa jenis, viskositas dan nilai kalor bahan bakar tersebut.

##### **1. Massa jenis**

Massa jenis atau densitas adalah kerapatan suatu zat, yaitu perbandingan massa dengan volume zat tersebut. Densitas suatu zat dapat ditentukan dengan menimbang massa zat dalam volume tertentu. Semakin besar massa zat tersebut maka massa jenisnya akan semakin besar juga. Semakin tinggi berat jenis suatu zat, maka semakin tinggi titik didih zat tersebut, dan semakin sulit menjadi uap. Tentunya menjadi semakin sulit bereaksi dengan oksigen, dalam arti memerlukan suhu lingkungan yang tinggi untuk terjadi campuran gas dengan oksigen.

Penentuan massa jenis zat cair dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

$\rho$  = Massa jenis (kg/l)

m = Massa minyak

v = Volume minyak (liter)

## 2. Nilai kalor

Nilai kalor bahan bakar merupakan jumlah energi maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar. Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor, maka panas yang dihasilkan oleh bahan bakar semakin tinggi pula, yang artinya semakin baik bahan bakar tersebut. Nilai kalor yang tinggi juga menyebabkan kecepatan pembakaran semakin lambat.

Nilai kalor bahan bakar dapat dianalisa dengan menggunakan kalorimeter. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang disebut bom dan dibenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor, hal ini menyebabkan suhu kalorimeter naik. Untuk mengetahui nilai kalor dari bahan bakar tersebut dihitung menggunakan rumus:

$$Q_s = Q_w + Q_c$$

$$Q_s = m_w \cdot c_w \cdot (t_2 - t_1) + C_c \cdot (t_2 - t_1) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$Q_s$  = Energi panas yang dihasilkan oleh sampel (kalori)

$Q_w$  = Energi panas yang diserap oleh air (kalori)

$Q_c$  = Energi panas yang diserap oleh kalorimeter (kalori)

$m_w$  = massa air (gram)

$c_w$  = Kalor jenis air (kalori/g.K)

$t_2$  = Temperatur setelah reaksi (K)

$t_1$  = Temperatur sebelum reaksi (K)

$C_c$  = Kapasitas kalor dari calorimeter (kalori/K)

### 3. Viskositas

Viskositas adalah sebuah tingkatan kepekatan fluida yang bisa menjelaskan besar kecilnya suatu gesekan dalam fluida karena adanya gaya kohesi maupun adhesi. Gesekan internal di dalam fluida dinyatakan dengan besaran viskositas atau kekentalan dengan satuan *poise*. Jika semakin besar viskositas dalam fluida maka akan bertambah sulit untuk bergerak dan juga akan bertambah sulit benda dapat bergerak di dalam fluida. Viskositas bahan bakar mempunyai pengaruh yang besar terhadap bentuk dari semprotan bahan bakar. Di mana untuk bahan bakar dengan viskositas yang tinggi akan memberikan atomisasi yang rendah sehingga memberikan hasil mesin sulit distart dan gas buang yang berasap. Jika viskositas bahan bakar rendah akan terjadi kebocoran pada pompa bahan bakarnya dan mempercepat keausan pada komponen pompa dan injektor bahan bakar

Pengukuran viskositas zat cair dapat dilakukan dengan menggunakan viskometer oswald. Pengukuran dengan viskometer oswald adalah dengan cara membandingkan dua jenis fluida yaitu aquadest dengan zat cair lainnya. Keduanya memiliki volume yang sama dan mengalir melalui pipa yang ukurannya sama. Karena kedua zat alir memiliki volume yang sama tetapi kekentalannya berbeda, maka debit keduanya juga berbeda. Dengan demikian waktu yang diperlukan untuk mengalirkan *aquadest* dan zat cair tersebut dengan volume yang sama juga berbeda. Sehingga persamaannya didapatkan :

$$\eta_x = \frac{t_x \times \rho_x}{t_a \times \rho_a} \dots\dots\dots (2.3)$$

$\eta_a$  = Kekentalan air ( $m^2/s$ )

$\eta_x$  = Kekentalan zat cair ( $m^2/s$ )

