

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

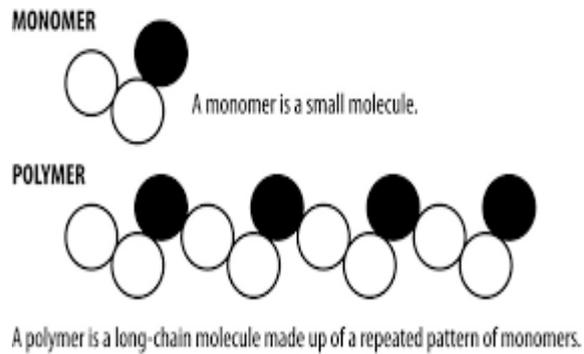
Perkembangan dari plastik bermula dari ditemukannya plastik pertama yang berasal dari polymer alami, yakni *selluloid* pada tahun 1869 oleh investor Amerika John W, Hyatt dan dibentuk pada tahun 1872. Plastik pertama tersusun oleh nitrat selulosa, kamfer, dan alkohol. Plastik menjadi industri modern setelah adanya produksi *Bakelite* oleh American Chemist L. H Baakeland pada tahun 1909. *Bakelite* tersusun dari *polymer fenol* dan *formaldehid*. Dalam perkembangannya, plastik digunakan dalam berbagai bentuk dan kegunaan, seperti peralatan makan, pembungkus makanan, lensa optik, struktur bangunan, furniture, fiberglass, dan lain-lain (Azizah, 2009).

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam (Surono, 2013).

Karakteristik plastik yang memiliki ikatan kimia yang sangat kuat sehingga banyak material yang dipakai oleh masyarakat berasal dari plastik. Namun plastik merupakan material yang tidak bisa terdekomposisi secara alami (*non biodegradable*), sehingga setelah digunakan akan menjadi sampah yang sulit diuraikan oleh mikroba tanah dan akan mencemari lingkungan (Wahyudi, Prayitno, & Astuti, 2018).

Plastik juga mengandung zat aditif, yaitu zat yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat plastik. Zat aditif berupa zat-zat dengan berat molekul rendah yang dapat berfungsi sebagai pewarna, antioksidan, penyerap sinar *ultraviolet*, anti lengket dan sebagainya. Struktur monomer dan polimer plastic dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Structure of Monomers and Polymers



Gambar 2.1. Struktur monomer dan polimer
(Sumber : wikipedia, diakses tanggal 12 Juli 2018)

Untuk membuat plastik, salah satu bahan yang digunakan adalah naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi dan gas alam. Komposisi dan material plastik adalah polimer dan zat aditif lainnya. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya. Polimer dibuat dengan merangkai rantai monomer yang dapat dilakukan dengan metode *thermosetting* dan *thermoplastic*. Pada metode *thermosetting*, monomer cair dituangkan ke dalam cetakan dan dibiarkan dingin. Monomer cair memiliki bentuk permanen sehingga produk yang dihasilkan bersifat tahan lama.

Dengan pendekatan *thermoplastic*, monomer cair dipanaskan dan perlahan-lahan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Setelah itu, produk kemudian didinginkan hingga menjadi item 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.

Struktur dasar kimia plastik merupakan ikatan kovalen. Plastik merupakan molekul hidrokarbon. Molekul dari plastik disebut makro molekul karena ukurannya sangat besar dilihat dari jumlah atom karbon. Plastik memiliki keunggulan dibandingkan dengan material lain, yaitu :

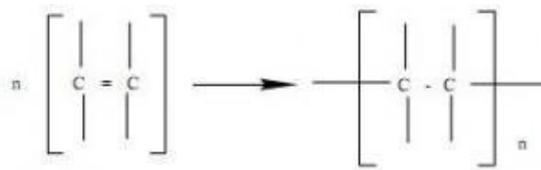
1. Tidak tembus air
2. Mudah dibentuk dan dicetak

3. Ringan
4. Tidak mudah pecah dan lentur/fleksibel
5. Isolator panas dan listrik
6. Mudah diberi warna.

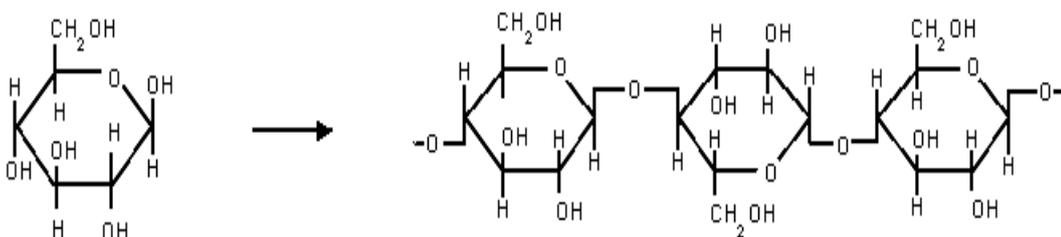
Keunggulan tersebut yang menyebabkan peningkatan penggunaan plastik dari waktu ke waktu.

2.1.1 Sifat Thermal Plastik

Plastik dibuat dengan melakukan reaksi polimerisasi, yaitu reaksi penggabungan molekul-molekul kecil (monomer) yang membentuk molekul yang lebih besar. Terdapat dua jenis reaksi polimerisasi, yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi. Polimerisasi adisi terjadi pada monomer yang mempunyai ikatan tak jenuh (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 molekul yang lebih besar. Polimerisasi adisi dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Polimerisasi kondensasi dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Reaksi polimerisasi adisi
(sumber : rumuskimia.net, diakses tanggal 20 juli 2018)



Gambar 2.3. Reaksi polimerisasi kondensasi
(sumber : rumuskimia.net, diakses tanggal 21 juli 2018)

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pirolisis sampah plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perengganan struktur sehingga

terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. 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 thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budiyantoro, 2010). Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data 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

(Sumber: Landi, 2017)

2.1.2 Jenis Plastik dan Karakteristiknya

Pada kemasan yang terbuat dari plastik, biasanya ditemukan simbol atau logo daur ulang (*recycle*) yang berbentuk segitiga dengan kode-kode tertentu. Pada tahun 1998 di Amerika Serikat, *The Society of Plastic Industry* mengeluarkan kode ini dan diadopsi oleh lembaga-lembaga pengembangan sistem kode, seperti ISO (*International Organization for Standardization*). Secara umum, ciri-ciri tanda pengenal atau kode plastik tersebut antara lain:

1. Berada atau terletak di bagian bawah
2. Berbentuk segitiga
3. Di dalam segitiga tersebut terdapat angka
4. Serta nama jenis plastik di bawah segitiga

Simbol daur ulang (*recycle*) menunjukkan jenis bahan resin yang digunakan untuk membuat material plastik. Simbol ini dibentuk berdasarkan Sistem Internasional Koding Plastik dan biasanya digambarkan sebagai angka (1 sampai 7) dilingkari dengan segitiga atau loop segitiga biasa (juga dikenal sebagai *Mobius loop*), dengan akronim dari bahan yang digunakan, tepat di bawah segitiga (Manurung, 2017).

