

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik merupakan senyawa sintesis dari minyak bumi (terutama hidrokarbon rantai pendek) yang dibuat dengan reaksi polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) yang sama, sehingga membentuk rantai panjang dan kaku dan akan menjadi padat setelah temperatur pembentukannya. Plastik memiliki titik didih dan titik beku yang beragam, tergantung dari monomer pembentuknya. *Etena* (C_2H_4), *propena* (C_3H_6), *styrene* (C_8H_8), *vinil klorida*, *nylon*, dan *karbonat* (CO_3) merupakan monomer yang sering digunakan. (Suroño, 2013)

Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya

2.1.1 Jenis Plastik

Plastik digolongkan menjadi beberapa golongan berdasarkan sifatnya. (Krisnadwi, 2019)

- a. Berdasarkan Sifat fisiknya:
 - Termoplastik. Merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), ABS, polikarbonat (PC). Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1
 - Termoset merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang/dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Contoh: resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea-formaldehida
- b. Berdasarkan kinerja dan penggunaannya:
 - Plastik komoditas; sifat mekanik tidak terlalu bagus, tidak tahan panas. Contohnya: PE, PS, ABS, PMMA, SAN. Aplikasi: barang-barang elektronik, pembungkus makanan, botol minuman

- Plastik teknik; tahan panas, temperatur operasi di atas 100 °C, sifat mekanik bagus. Contohnya: PA, POM, PC, PBT. Aplikasi: komponen otomotif dan elektronik.
 - Plastik teknik khusus; temperatur operasi di atas 150 °C, sifat mekanik sangat bagus (kekuatan tarik di atas 500 Kgf/cm²). Contohnya: PSF, PES, PAI, PAR. Aplikasi: komponen pesawat.
- c. Berdasarkan sumbernya:
- Polimer alami : kayu, kulit binatang, kapas, karet alam, rambut.
 - Polimer sintesis yang tidak terdapat secara alami: nylon, poliester, polipropilen, polistiren.

Tabel 2. 1 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaannya

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (Polyethylene terephthalate)	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (High-Density Polyetheene)	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, dan berbagai macam plastik tipis lainnya
5	PP (Polypropyle atau Polypropene)	Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6	PS (Polystyrene)	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, galon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, dan sikat gigi

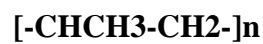
Sumber : (Surono, 2013)



Gambar 2. 1 Nomor Kode Plastik

Polypropylene (PP)

PP biasa botol transparan yang tidak jernih atau berawan. Polipropilen lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap, yang lentur, keras dan resisten terhadap lemak. Rumus molekulnya :

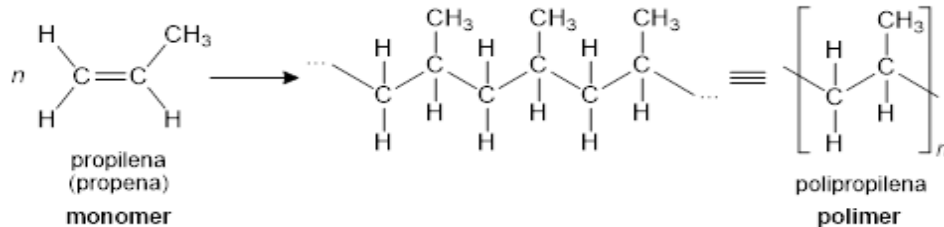


Jenis PP (polypropylene) ini adalah pilihan bahan plastik terbaik, terutama untuk tempat makanan dan minuman tutup botol obat, tube margarin, tutup lainnya, sedotan, mainan, tali, pakaian, dan berbagai macam botol. PP dapat diolah kembali menjadi garpu, sapu, nampan, dan lain-lain. Sifat-sifat propilena sangat tergantung pada berat molekul dan distribusi berat molekul, kristalinitas, jenis dan proporsi monomer dan kepadatan PP adalah 0,895-0,92 g/cm³, dengan demikian PP merupakan plastik standar yang memiliki kepadatan rendah.