$t_a$  = Waktu alir zat cair (s)

$t_x$  = Waktu alir air (s)

$\rho_a$  = Massa jenis air ( $kg/m^3$ )

$\rho_x$  = Massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

### 2.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Pirolisis

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

#### 1. Kadar Air

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

#### 2. Ukuran partikel

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

#### 3. Laju pemanasan

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

#### 4. Temperatur

Temperatur merupakan faktor yang penting dalam menghasilkan produk pada proses pirolisis. Pada temperatur yang lebih tinggi maka hasil gas yang dihasilkan semakin banyak. Hasil minyak akan meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun, sedangkan hasil padatan cenderung rendah. Semakin tinggi temperatur nilai kalor untuk hasil gas akan meningkat (Encinar, 2009). Hal ini dikarenakan bahan baku padatan akan menguap dan berubah menjadi gas

sehingga berat dari padatan bahan baku akan berkurang. Namun, semakin tinggi temperatur akan membuat produk oil yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan temperatur yang tinggi dapat merubah hidrokarbon rantai yang panjang dan sedang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang pendek. Jika rantai hidrokarbon sangat pendek, maka diperoleh hasil gas yang tidak dapat dikondensasi (Basu, 2010).

#### 5. Bahan

Jenis plastik bahan baku juga mempengaruhi distribusi produk. Pada jenis termoplastik pada umumnya, hasil produk cairan adalah 80 % atau lebih, dimana  $PS > PP > PE$ . Plastik dengan struktur polisiklik mempunyai hasil cairan dan padatan yang lebih banyak dibandingkan plastik yang mempunyai struktur poliolefinik

#### 6. Komposisi bahan uji

Pada setiap penambahan material plastik didalam proses pirolisis menghasilkan suatu peningkatan kandungan hidrogen didalam hasil minyaknya dibandingkan pada proses pirolisis tanpa bahan plastik. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi yang berbeda dari bahan yang diperlukan untuk proses pirolisis menghasilkan hasil kandungan minyak yang berbeda (Bhattacharya, 2009).

### **2.5 Bahan Bakar Minyak**

Bahan bakar minyak merupakan jenis bahan bakar cair yang strukturnya tidak rapat. Bahan bakar minyak yang biasa dipakai dalam industri, transportasi, dan rumah tangga adalah jenis bahan bakar yang berasal dari fraksi minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral. 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.

Beberapa jenis bahan bakar minyak adalah sebagai berikut :

- a. Bahan Bakar Bensin
- b. Bahan Bakar Solar

c. Kerosin

**2.5.1 Bahan Bakar Bensin**

Bensin atau *gasoline* (Amerika) atau *petrol* (Inggris) merupakan jenis bahan bakar minyak yang biasanya digunakan pada kendaraan bermotor roda dua, tiga, dan empat. Bensin dibuat dari minyak mentah, cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut dengan *petroleum*. Cairan ini mengandung hidrokarbon, atom-atom karbon dalam minyak mentah ini berhubungan satu dengan yang lainnya dengan cara membentuk rantai yang panjang. Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus, mulai dari  $C_7$  (heptana) sampai dengan  $C_{11}$ . Dengan kata lain, bensin terbuat dari molekul yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon yang terikat antara satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai.

Bahan bakar bensin memiliki jenis yang berbeda dan tentunya memiliki mutu atau perilaku (performance) yang berbeda. Mutu bensin dipergunakan dengan istilah bilangan oktan (*Octane Number*). Nama oktan berasal dari oktana ( $C_8$ ), karena dari seluruh molekul penyusun bensin, oktana yang memiliki sifat kompresi paling bagus. Bilangan Oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Karena besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi (dan bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi *knocking* atau ketukan di dalam mesin. *Knocking* ini akan menyebabkan mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus dihindari.