Berdasarkan sumbernya plastik dikelompokkan menjadi 2 macam yaitu polimer alami dan polimer sintetis. Polimer alami adalah polimer yang bahannya diperoleh secara alami dari alam. Contohnya adalah kulit kayu, kulit binatang, karet alam dan rambut. Sedangkan polimer sintetis adalah polimer buatan hasil sintetis dari industri. Polimer sintetis terbagi menjadi tiga yaitu :

1. Tidak terdapat secara alami di alam : contohnya nylon, poliester, polipropilen, polistiren.
2. Terdapat di alam tetapi dibuat secara sintetis. Contohnya adalah karet alam.
3. Polimer alami yang dimodifikasi. Contohnya adalah *seluloid*, *cellophane* (bahannya dasarnya dari selulosa tetapi telah mengalami modifikasi secara radikal sehingga kehilangan sifat-sifat kimia dan fisika asalnya).

Berdasarkan sifat fisiknya plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah plastik yang apabila dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Contohnya adalah *polyethylene* (PE), *Polystyrene* (PS), ABS, dan Polikarbonat (PC). Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang apabila telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan pada molekul-molekulnya. Contohnya adalah resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea-formaldehida. Berdasarkan sifat kedua plastik tersebut, *Thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Jenis plastik, kode dan penggunaannya dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Tabel 2.2.



Gambar 2.4. Nomor kode plastik
(Sumber : Untoro, 2014)

Tabel 2.2. Jenis plastik, kode dan penggunaannya

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1.	PET (<i>polyethylene terephthalate</i>)	botol kemasan air mineral, botol minyak 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, dan botol sambal.
4.	LDPE (<i>Low-density Polyethylene</i>)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5.	PP (<i>Polypropylene atau 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 styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
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 : Untoro, 2014)

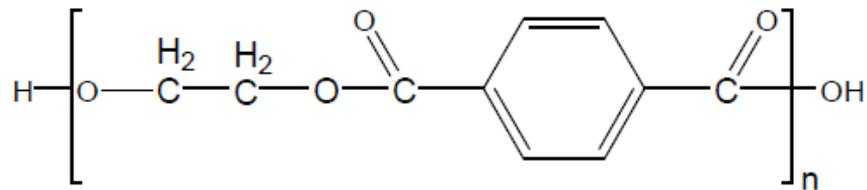
Berikut adalah macam-macam plastik berdasarkan penggolongan pada industri:

1. PET (*Polyethyelene Terepthtalate*)

PET (*polyethylene terephthalate*) merupakan resin polyester yang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas. kepekatannya adalah sekitar 1,35 – 1,38 gram/cc, sehingga membuatnya kokoh. Rumus molekul PET adalah $(-CO-C_6H_5-CO-O-CH_2-CH_2-O-)_n$ (Nurhalima, 2015).

Penggunaan utama PET dapat ditemukan pada botol minuman ringan berkarbonasi, air dalam kemasan, *sports drink*, *beer*, obat kumur, *salad dressing* dan beberapa jenis saos (Rahayu & Arpah, 2004). Jika pemakaian PET dilakukan secara berulang, terutama untuk menampung air panas, lapisan

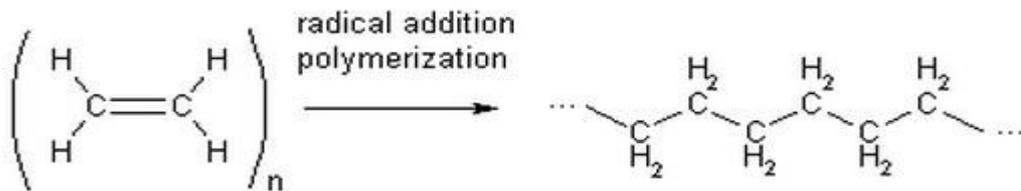
polimer botol akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik yang dapat menyebabkan kanker (Nurhalima, 2015).



Gambar 2.5 Rantai *Polyethylene Terephthalate*
(Sumber: www.picswe.com, (online), 2018)

2. HDPE (*High Density Polyethylene*)

HDPE adalah resin yang liat, kuat dan kaku yang berasal dari minyak bumi, yang sering dibentuk dengan cara meniupnya. Rumus molekulnya adalah $(-CH_2-CH_2-)_n$ (Nurhalima, 2015). Penggunaan HDPE dapat ditemukan pada botol untuk produk makanan yang waktu kadaluwarsanya tidak terlalu panjang dan tidak mengandung gas seperti botol susu pasteurisasi, jus buah, yogurt dan *cereal box* (Rahayu & Arpah, 2004).

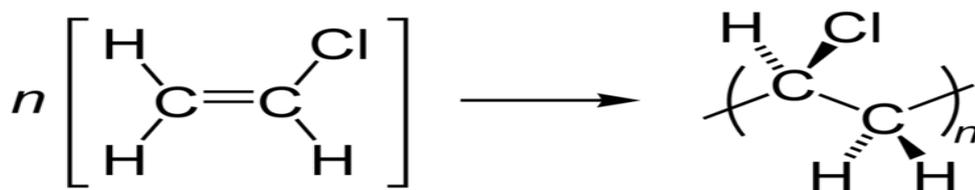


Gambar 2.6 Rantai *High Density Polyethylene*

(Sumber: www.utakatikotak.com, (online), 2019)

3. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

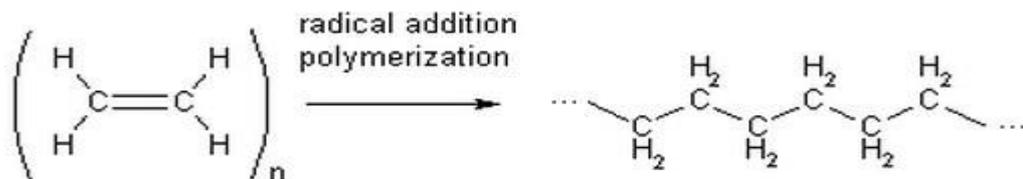
PVC merupakan resin yang liat dan keras yang tidak terpengaruh oleh zat kimia lain dan memiliki rumus molekul $(-CH_2-CHCl-)_n$. Kegunaan PVC dalam kehidupan sehari-hari adalah sebagai pipa plastik (paralon), peralatan kelistrikan, atap bangunan dan lain-lain (Nurhalima, 2015).