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Polypropylene dibuat dari monomer-monomer propylene (CH₂=CHCH₃). Polypropylene mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190-200°C), sedangkan titik kristalisasinya mempunyai antara 130-135 °C. Polypropylene mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (chemical resistance) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (impact strength) rendah. Propilena mempunyai specific gravity rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. Hal ini membolehkan polipropilena digunakan sebagai pengganti berbagai plastik teknik, seperti ABS. Secara umum pembuatan polipropilena dibagi menjadi tiga jenis yaitu Polipropilinen homopolymer, Polipropilena random copolymer dan, Polipropilena impact copolymer. (karakteristik polypropylene, 2017)

Polipropilena memiliki permukaan yang tak rata, seringkali lebih kaku daripada beberapa plastik yang lain dan bisa dibuat translusen (bening) saat tak berwarna tapi tidak setransparan polistirena, akrilik maupun plastik tertentu

lainnya. Bisa pula dibuat buram atau berwarna-warni melalui penggunaan pigmen. Polipropilena lebih banyak keunggulan dibandingkan jenis plastik lainnya diantaranya tahan panas, fleksibel dan tidak mudah meleleh. (karakteristik polypropylene, 2017). Struktur bangun dari jenis plastik Polypropylene dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Rantai Polypropylene

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

Polipropilen adalah polimer dari propilen dan termasuk jenis plastik olefin.

Sifat-sifat dari polipropilen yaitu : (Naufan, 2016)

- a. Ringan (densitas 0.89-0,92 g/cm³)
- b. Mudah dibentuk
- c. 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.
- d. Tembus pandang dan jernih dalam bentuk film, tapi tidak transparan dalam bentuk kemasan kaku.
- e. Daya tembus (permeabilitasnya) terhadap uap air rendah, permeabilitas terhadap gas sedang, dan tidak baik untuk bahan pangan yang mudah rusak oleh oksigen.
- f. Propilena juga tahan lemak, asam kuat dan basa, sehingga baik untuk kemasan minyak dan sari buah. Pada suhu kamar tidak terpengaruh oleh pelarut kecuali HCL.
- g. 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.
- h. 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.
- i. Polipropilena memiliki resistensi yang sangat bagus terhadap kelelahan (bahan).

2.1.2 Sifat Termal Bahan Plastik

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang 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 perenggangan 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. (Landi & Arijanto, 2017)

Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik bisa dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2. 2 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

2.2 Pirolisis

Pirolisis merupakan suatu bentuk penguraian bahan organik secara kimia melalui pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya. Proses pirolisis atau devolatilisasi merupakan proses perengkahan plastik pada suhu tinggi dimulai pada temperature sekitar 230 °C. Produk cair yang menguap mengandung tar dan polyaromatic hydrocarbon. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar (*pyrolitic oil*) dan arang. (Wicaksono & Arijanto, 2017)

Ada tiga macam proses perengkahan yaitu *hidro cracking*, *thermal cracking*, dan *catalytic cracking*.

a. *Hydro cracking* adalah proses perengkahan 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.

b. *Thermal Cracking*

Pirolisis, disebut juga thermolisis (Yunani: pur = api, termos = hangat; luos = melonggarkan), adalah proses dekomposisi kimia dan termal, umumnya mengarah ke molekul yang lebih kecil. Thermolisis adalah istilah yang lebih tepat daripada pirolisis karena api menunjukkan adanya oksigen. Disebagian besar proses pirolisis udara dihilangkan untuk alasan keamanan, kualitas produk, dan yield. Pirolisis dapat dilakukan pada berbagai suhu, waktu reaksi, tekanan, dan dengan adanya atau tidak adanya gas atau cairan, dan katalis reaktif. Pirolisis plastik dapat di proses pada suhu rendah (<400 °C), menengah (400-600 °C) atau suhu tinggi (> 600 °C) dan umumnya dilakukan pada tekanan atmosfer. Keuntungan dari proses pirolisis/thermal cracking adalah :

- a) Volume sampah berkurang secara signifikan (<50-90%).
- b) Padat, cair, dan bahan bakar gas dapat diproduksi dari limbah.
- c) Bahan bakar atau bahan kimia yang diperoleh dapat disimpan / diangkut.
- d) Masalah lingkungan berkurang.
- e) Energi yang didapatkan dari proses diperoleh dari sumber-sumber terbarukan seperti sampah kota.
- f) Biaya modal rendah.