Berikut ini merupakan beberapa jenis bensin berdasarkan perbedaan bilangan oktan :

a. Bahan Bakar Bensin Jenis 88 (Premium)

Bahan bakar premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan jernih yang didalamnya terdapat kandungan oktan 88 dan

menggunakan pewarna dye serta menghasilkan NO<sub>x</sub> dan CO<sub>x</sub> dalam jumlah banyak. Spesifikasi bahan bakar premium dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Spesifikasi Bahan Bakar Bensin RON 88 (Premium)

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min	Max	
Angka Oktana Riset	RON	88	-	D 269
Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D 525
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622/D 4294/D 7039
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013	D 3237
Injeksi imbal tidak diizinkan				
Kandungan Logam (Mn,Fe)	mg/l	tidak terlacak		D 3831/D 5185
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7	D 4815/D 6839/D 5599
Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan		D 1319/D 6839/D 6730
Kandungan Aromatik	% v/v	Dilaporkan		D 1319/ D 6839/ D 6730
Kandungan Benzene	% v/v	Dilaporkan		D 5580 / D 6839 / D 6730 / D 3606
Distilasi :				D 86
10% vol.Penguapan	°C	-	74	
50% vol.Penguapan	°C	75	125	
90% vol.Penguapan	°C	-	180	
Titik didih akhir	°C	-	215	
Residu	% vol		2	
Sedimen	mg/l	-	1	D 5452
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70	D 381
Washed Gum	mg/100 ml	-	5	D 381
Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191/ D 323
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m <sup>3</sup>	715	770	D 4052/D 1298
Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas 1tif		D 130
Sulfur Merkaptan	% massa	-	0,002	D 3227
Penampilan Visual		Jernih dan terang		
Bau		Dapat dipasarkan		
Warna		Kuning		
Kandungan pewarna	gr/100 l	-	0,13	

(Sumber : Keputusan Direkora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 933.K/10/DJM.S/2013)



## b. Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Pertalite diluncurkan pada tanggal 24 Juli 2015, merupakan bahan bakar gasoline yang memiliki angka oktan 90 serta berwarna hijau terang dan jernih. Bahan bakar Pertalite memiliki kualitas yang lebih baik daripada bahan bakar Premium karena angka oktan pertalite yang lebih tinggi sehingga mampu menstabilkan knocking mesin kendaraan menjadi lebih optimal. Spesifikasi bahan bakar pertalite dapat dilihat pada tabel .

**Tabel 2. 4** Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Karakteristik	Satuan	Batasan	
		Min	Max
Angka Oktana Riset	RON	90	-
Stabilitas Oksidasi	Menit	360	-
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013
Kandungan Logam (Mangan (Mn), Besi (Fe))	mg/l	tidak terdeteksi	
Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7
Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan	
Kandungan Aromatik	% v/v	Dilaporkan	
Kandungan Benzene	% v/v	Dilaporkan	
Distilasi :			
10% vol.Penguapan	°C	-	74
50% vol.Penguapan	°C	88	125
90% vol.Penguapan	°C	-	180
Titik didih akhir	°C	-	215
Residu	% vol		2
Sedimen	mg/l	-	1
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70
Washed Gum	mg/100 ml	-	5
Tekanan Uap	kPa	45	60
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m <sup>3</sup>	715	770
Korosi bilah tembaga	Menit	Kelas 1	
Sulfur Merkaptan	% massa	-	0,002
Penampilan Visual		Jernih dan terang	
Bau		Dapat dipasarkan	
Warna		Hijau	
Kandungan pewarna	gr/100 l	-	0,13

(Sumber : Keputusan Direktora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 0486.K/10/DJM.S/2017)

c. Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Pertamax Turbo merupakan bahan bakar bensin yang memiliki angka oktan 98 dan berwarna merah. Pertamax Turbo didesain untuk mesin berteknologi tinggi dengan minimum kompresi rasio 12:1 atau mesin kendaraan dengan *supercharger technology* dan *turbocharger technology*. Pertamax Turbo diformulasikan dengan *Ignition Boost Formula* yang membuat mesin lebih responsif pada pembakaran mesin dan membuat performa kendaraan menjadi sempurna. Spesifikasi pertamax turbo dapat dilihat pada tabel