Gambar 2.7 Rantai *Polyvinyl Chloride*
(Sumber: www.kimiadahsyat.blogspot.com, (online), 2019)

4. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

LDPE adalah plastik yang mudah dibentuk ketika panas, terbuat dari minyak bumi, dan rumus molekulnya adalah $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$. LDPE adalah resin yang keras, kuat dan tidak bereaksi terhadap zat kimia lainnya, dan kemungkinan merupakan plastik yang paling tinggi mutunya. Penggunaan LDPE dapat ditemukan pada kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya (Nurhalima, 2015).

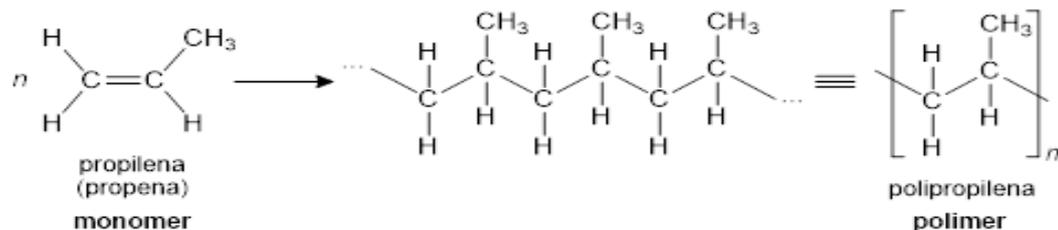


Gambar 2.8 Rantai *Low Density Polyethylene*

(Sumber: www.utakatikotak.com, (online), 2019)

5. PP (*Polypropylene*)

PP merupakan plastik polimer yang mudah dibentuk ketika panas dengan rumus molekulnya adalah $(-\text{CHCH}_3-\text{CH}_2-)_n$. PP memiliki sifat yang tahan terhadap bahan kimia atau *Chemical Resistance*, namun ketahanan pukul atau *Impact Strength*-nya rendah (Nurhalima, 2015). *Polypropylene* banyak digunakan sebagai wadah tahan panas, baik dalam bentuk kantong maupun botol plastik. Kantong plastik PP lebih kuat dibanding LDPE sehingga tidak mudah ditarik seperti halnya pada kantong LDPE (Rahayu & Arpah, 2004).



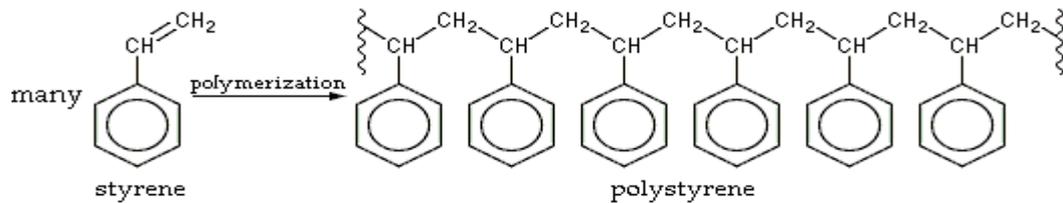
Gambar 2.9 Rantai *Polypropylene*

(Sumber: www.sarxmls.blogspot.com, (online), 2019)

6. PS (*Polystyrene*)

PS adalah plastik polimer yang mudah dibentuk bila dipanaskan. Rumus molekulnya adalah $(-\text{CHC}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-)_n$ (Nurhalima, 2015). PS memiliki sifat fisik keras, kaku dan dapat dipatahkan bahkan dalam bentuk lembaran yang tipis sekalipun, sehingga aplikasi utamanya adalah dalam bentuk busa yang dikenal dengan sebutan Styrofoam. Bahan ini utamanya diterapkan pada

meal/lunch box, gelas dan tray. Disamping itu, sifatnya yang sangat kaku dan mudah patah dimanfaatkan untuk pembuatan sendok, garpu dan pisau plastik, termasuk juga untuk pembuatan gelas, piring plastik dan kotak telur (Rahayu & Arpah, 2004).



Gambar 2.10 Rantai *Polystyrene*

(Sumber: www.bilangapax.blogspot.com, (online), 2019)

7. O (*Other* atau Lainnya)

Kelompok jenis ini termasuk semua jenis laminat, yaitu kombinasi beberapa resin plastik sekaligus. Saat ini, kombinasi yang banyak ditemukan yaitu dengan cara pelapisan maupun ekstrusi secara bersama-sama dari bahan-bahan utama seperti: LDPE, PP, PS dan sebagainya. Dalam jumlah yang sangat terbatas, dapat ditemukan juga kemasan pangan dari bahan-bahan seperti: (Rahayu & Arpah, 2004)

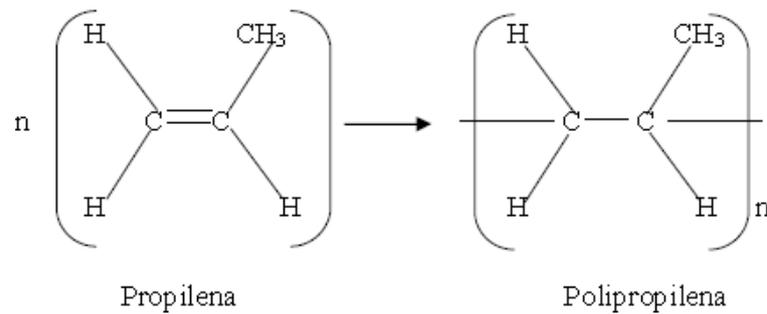
- a. *Polyamide* (PA), kelebihan utamanya adalah tahan temperatur dalam kisaran antara (-50° - +170°C), umumnya dalam bentuk botol.
- b. *Polycarbonate* (PC), tahan suhu panas bahkan hingga suhu sterilisasi.
- c. *Saran* (PVDC), penggunaan utamanya adalah sebagai *casing* produk sosis.
- d. *Surlyn*, sebagai pelapis dalam pembentukan laminat untuk kemasan snack guna memperbaiki sifat-sifat permeabilitas pengemas.