Dari proses thermal cracking akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene dan aromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi. Sebagai aturan umum semakin tinggi suhu pirolisis, semakin tinggi hasil produk gas noncondensable dan menurunkan yield bahan bakar cair seperti diesel. Kisaran suhu optimum untuk produksi produk diesel dari limbah plastik adalah 390-425 °C. Studi di sebuah reaktor tubular telah menekankan pentingnya waktu tinggal dengan suhu pirolisis yang tinggi untuk memperoleh hasil yang tinggi dari olefin ringan. Ada peningkatan drastis dalam yield gas dengan meningkatnya suhu pirolisis. Komposisi dari minyak pirolisis juga berubah dengan temperatur pirolisis, umumnya mengandung senyawa alifatik lebih besar pada suhu yang lebih rendah dari pada suhu yang lebih tinggi di mana senyawa aromatik adalah senyawa yang dominan. Empat jenis mekanisme pirolisis plastik yaitu:

- a) Pemotongan rantai akhir atau depolimerisasi: polimer ini rusak dari gugus akhir berturut-turut menghasilkan monomer yang sesuai.
- b) Pemotongan rantai secara acak: Rantai polimer dipecah secara acak ke dalam fragmen tidak merata panjang.
- c) Pelucutan rantai: penghapusan pengganti yang reaktif atau kelompok samping pada rantai polimer, mengarah ke evolusi produk cracking di satu sisi, dan rantai polimer charring pada lainnya.
- d) Penghubung silang : Pembentukan jaringan rantai, yang sering terjadi untuk polimer thermosetting ketika dipanaskan.

c. *Catalytic Cracking*,

Catalytic Cracking merupakan proses cracking yang menggunakan katalis untuk melakukan reaksi perengkahan, dimana dengan adanya katalis dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Hasil proses distribusi produk jauh lebih sedikit dari nomor atom karbon dan puncaknya pada hidrokarbon ringan yang terjadi pada suhu yang lebih rendah. Biaya harus dikurangi untuk membuat proses lebih menarik dari perspektif ekonomi. Penggunaan kembali katalis dan penggunaan katalis yang efektif dalam jumlah yang lebih kecil dapat mengoptimalkan pilihan ini. Proses ini dapat dikembangkan dengan biaya yang efisien dengan menggunakan proses daur ulang polimer komersial untuk

memecahkan masalah lingkungan dari pembuangan limbah plastik. Proses ini juga memiliki kemampuan cracking lebih tinggi pada plastik dan lebih rendah pada konsentrasi residu padat dalam produk.

Daur ulang katalitik telah terbukti secara signifikan lebih efisien daripada thermal craking, terutama untuk PP. Degradasi plastik mengarah pada pembentukan gas, cairan, dan residu. Dalam degradasi PS, coke juga dibentuk. Katalis heterogen lebih mudah terpisah dari medium reaksi namun katalis ini kesulitan dalam penonaktifan karena dapat menjadi coke, sedangkan katalis homogen sulit untuk dikeluarkan dari produk akhir dan akibatnya katalis tersebut lebih mudah menjadi lumpur. Efek utama 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 C5-C10 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.

Pada sistem katalis, ada 2 jenis sistem katalis yaitu homogen dan heterogen, secara umum, katalis heterogen yang disukai karena pemisahan mudah dan pemulihandari medium yang bereaksi. Katalis homogen yang digunakan untuk degradasi poliolefin kebanyakan asam lewis seperti $AlCl_3$, metal tetrakloroaluminat, dan katalis baru berbasis cairan organik ionik.

Beberapa variasi katalis heterogen telah diuji pada Catalytic cracking dari poliolefin yang dapat digolongkan sebagai berikut:

- Padatan asam konvensional
Zeolit alam, alumina, silika gel, karbon aktif dan kaolin. Sonawane et al menyimpulkan, pirolisis limbah HDPE memberikan hasil dalam bentuk bahan bakar cair, gas dan residu lilin. Dipirolisis pada kisaran suhu 450-550 °C memberikan persen minyak maksimum dan lebih sedikit hasil jenis lilin. Pada suhu 500 °C, tingkat minyak yang diperoleh sangat cepat. Dengan menggunakan katalis dalam proses pirolisis, waktu reaksi dapat diminimalkan