**Tabel 2. 5** Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Karakteristik	Satuan	Batasan	
		Min	Max
Angka Oktana Riset	RON	98	-
Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013
		Injeksi timbal tidak diizinkan	
Kandungan Fosfor	mg/l	tidak terdeteksi	
Kandungan Logam (Mn, Fe)	mg/l	tidak terdeteksi	
Kandungan Silikon	mg/kg	tidak terdeteksi	
Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7
Kandungan Olefin	% v/v	-	-
Kandungan Aromatik	% v/v		40
Kandungan Benzene	% v/v		5
Distilasi :			
10% vol.Penguapan	°C	-	70
50% vol.Penguapan	°C	77	110
90% vol.Penguapan	°C	130	180
Titik didih akhir	°C	-	205
Residu	% vol		2
Sedimen	mg/l	-	1
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70
Washed Gum	mg/100 ml	-	5
Tekanan Uap	KPa	45	60
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m <sup>3</sup>	715	770
Korosi bilah tembaga	Merit		Kelas 1
Uji Doctor			Negatif
Sulfur Merkaptan	% massa	-	0,002
Penampilan Visual		Jernih dan terang	

(Sumber : Keputusan Direktora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 0177.K/10/DJM.T/2018)

### 2.5.2 Bahan Bakar Solar

Minyak solar adalah suatu produk destilasi minyak bumi dengan titik didih antara 250°C sampai 350°C atau disebut juga middle destilat. Minyak solar digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, misalnya digunakan pada kendaraan bermotor seperti bus, truk, kereta api, dan traktor. Angka setana merupakan tolak ukur kemudahan menyala atau terbakarnya suatu bahan bakar di dalam mesin diesel. Angka setana produk solar yang ada di pasaran adalah 48. Spesifikasi bahan bakar solar dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2. 6** Spesifikasi Bahan Bakar Solar

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min.	Maks.	
Bilangan Cetana	-	48	-	D 613
Indeks Setana	-	45	-	D 4737
Berat Jenis, 15 C	kg/m <sup>3</sup>	815	860	D 4052
Viskositas, 40 C	mm <sup>2</sup> /sec	2	4,5	D 445
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35	D2622/D 5453
		-	0,3	
		-	0,25	
		-	0,05	
Distilasi 90 % vol.penguapan	°C	-	370	D 86
		-	0,005	
Titik Nyala	°C	52	-	D 93
Titik Tuang	°C	-	18	D 97
Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D 4530/ D 189
Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304
Biological Growth	-	Nihil		
Kandungan FAME	% v/v	-	-	
Kandungan metanol	% v/v	Tak Terdeteksi		D 4815
Korosi Bilah Tembaga	Merit	-	Kelas 1	D 130
Kandungan Abu	% v/v	-	0,01	D 482
Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473
Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D 664
Partikulat	mg/l	-	-	D 2276
Penampilan Visual	-	Jernih & Terang		
Warna	No.ASTM	-	3	D 1500
Lubicity	Micron	-	460	D 6079

(Sumber : Keputusan Direktora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 28.K/10/DJM.T/2016)

## 2.6 Oli

Oli merupakan sisa dari produk-produk minyak bumi yang lain. Oli digunakan sebagai minyak pelumas, yaitu zat yang berada diantara dua permukaan yang bergerak secara relatif agar dapat mengurangi gesekan antar permukaan tersebut. Sistem pelumasan merupakan salah satu sistem utama pada mesin, yaitu suatu rangkaian alat-alat mulai dari tempat penyimpanan minyak pelumas, pompa oli (*oil pump*), pipa-pipa saluran minyak, dan pengaturan tekanan minyak pelumas agar sampai kepada bagian-bagian yang memerlukan pelumasan. (Setiawan, 2016)

### 2.6.1 Karakteristik Oli Bekas

Ditinjau dari komposisi kimianya sendiri, oli adalah campuran dari hidrokarbon kental ditambah berbagai bahan kimia aditif. Oli bekas memiliki campuran komposisi lebih dari itu, dalam oli bekas terkandung sejumlah sisa hasil pembakaran yang bersifat asam korosif, deposit, dan logam berat yang bersifat karsinogenik. Sampai saat ini usaha yang dilakukan untuk memanfaatkan oli bekas ini yaitu dengan memurnikan kembali (proses *refinery*) oli menjadi *refined lubricant*. Namun tidak banyak yang tertarik untuk berbisnis di bidang ini karena biaya yang relatif tinggi terhadap *lube oil blending plant* (LOBP) dengan bahan baku *fresh*, sehingga harga jualnya tidak akan mampu bersaing di pasaran. Selain itu, oli juga dimanfaatkan sebagai *fuel oil*/minyak bakar. Namun yang masih menjadi kendala adalah tingkat emisi bahan bakar ini masih tinggi.