2.2 Struktur Kimia *Polypropylene* (PP)

Polypropylene merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. *Polypropylene* berasal dari monomer *propilene* yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi. Struktur molekul propilena

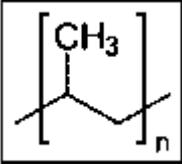


Secara industri, polimerisasi polipropilena dilakukan dengan menggunakan katalis koordinasi. Reaksi polimerisasi dari propilena secara umum



Adapun karakterisasi dari *Polypropilene* dapat dilihat dari Tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2.3 Karakteristik *Polypropilene*

	
Nama Kimia	Poli (1- metiletilena)
Sama Arti	Polipropilena; polipropena; polipropena 25[USAN]; Polimer Propena; Polimer Propilena; Homopolimer 1- Propena
Formula Kimia	$(C_3H_6)_x$
Monomer	Propilena (propena)
Nomor CAS	9003-07-0(ataktik) 25085-53-4 (isotaktik) 26063-22-9 (sindiotaktik)
Densitas (30C)	0,6095 g/ml
Titik Lebur	$> 165^{\circ}C$
Suhu Transisi	$- 10^{\circ}C$
Titik Degradasi	$286^{\circ}C$
Titik didih	$-47^{\circ}C$
Temperatur kritis	$91,9^{\circ}C$
Tekanan kritis	45,5 atm
Panas penguapan	104,62 kal /g
Panas pembentukan	4,879 kal / g

Sumber : Wikipedia, Org)

Polypropilene merupakan jenis bahan baku plastik yang ringan, densitas 0,90 – 0,92. Penggunaan bahan pengisi dan penguat memungkinkan *Polypropilene* memiliki mutu kimia yang baik sebagai bahan polimer dan tahan terhadap pemecahan karena tekanan (stress-cracking) walaupun pada temperatur tinggi. *Polypropylene* mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain yaitu 0,85-0,90, dan titik leleh yang cukup tinggi yaitu 190-200 °C. *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*chemical resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) yang rendah (Mujiarto,

2005). Kerapuhan polipropilena dibawah 0°C dapat dihilangkan dengan penggunaan bahan pengisi. Dengan bantuan pengisi dan penguat, akan terdapat adhesi yang baik.(Gachter, 1990).

2.2.1 Proses Pembuatan *Polypropylene*

Proses produksi *polypropylene* secara komersial dapat dilakukan dengan bermacam-macam metode yang dikelompokkan menjadi proses fase cair dan proses fase gas. Dengan mempertimbangkan kualitas produk tinggi yang akan dihasilkan dan kemudahan control proses, maka dipilih fase cair. Proses cair merupakan salah satu pelopor proses polimerisasi *polypropylene* (Winata, 2007).

Pada awalnya, untuk proses fase cair perlu digunakan pelarut. Namun, di kemudian hari ditemukan proses fase cair yang tidak memerlukan pelarut. Berikut merupakan macam-macam proses polimerisasi *polypropylene* (Sofiani & Hapsari, 2011):

1. Proses Hercules

Proses ini merupakan proses kontinu pertama dalam teknologi produksi *polypropylene*. Reaksi polimerisasi dilangsungkan dalam reaktor tangka berpengaduk yang tersusun seri. Pada proses ini digunakan katalis TiCl_3 , kokatalis $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$, dan pelarut kerosin.

2. Proses Spheripol

Dalam proses Spheripol, tahap polimerisasi dilakukan dalam reaktor loop tubular. Katalis yang digunakan adalah TiCl_4 dengan penyangga MgCl_2 . Kondisi operasi pada tahap polimerisasi umumnya pada temperatur $65\text{-}75^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 30-35 bar.

3. Proses Unipol

Proses ini menggunakan reaktor unggun terfluidakan yang tersusun secara seri. Temperatur operasi polimerisasi umumnya pada $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$ dengan tekanan 25-30 bar pada reaktor homopolimer dan tekanan 20 bar pada reaktor kopolimer. Katalis yang digunakan pada proses ini adalah TiCl_4 dengan penyangga MgCl_2 , kokatalis *Al-trialkil*, ditambah donor elektron berupa *alkylphthalate* dan *alkoxysilanes*.

2.2.2 Kegunaan *Polypropylene*

Polypropylene yang diproduksi secara komersial terdiri atas tiga jenis, yaitu Homopolimer, Kopolimer Random dan Kopolimer Impak. Produk yang dihasilkan tersebut dapat digunakan pada berbagai aplikasi. Aplikasi dari berbagai spesifikasi produk tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain (Winata, 2007).

1. BOPP (*Bioaxially Oriented Polypropylene*) Film

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

2. Yarn

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

3. IPP (*Inflation Polipropilen*) Film

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

4. *Injection Molding*

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

5. *Fiber*

Jenis ini digunakan untuk karpet, benang, dan karpet pelapis.

6. *Thermoforming*

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

7. *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.

2.3 Pirolisis

Pirolisis adalah proses perengkahan thermal (*Thermal Cracking*) atau pemecahan rantai hidrokarbon panjang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih kecil melalui bantuan panas. Pada reaksi pirolisis akan terjadi pemutusan ikatan rantai C-C pada hidrokarbon sehingga menjadi rantai yang lebih pendek. Pirolisis dilakukan pada reaktor dengan kondisi tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses ini biasanya berlangsung pada temperature antara 130 °C – 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 (Surono, 2013).

Proses ini secara umum berlangsung pada suhu 500-800°C. Pada suhu tersebut bahan polimer seperti plastik akan mengalami perubahan fase menjadi fase gas. Pada proses tersebut akan terjadi pemotongan rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek. Gas yang masih panas dilanjutkan dengan proses pendinginan sehingga gas terkondensasi menjadi cairan. Cairan ini adalah produk akhir dari pirolisis yang dapat dijadikan bahan bakar, baik berupa bensin maupun bahan bakar diesel (Syamsiro, 2015). Proses pirolisis ini hanya bisa terjadi ketika dalam sistem diberikan energi panas. Energi panas yang dibutuhkan dapat bersumber dari tenaga listrik maupun dari tungku pembakaran dengan bahan bakar berupa limbah kayu, serbuk gergaji, dan lain-lain (Wahyudi, Prayitno, & Astuti, 2018).

Ada beberapa tipe reaktor yang telah dikembangkan dan digunakan untuk pirolisis seperti *batch/semi batch*, reaktor unggun tetap (*fixed bed*) dan reaktor unggun terfluidisasi (*fluidized bed*). Reaktor tipe *batch/semi batch* telah digunakan oleh banyak peneliti karena desainnya lebih sederhana dan kemudahan dalam operasionalnya. Berikut penjelasan ketiga macam perengkahan tersebut.

Pirolisis plastik melibatkan tiga mekanisme dekomposisi, yaitu :

1. pemotongan secara random rantai polimer yang menyebabkan terbentuknya rantai polimer lebih pendek.
2. pemotongan pada ujung rantai dimana molekul kecil dan rantai panjang polimer akan terbentuk.
3. pemisahan rantai polimer membentuk molekul-molekul kecil.