menjadi satu jam untuk 200-300 gram sampah plastik. Porsen minyak dapat ditingkatkan dan kuantitas lilin dapat dikurangi dengan bantuan katalis. Minyak yang diperoleh dari katalitik pirolisis memiliki nilai kalori yang lebih tinggi (33.494 – 36.425 KJ / Kg) dibandingkan dengan pirolisis tanpa katalis (30.145 – 30.563 KJ / Kg). Hasil yang diperoleh dengan alumina lebih tinggi dari zeolit alam dan nilai kalor dengan katalis alumina juga lebih tinggi sehingga alumina adalah katalis yang lebih baik. Minyak yang diperoleh dengan alumina dan zeolit alam memiliki fraksi hidrokarbon dari C4 ke C37. Minyak yang diperoleh dengan alumina memiliki berbagai jenis hidrokarbon dan menunjukkan adanya bensin, minyak tanah, dan fraksi diesel. Gonzales et al meneliti tentang pengaruh penggunaan beberapa jenis katalis pada degradasi katalitik polietilen. Perbedaan jenis katalis mempengaruhi suhu yang diperlukan untuk didapatkan konversi maksimum. Penggunaan katalis silika gel mencapai konversi maksimum pada suhu 450 °C. Fraksi gas yang didapatkan pada pemecahan dengan silika gel mempunyai komposisi metana tertinggi yaitu 34 % dan Penggunaan katalis Karbon aktif merupakan katalis yang paling baik untuk degradasi PE dan mendapatkan kualitas komponen aromatik yang tinggi sebagai katalis terbaik untuk degradasi katalitik limbah PE dimana suhu optimum untuk reaksi katalitik adalah 450 °C. Achyut et al menyimpulkan kaolin ditemukan sebagai katalis yang efisien untuk konversi limbah polipropilena menjadi bensin / solar / minyak tanah. Hal ini meningkatkan hasil minyak dan laju reaksi pirolitik. Selain itu, kualitas minyak yang dihasilkan dari katalis kaolin reaksi pirolisis polipropilena lebih baik dibandingkan dengan yang dihasilkan dari pirolisis termal. Hasil minyak maksimum dalam proses katalitik adalah 87,5% dengan 3:1 plastik dengan umpan katalis pada 500 °C. Selain itu, dapat digunakan kembali berulang kali tanpa banyak mempengaruhi kualitas minyak. Katalis yang digunakan dapat diregenerasi dan kinerja katalis regenerasi ditemukan bahwa sama seperti yang dari kaolin segar. Kaolin alam yang tersedia berlimpah bisa menjadi katalis yang baik untuk aplikasi komersial pada degradasi polipropilena.

- Katalis mesostruktur

MCM-41 Aguado et al meneliti tentang konversi katalitik poliolefin jenis LDPE dan HDPE menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan katalis MCM-41 dan zeolit. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa MCM-41 menghasilkan produk cairan lebih banyak dengan titik didih bensin C5 – C12 dan C3– C22. MCM-41 mempunyai luas permukaan yang besar walaupun punya keasaman yang lebih rendah daripada zeolit.

Mekanisme reaksi catalytic cracking dari rantai polimer sama dengan jalur dari catalytic cracking hidrokarbon di pabrik penyulingan minyak bumi. Mekanisme ini telah dipelajari selama beberapa tahun. Proses catalytic cracking berlangsung pada suhu yang cukup tinggi untuk memiliki reaksi paralel thermal cracking. Mekanisme catalytic cracking hidrokarbon berupa reaksi ion, seperti pada katalis jenis zeolit memiliki pusat bronsted asam kuat, yang akan mentransfer ion hidrogen ke rantai polimer.

Menurut kondisi operasinya, proses pirolisis dapat dibagi dalam 3 jenis kategori yang dijelaskan sebagai berikut : (Wicaksono & Arijanto, 2017)

1. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan suhu 226,85°C - 676,85°C, proses ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

2. Pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pirolisis ini dilakukan pada pemanasan suhu 576,85°C-976,85°C dengan temperatur lebih tinggi maka gas yang ditimbulkan akan meningkat dan cairan yang dihasilkan semakin banyak dibanding dengan proses pirolisis lambat.

3. *Flash* Pirolisis

Pirolisis ini dilakukan pada pemanasan 776,85°C-1026,85°C dengan temperatur semakin tinggi maka gas yang ditimbulkan akan lebih meningkat dan cairan yang dihasilkan semakin banyak dibanding dengan pirolisis cepat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi pirolisis adalah sebagai berikut :
(Ramadhan & Ali, 2015)

1. Suhu

Suhu memiliki pengaruh yang besar dalam proses pirolisis. Semakin tinggi temperatur maka semakin banyak gas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan

bahan baku padatan akan menguap dan berubah mejadi gas sehingga berat dari padatan bahan baku akan berkurang. Namun, semakin tinggi temperatur akan membuat produk minyak yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan temperatur yang tinggi dapat merubah hidrokarbon rantai panjang dan sedang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang pendek. Jika rantai hidrokarbon sangat pendek, maka diperoleh hasil gas yang tidak dapat dikondensasi. Data temperatur leleh dari berbagai jenis plastik dapat dilihat tabel 2.4

Tabel 2. 3 Temperatur Leleh Termoplastik

Material	Processing Temperature Rate (⁰ C)
ABS	180-240
ACETAL	185-225
ACRYLIC	180-250
NYLON	260-290
POLY CARBONAT	280-310
LDPE	160-240
HDPE	200-280
PP	200-300
PS	180-260
PVC	160-180

Sumber : (Manurung, 2017)

2. Waktu reaksi

Dalam kondisi vakum, waktu reaksi yang lama akan menyebabkan produk pirolisis menjadi gas. Karena semakin lama waktunya maka akan membuat hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek.