Berdasarkan kriteria limbah yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup, oli bekas termasuk kategori limbah B3. Meski oli bekas masih bisa dimanfaatkan, bila tidak dikelola dengan baik, maka oli bekas dapat membahayakan lingkungan. Berikut ini merupakan Karakteristik oli bekas yang dapat dilihat pada tabel 2.7.

**Tabel 2.7** Spesifikasi Oli Bekas

Keadaan Fisik	Cairan
Warna	Kuning-kecoklatan
Bau	Khas Pelumas
Titik Nyala	220°C
Viskositas	57,74 cSt pada 40°C 9,96 cSt pada 100°C
Titik Tuang	-51°C
Berat Jenis	847 kg/m <sup>3</sup> pada 20°C

Kelarutan	Tidak larut dalam air
-----------	-----------------------

(Sumber: [www.picswe.com](http://www.picswe.com), (online), 2018)

### 2.6.2 Proses Pengolahan Oli Bekas

Minyak pelumas yang telah digunakan dalam waktu cukup lama akan mengalami perubahan komposisi atau susunan kimia, selain itu juga akan mengalami perubahan sifat fisis, maupun mekanis. Hal ini disebabkan karena pengaruh tekanan dan suhu selama penggunaan dan juga kotoran-kotoran yang masuk ke dalam minyak pelumas itu sendiri. Minyak pelumas bekas yang dikeluarkan dari peralatan biasanya dibuang begitu saja bahkan ada yang dimanfaatkan kembali tanpa melalui proses daur ulang yang benar. Namun akan lebih aman dan tepat jika minyak pelumas bekas di olah dengan proses yang baik dan tepat.

Beberapa cara pemulihan kembali minyak pelumas bekas yang digunakan antara lain :

#### 1) *Acid Clay treating*

Minyak pelumas bekas ditreatment dengan asam sulfat pekat yang berguna untuk mengendapkan kotoran yang ada sehingga kotoran tersebut dibuang. Selanjutnya ditreatment dengan clay yang berguna untuk menyerap aroma yang masih tertinggal di dalam minyak oli bekas. Proses ini sederhana dengan biaya relatif murah, namun kekurangannya menyebabkan polusi lingkungan disebabkan munculnya *acid sludge* (lumpur asam) dan emisi gas asam, selain itu juga menyebabkan korosi peralatan yang dipakai, dan juga hasilnya lebih sedikit disebabkan hilangnya oli di dalam lumpur.

#### 2) *Detergent Extraction*

Menggunakan konsumsi air yang sangat banyak untuk mencuci pelumas bekas sehingga kandungan kontaminan yang berwujud logam dapat dipisahkan. Penambahan surfaktan atau detergen agar diperoleh bentuk emulsi yang stabil. *Emulsifier* yang digunakan *ABS*, *texafon*, dan juga *tepool*. Proses ini serupa dengan memecah santan kelapa menjadi minyak, untuk memecah emulsi disamping digunakan bahan kimia digunakan juga proses fisika yaitu dengan mengalirkan sejumlah minyak yang teremulsi melewati sepasang logam

yang bermuatan. Maka akan terpisahkan dua komponen minyak yang jernih dan air yang sudah mengandung kotoran.

3) *Clay Distillation*

Minyak pelumas bekas didestilasi *vacum* sehingga diperoleh lumpur, *lube oil distillate*, *light oil* dan air. *Lube oil distillate* diproses lagi dengan *clay treating* agar diperoleh *lube oil stock (base oil)*.