2.3.1 Piroilisis Sampah Plastik

Mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak termasuk daur ulang tersier. Merubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dapat dilakukan dengan proses *cracking* (perekahan). *Cracking* adalah proses memecah rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses perekahan plastik ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Ada tiga macam proses perekahan yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Panda, 2011).

1. *Hydro Cracking*

Hydro cracking adalah proses cracking 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 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.

Penelitian tentang proses hydrocracking ini antara lain telah dilakukan oleh Rodiansono (2005) yang melakukan penelitian hydro cracking sampah plastik polipropilena menjadi bensin (hidrokarbon C5-C12) menggunakan katalis NiMo/Zeolit dan NiMo/Zeolit-Nb2O5. Proses hydro cracking dilakukan dalam reaktor semi alir (semi flow-fixed bed reactor) pada temperatur 300, 360, dan 400 °C; rasio katalis/umpan 0,17; 0,25; 0,5 dengan laju alir gas hidrogen 150 mL/jam. Uji aktivitas katalis NiMo/zeolite yang menghasilkan selektivitas produk C7-C8 tertinggi dicapai pada temperatur 360 °C dan rasio katalis/umpan 0,5. Kinerja katalis NiMo/zeolit menurun setelah pemakaian beberapa kali, tetapi dengan proses regenerasi kinerjanya bisa dikembalikan lagi.

Kelemahan proses hydrocracking ini adalah besarnya biaya operasional karna membutuhkan suhu yang tinggi dan katalis yang mahal.

2. *Thermal cracking*

Thermal cracking adalah termasuk proses pyrolysis, yaitu dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada

temperatur antara 130 °C sampai 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).

Bajus dan Hájeková, 2010, melakukan penelitian tentang pengolahan campuran 7 jenis plastik menjadi minyak dengan metode thermal cracking. Tujuh jenis plastik yang digunakan dalam penelitian ini dan komposisinya dalam persen berat adalah HDPE (34,6%) , LDPE (17,3%), LLPE (17,3%), PP (9,6%), PS (9,6%), PET (10,6%), dan PVC (1,1%). Penelitian ini menggunakan batch reactor dengan temperatur dari 200 sampai 350 °C. Dari penelitian ini diketahui bahwa thermal cracking pada campuran 7 jenis plastik akan menghasilkan produk yang berupa gas, minyak dan sisa yang berupa padatan. Adanya plastik jenis PS, PVC dan PET dalam campuran plastik yang diproses akan meningkatkan terbentuknya karbon monoksida dan karbon dioksida di dalam produk gasnya dan menambah kadar benzene, toluene, xylenes, styrene di dalam produk minyaknya.

Penelitian konversi sampah plastik jenis Polietilena khususnya kantong plastik telah banyak dilakukan dan telah mendapatkan berbagai kondisi operasi serta nilai rendemen yang dihasilkan. Tercatat sejak tahun 2012 Moinuddin Sarker dari Department of Research and Development Amerika Serikat, melakukan proses degradasi di dalam Reaktor Pirolisis pada suhu 150 °C dan rendemen yang dihasilkan mencapai 80%.

Pada tahun 2014, P. Premkumar dari Universitas Annamalainagar India, melakukan konversi dari sampah plastik jenis LDPE di dalam reaktor pirolisis pada suhu 150 °C dengan mendapatkan formasi bahan bakar cair sebesar 75%.

Menginjak pada tahun 2017, S.L. Wong dari Universitas Teknologi Malaysia melakukan pirolisis plastik jenis LDPE kantong plastik mendapatkan suhu optimal degradasi pada 152,3 °C dengan persen rendemen 68%.

3. *Catalytic cracking*

Cracking cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi peretakan. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Osueke dan Ofundu (2011) melakukan penelitian konversi plastik *Polypropylene*

menjadi minyak. Proses konversi dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan *thermal cracking* dan *catalyst cracking*. Pyrolysis dilakukan di dalam tabung stainless steel yang dipanaskan dengan elemen pemanas listrik dengan temperatur bervariasi antara 145 – 200 °C. Kondenser dengan temperatur 30 – 35 °C, digunakan untuk mengembunkan gas yang terbentuk setelah plastik dipanaskan menjadi minyak. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah silica alumina. Dari penelitian ini diketahui bahwa dengan temperatur pirolisis 150 °C dan perbandingan katalis/sampah plastik 1 : 4 dihasilkan minyak dengan jumlah paling banyak.

2.3.2 Faktor yang Mempengaruhi Pirolisis Sampah Plastik

Kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik juga dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain tipe reaktor, temperature dan waktu tinggal dan tekanan di dalam reaktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis antara lain waktu, temperature, ukuran partikel dan berat partikel.

Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis plastic mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda (Trianna dan Rochimoellah, 2002). 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).

Menurut Udyani, Ningsih, & Arif (2018), faktor-faktor atau parameter utama yang mempengaruhi proses pirolisis adalah:

1. 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 atau dengan kata lain pada energi yang sama bahan dengan kadar air tinggi menghasilkan gas yang lebih sedikit dari pada bahan dengan kadar air rendah.

2. Ukuran Partikel

Apabila ukuran partikel meningkat maka hasil dari padatan akan meningkat pula sedangkan hasil dari volatil dan gas akan menurun. Fenomena ini adalah kosekuensi dari penurunan temperatur pada setiap posisi radial dengan adanya peningkatan pada ukuran partikel. 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.

3. Laju pemanasan

Ketika laju pemanasan dinaikkan, maka padatan pada proses pirolisis akan menurun. Produk gas yang dihasilkan pada temperatur antara 200°C dan 400°C adalah CO dan CO₂. Ketika laju pemanasan meningkat maka gas CO, CO₂, CH₄, CH₃ akan meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan yang lebih tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon, 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, namun untuk hasil padatan cenderung konstan.

5. Bahan

Peningkatan jumlah plastik menghasilkan minyak yang lebih banyak, padatan lebih sedikit, dan hasil gas yang cenderung sama.

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.

7. Laju Nitrogen

Peningkatan dari laju nitrogen menyebabkan penurunan jumlah minyak dan peningkatan jumlah gas, sedangkan hasil padatan sedikit menurun.

8. Waktu tinggal padatan

Waktu tinggal padatan mempengaruhi jumlah hasil dari pirolisis, karena semakin lama bahan didalam reaktor maka padatan akan semakin terkomposisi menjadi minyak dan gas.

2.4 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dariminyak 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. Salah satu kekurangan bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan. 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

Karakteristik bahan bakar cair yang akan dipakai pada penggunaan tertentu untuk mesin atau peralatan lainnya perlu diketahui terlebih dahulu,

dengan maksud agar hasil pembakaran dapat tercapai secara optimal. Secara umum karakteristik bahan bakar cair yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

1. Berat Jenis, Specific Gravity, °API Gravity

Berat jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (Sukseswati, 2010).

Satuan SI massa jenis adalah kg/m^3 . Massa jenis berfungsi untuk menentukan suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Rumus untuk menentukan massa jenis adalah:

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

Dimana :

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa (kg)

v = volume (m^3)

Berat jenis dan °API Gravity menyatakan densitas atau berat persatuan volume sesuatu zat. °API Gravity dapat diukur dengan hidrometer (ASTM 287), sedangkan berat jenis dapat ditentukan dengan piknometer (ASTM D 941 dan D 1217). Pengukuran °API Gravity dengan hidrometer dinyatakan dengan angka 0-100. Hubungan °API Gravity dengan berat jenis adalah sebagai berikut

$$\text{°API Gravity} = \frac{141,5}{\text{Spesifik Gravity (60 °F)}} - 131,5$$

Satuan berat jenis dapat dinyatakan dengan lb/gal atau lb/barel atau m^3/ton . 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.

2. Nilai Kalor (Calorific Value)

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 (densitas). 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 (Wiratmaja, 2010). 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 kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada bomb calorimeter. Peralatan ini terdiri dari container stainless steel yang dikelilingi bak air yang besar. Bak air tersebut bertujuan meyakinkan bahwa temperatur akhir produk akan berada sedikit diatas temperatur awal reaktan, yaitu 25 0C. Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 adalah sebesar $\pm 10,500$ kkal/kg. Nilai kalori diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan british).

2.5 Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar minyak adalah jenis bahan bakar yang dihasilkan dari pengilangan (*refining*) minyak mentah atau *crude oil* (Manurung, 2017). Hasil dari pengolahan minyak mentah ini akan menghasilkan berbagai macam fraksi bahan bakar minyak yang memiliki kualitas yang berbeda-beda. Bahan bakar minyak adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat. Bahan bakar minyak dari fraksi minyak bumi biasa digunakan dalam industri, transportasi, maupun rumah tangga.

2.5.1 Jenis-jenis Bahan Bakar Minyak dan Spesifikasinya

Adapun jenis-jenis dari bahan bakar minyak diantaranya sebagai berikut:

1. Bensin

Bensin adalah hidrokarbon berantai pendek antara C_4 - C_{10} yang biasa digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor yang berbentuk cairan bening, agak kekuning-kuningan, dan berasal dari pengolahan minyak bumi yang sebagian besar digunakan sebagai bahan bakar di mesin pembakaran dalam. Bensin juga dapat digunakan sebagai pelarut, terutama karena kemampuannya yang dapat melarutkan cat. Sebagian besar bensin tersusun dari hidrokarbon alifatik yang diperkaya dengan iso-oktana atau benzena untuk menaikkan nilai oktan (Nasrun, Kurniawan, & Sari, 2015). Bensin memiliki beberapa jenis produk yang dibedakan berdasarkan RON (*Research Octane Number*) dan digunakan untuk kendaraan bermesin, antara lain sebagai berikut:

a. Premium

Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Premium merupakan BBM untuk kendaraan bermotor yang paling populer di Indonesia. Premium di Indonesia dipasarkan oleh Pertamina dengan harga yang relatif murah karena memperoleh subsidi dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara. Premium merupakan BBM dengan oktan atau *Research Octane Number* (RON) terendah di antara BBM untuk kendaraan bermotor lainnya, yakni hanya 88. Pada umumnya, Premium digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti: mobil, sepeda motor, motor tempel, dan lain-lain. Bahan bakar ini sering juga disebut *motor gasoline* atau petrol (Nasrun, Kurniawan, & Sari, 2015).

Bahan bakar jenis premium masih rentan terhadap pencemaran udara apabila kondisi mesin kurang baik, oleh karena itulah bahan bakar jenis ini sudah jarang digunakan pada mesin kendaraan bermotor. Adapun spesifikasi dari premium dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 88 (Premium)

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1.	Bilangan Oktana - Angka Oktana Riset (RON)	RON	88,0	-
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	360	-
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾
4.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/liter	-	0,013 ^{*)}
			Injeksi timbal tidak diizinkan	
5.	Kandungan Logam (Mn, Fe)	mg/l	Tidak terlacak ²⁾	
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ³⁾
7.	Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan	
8.	Kandungan Aromatik	% v/v	Dilaporkan	
9.	Kandungan Benzena	% v/v	Dilaporkan	
10.	Distilasi:			
	10% vol. Penguapan	°C	-	74
	50% vol. Penguapan	°C	75	125
	90% vol. Penguapan	°C	-	180
	Titik didih akhir	°C	-	215
	Residu	% vol	-	2,0
11.	Sedimen	mg/l	-	1
12.	Unwashed Gum	mg/100ml	-	70
13.	Washed Gum	mg/100ml	-	70
14.	Tekanan Uap	kPa	45	69
15.	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770
16.	Korosi bilah tembaga	merit	Kelas 1tif	
17.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002 ⁴⁾
18.	Penampilan visual		Jernih dan terang	
19.	Bau		Dapat dipasarkan	
20.	Warna		Kuning	

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

b. Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Pertalite merupakan bahan bakar *gasoline* yang memiliki angka oktan 90 serta berwarna hijau terang dan jernih. Bahan bakar pertalite yang memiliki angka oktan yang lebih tinggi daripada premium 88, sehingga lebih tepat digunakan untuk kendaraan bermesin bensin yang mampu menempuh jarak yang lebih jauh dengan tetap memastikan kualitas dan harga yang terjangkau. Spesifikasi bahan bakar pertalite terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1.	Angka Oktana Riset (RON)	RON	90,0	-
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	360	-
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
4.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	Dilaporkan (injeksi timbal tidak diijinkan)	
5.	Kandungan Logam (mangan (Mn), Besi (Fe))	mg/l	Tidak terdeteksi	
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7
7.	Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan	
8.	Kandungan Aromatik	% v/v		
9.	Kandungan Benzena	% v/v		
10.	Distilasi:			
	10% vol. Penguapan	°C	-	74
	50% vol. Penguapan	°C	88	125
	90% vol. Penguapan	°C	-	180
	Titik didih akhir	°C	-	215
	Residu	% vol	-	2,0
11.	Sedimen	mg/l	-	1
12.	Unwashed Gum	mg/100ml	-	70
13.	Washed Gum	mg/100ml	-	5
14.	Tekanan Uap	kPa	45	60
15.	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770
16.	Korosi bilah tembaga	merit	Kelas 1	
17.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002
18.	Penampilan visual		Jernih dan terang	
19.	Warna		Hijau	
20.	Kandungan Pewarna	gr/100 l	-	0,13

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

c. Bahan Bakar Bensin Jenis 92 (Pertamax)

Pertamax merupakan bahan bakar bensin dengan angka oktan minimal 92 berstandar international. Pertamax sangat direkomendasikan untuk digunakan pada kendaraan yang memiliki kompresi rasio 10:1 hingga 11:1 atau kendaraan berbahan bakar bensin yang menggunakan teknologi setara dengan *Electronic Fuel Injection* (EFI) (Pertamina Fuel Retail, 2019). Adapun spesifikasi bahan bakar pertamax turbo terdapat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 92 (Pertamax)

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1.	Bilangan Oktana Riset (RON)	RON	92,0	-
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾
4.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013 ²⁾
5.	Kandungan Logam (Mn, Fe, dll)	mg/l	-	-
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	-
7.	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ³⁾
9.	Kandungan Olefin	% v/v	-	⁴⁾
10.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	50,0
11.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0
12.	Distilasi:			
	10% vol. Penguapan	°C	-	70
	50% vol. Penguapan	°C	77	110
	90% vol. Penguapan	°C	130	180
	Titik didih akhir	°C	-	215
	Residu	% vol	-	2,0
13.	Sedimen	mg/l	-	1
14.	Unwashed Gum	mg/100ml	-	70
15.	Washed Gum	mg/100ml	-	5
16.	Tekanan Uap	kPa	45	60
17.	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770
18.	Korosi bilah tembaga	merit	Kelas 1	
19.	Uji Doctor		Negatif	
20.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002
21.	Penampilan visual		Jernih dan terang	
22.	Warna		Biru	
23.	Kandungan Pewarna	gr/100 l	-	0,13

(Sumber : Keputusan Direktur Jenderal Minyak & Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006)

d. Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Pertamax turbo adalah bahan bakar yang dikembangkan dengan formula *Ignition Boost Formula* (IBF) dengan angka oktan 98 untuk kesempurnaan performa kendaraan. Spesifikasi bahan bakar pertamax turbo terdapat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1.	Angka Oktana Riset (RON)	RON	98,0	-
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
4.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013
5.	Kandungan Logam (Mn, Fe, dll)	mg/l	Tidak terdeteksi	
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	Tidak terdeteksi	
7.	Kandungan Silikon	mg/kg	Tidak terdeteksi	
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7
9.	Kandungan Olefin	% v/v	-	*)
10.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	40,0
11.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0
12.	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	-	2,0
13.	Sedimen	mg/l	-	1
14.	Unwashed Gum	mg/100ml	-	70
15.	Washed Gum	mg/100ml	-	5
16.	Tekanan Uap	kPa	45	60
17.	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770
18.	Korosi bilah tembaga	merit	Kelas 1	
19.	Uji Doctor		Negatif	
20.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002
21.	Penampilan visual		Jernih dan terang	

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

2. Solar

Solar adalah fraksi dari pemanasan minyak bumi antara 250-340°C yang mempunyai panjang hidrokarbon antara C₁₆-C₂₀. Solar banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan yang menggunakan mesin diesel. Pada umumnya solar akan banyak mengandung belerang karena dibandingkan dengan bensin solar memiliki titik didih yang lebih tinggi. Kualitas dari solar ditentukan dengan bilangan setana, yaitu tingkat kemudahan minyak solar untuk menyala atau terbakar di dalam mesin diesel (Nasrun, Kurniawan, & Sari, 2015).

Minyak diesel atau solar adalah hasil penyulingan minyak yang berwarna hitam yang berbentuk cair pada temperatur rendah, biasanya memiliki kandungan sulfur yang rendah dan dapat diterima oleh *Medium Speed Diesel Engine* di sektor industri. Oleh karena itulah, diesel oil disebut juga *industrial diesel oil* (IDO) atau *Marine Diesel Fuel* (MDF). Spesifikasi dari minyak solar dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Spesifikasi Bahan Bakar Solar

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1.	Bilangan Cetana Angka Setana atau Indeks Setana	-	48	-
2.	Berat Jenis @ 15 °C	kg/m ³	815	860
3.	Viskositas @ 40 °C	mm ² /sec	2,0	4,5
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35 ¹⁾ 0,30 ²⁾ 0,25 ³⁾ 0,05 ⁴⁾ 0,005 ⁵⁾
5.	Distilasi 90% vol. penguapan	°C	-	370
6.	Titik Nyala	°C	52	-
7.	Titik Tuang	°C	-	18
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	500
10.	Biological Growth ^{*)}	-	Nihil	
11.	Kandungan FAME ^{*)}	% v/v	-	-
12.	Kandungan methanol ^{*)}	% v/v	Tak terdeteksi	
13.	Korosi Bilah Tembaga	merit	-	Kelas 1
14.	Kandungan Abu	% v/v	-	0,01
15.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01
16.	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0
17.	Bilangan Asam Total	mgKOH/gr	-	0,6
18.	Partikulat	mg/l	-	-
19.	Penampilan Visual	-	Jernih & Terang	
20.	Warna	No. ASTM	-	3,0
21.	Lubricity (HFRR wear scar dia. @60 °C)	micron	-	460 ⁶⁾

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

3. Minyak Tanah (Kerosin)

Minyak tanah atau kerosin adalah cairan hidrokarbon yang tak berwarna dan mudah terbakar yang diperoleh dengan cara distilasi fraksional dari petroleum pada 150°C dan 275°C dan mempunyai rantai karbon dari C₁₁ sampai C₁₅.

Biasanya, minyak tanah di distilasi langsung dari minyak mentah membutuhkan perawatan khusus, dalam sebuah unit Merox atau hidrotreater, untuk mengurangi kadar belerang dan pengaratannya. Minyak tanah dapat juga diproduksi oleh *hydrocracker*, yang digunakan untuk memperbaiki kualitas bagian dari minyak mentah yang akan bagus untuk bahan bakar minyak (Nasrun, Kurniawan, & Sari, 2015).

Penggunaan minyak tanah pada umumnya adalah untuk keperluan industri (seperti solvent) dan sebagian masih digunakan sebagai bahan bakar di rumah tangga (memasak, penerangan, dll). Spesifikasi dari minyak tanah atau kerosin dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Spesifikasi Minyak Tanah atau Kerosin

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1.	Densitas pada 15°C	kg/m ³	-	835
2.	Titik Asap	mm	15	-
3.	Nilai Jelaga (Char Value)	mg/kg	-	40
4.	Distilasi:			
	Perolehan pada 200°C	% vol	18	-
	Titik Akhir	°C	-	310
5.	Titik Nyala Abel	°C	38,0	-
6.	Kandungan Belerang	% massa	-	0,20
7.	Korosi Bilah Tembaga (3 jam/50°C)	-	-	No. 1
8.	Bau dan Warna	-	Dapat dipasarkan	

(Sumber: Pertamina Industrial Fuel Marketing, 2019)

4. Oli

Pelumas dapat didefinisikan sebagai suatu 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.

Minyak pelumas memiliki ciri-ciri fisik yang penting, antara lain:

a. *Viscosity*

Viscosity atau kekentalan suatu minyak pelumas adalah pengukuran dari mengalirnya bahan cair dari minyak pelumas, dihitung dalam ukuran standard.

Makin besar perlawanannya untuk mengalir, berarti makin tinggi *viscosity*-nya, begitu juga sebaliknya.

b. *Viscosity Index*

Tinggi rendahnya indeks ini menunjukkan ketahanan kekentalan minyak pelumas terhadap perubahan suhu. Makin tinggi angka indeks minyak pelumas, makin kecil perubahan *viscosity*-nya pada penurunan atau kenaikan suhu. Nilai *viscosity index* ini dibagi dalam 3 golongan, yaitu:

- HVI (*High Viscosity Index*) di atas 80.
- MVI (*Medium Viscosity Index*) 40 – 80.
- LVI (*Low Viscosity Index*) di bawah 40.

c. *Flash Point*

Flash point atau titik nyala merupakan suhu terendah pada waktu minyak pelumas menyala seketika. Pengukuran titik nyala ini menggunakan alat-alat yang standard, tetapi metodenya berlainan tergantung dari produk yang diukur titik nyalanya.

d. *Pour Point*

Merupakan suhu terendah dimana suatu cairan mulai tidak bisa mengalir dan kemudian menjadi beku. *Pour point* perlu diketahui untuk minyak pelumas yang dalam pemakaiannya mencapai suhu yang dingin atau bekerja pada lingkungan udara yang dingin.

e. *Total Base Number (TBN)*

Menunjukkan tinggi rendahnya ketahanan minyak pelumas terhadap pengaruh pengasaman, biasanya pada minyak pelumas baru (*fresh oil*). Setelah minyak pelumas tersebut dipakai dalam jangka waktu tertentu, maka nilai TBN ini akan menurun. Untuk mesin bensin atau diesel, penurunan TBN ini tidak boleh sedemikian rupa hingga kurang dari 1, lebih baik diganti dengan minyak pelumas baru, karena ketahanan dari minyak pelumas tersebut sudah tidak ada.

f. *Carbon Residue*

Merupakan jenis persentasi karbon yang mengendap apabila oli diuapkan pada suatu tes khusus.

g. *Density*

Menyatakan berat jenis oli pelumas pada kondisi dan temperatur tertentu.

h. *Emulsification* dan *Demulsibility*

Sifat pemisahan oli dengan air. Sifat ini perlu diperhatikan terhadap oli yang kemungkinan bersentuhan dengan air.

Selain ciri-ciri fisik yang penting seperti telah dijelaskan sebelumnya, minyak pelumas juga memiliki sifat-sifat penting, yaitu:

1. Sifat kebasaaan (*alkalinity*)

Untuk menetralsir asam-asam yang terbentuk karena pengaruh dari luar (gas buang) dan asam-asam yang terbentuk karena terjadinya oksidasi.

2. Sifat *detergency* dan *dispersancy*

Sifat *detergency* : Untuk membersihkan saluran-saluran maupun bagian-bagian dari mesin yang dilalui minyak pelumas, sehingga tidak terjadi penyumbatan.

Sifat *dispersancy* : Untuk menjadikan kotoran-kotoran yang dibawa oleh minyak pelumas tidak menjadi mengendap, yang lama-kelamaan dapat menjadi semacam lumpur (*sludge*). Dengan sifat *dispersancy* ini, kotoran-kotoran tadi dipecah menjadi partikel-partikel yang cukup halus serta diikat sedemikian rupa sehingga partikel-partikel tadi tetap mengembang di dalam minyak pelumas dan dapat dibawa di dalam peredarannya melalui sistem penyaringan. Partikel yang bisa tersaring oleh filter, akan tertahan dan dapat dibuang sewaktu diadakan pembersihan atau penggantian filter elemennya.

3. Sifat tahan terhadap oksidasi

Untuk mencegah minyak pelumas cepat beroksidasi dengan uap air yang pasti ada di dalam karter, yang pada waktu suhu mesin menjadi dingin akan berubah menjadi embun dan bercampur dengan minyak pelumas. Oksidasi ini akan mengakibatkan minyak pelumas menjadi lebih kental dari yang diharapkan, serta dengan adanya air dan belerang sisa pembakaran maka akan bereaksi menjadi H_2SO_4 yang sifatnya sangat korosif. Spesifikasi oli bekas dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 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 ³ pada 20°C
Kelarutan	Tidak larut dalam air

(Sumber: Muhammad Ismi Asyof, 2017)

2.7 Tempurung Kelapa

Sabut kelapa merupakan bahan berserat dengan ketebalan sekitar 5 cm, dan merupakan bagian terluar dari buah kelapa. Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Ukuran buah kelapa dipengaruhi oleh ukuran tempurung kelapa yang sangat dipengaruhi oleh usia dan perkembangan tumbuhan kelapa. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman, 1981).

Tempurung kelapa beratnya antara 15 – 19 % berat kelapa. Tempurung kelapa memiliki sifat difusi termal yang baik yang diakibatkan oleh tingginya kandungan selulosa dan lignin yang terdapat di dalam tempurung. Sebagian besar dipedesaan Sabut dan Tempurung Kelapa ini dimanfaatkan untuk bahan bakar, baik dalam bentuk tempurung kering atau arang tempurung. Heating Value dari tempurung kelapa adalah 70,368 kkal/kg dan kapasitas panasnya adalah 30,62 kkal/kg°C. Data komposisi kimia tempurung kelapa dapat kita lihat pada Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.11. Analisa ultimat tempurung kelapa

No.	Komponen	% berat
1.	C	47,59
2.	H	6,0
3.	O	45,52
4.	N	0,22
5.	S	0,05

(Sumber : vidian, 2008)