3. Laju Pemanasan

Laju pemanasan sangat mempengaruhi hasil dari produk pirolisis yang didapatkan. Pada kondisi kerja bertekanan lingkungan, semakin tinggi laju reaksi pada pirolisis maka akan mendapatkan jumlah minyak yang banyak.

Pada proses pirolisis terdapat tahapan-tahapan dekomposisi yang terjadi dari setiap temperaturnya. Dekomposisi proses pirolisis dijabarkan dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Dekomposisi Proses Pirolisis Dari Temperatur Rendah Ke Temperatur Tinggi

Temperatur	Keterangan
100°C s/d 200°C	Pengeringan dengan pemanasan
250 °C	Hilangnya cairan dan karbondioksida
340°C	Putusnya rantai karbon makromolekul
380°C	Tahap pirolisis
400°C	Pecahnya rantai C-O dan H
400°C s/d 600°C	Konversi komponen dalam hal ini untuk menghasilkan produk pirolisis cair
600°C	Pemecahan komponen untuk menghasilkan komponen yang stabil (gas, hidrokarbon rantai pendek)

Sumber : (Mahfud H, 2017)

2.3 Karakteristik Bahan Bakar Cair

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. Berikut karakteristik bahan bakar cair secara umum yang perlu diketahui : (A Hardjono, 2015)

a. Viskositas

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan / hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukurannya tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir. Demikian sebaliknya makin rendah viskositas minyak makin encer dan lebih mudah minyak untuk mengalir, cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viscometer yang digunakan, dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran. Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit

dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.

b. Titik Nyala

Titik nyala (flash point) adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel atau ketel uap.

c. Berat jenis, *Specific Gravity*, °API Gravity

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 D941 dan D 1217). Hubungan , °API Gravity dengan berat jenis adalah sebagai berikut :

(Kharissa, 2018)

$$^{\circ}\text{API Gravity} = \frac{141,5}{\text{Specific Gravity (60 }^{\circ}\text{F)}} - 131,5 \quad (\text{Kern, 1965})$$

Satuan berat jenis dapat dinyatakan dengan lb/gal atau lb/barel atau m³/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 rendah.

d. Nilai Kalor (Calorific Value)

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas / kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/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. 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 oksigen bertekanan pada bomb calorimeter.

e. Angka Oktan

Angka Oktan adalah suatu angka yang menyatakan kemampuan bahan bakar minyak (khususnya mogas) dalam menahan tekanan kompresi untuk mencegah gasoline terbakar sebelum busi menyala mencegah terjadinya denotasi dalam mesin bensin. Angka oktan mewakili suatu perbandingan antar n-heptana yang memiliki angka oktan nol dan iso-oktana yang memiliki angka oktan seratus. Angka oktan diperlukan karena berhubungan dengan kemajuan teknologi permesinan, yang mempunyai kecenderungan menaikkan perbandingan kompresi untuk meningkatkan power output, yang mana membutuhkan gasoline dengan angka oktan yang tinggi.

2.4 Jenis-Jenis Bahan Bakar Cair

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. 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 :

1. 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. Solar merupakan bahan bakar kendaraan bermesin diesel. Rumus kimia solar yaitu $C_{16}H_{34}$, memiliki karakteristik berwarna orange, titik nyala pada 60 °C, densitas pada 30 °C g/cc yaitu

0,83 s/d 0,88, nilai kalor sebesar 46500 kJ/kg, angka cetan yaitu 55. (Wicaksono & Arijanto, 2017) Spesifikasi bahan bakar solar dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2. 5 Bahan Bakar Minyak Jenis Solar 48

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min.	Maks.	
Bilangan Cetana	-	48	-	D 613
Angka Setana	-	45	-	D 4737
Indeks Setana	-	815	860	D 4052
Berat Jenis, 15 C	kg/m ³	2	4,5	D 445
Viskositas, 40 C	mm ² /sec	-	0,35	
		-	0,3	
Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,25	D2622/D 5453
		-	0,05	
		-	0,005	
Distilasi 90 vol.penguapan	% °C	-	370	D 86
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. Bahan Bakar Bensin

Bensin adalah campuran kompleks yang terutama terdiri dari senyawa-senyawa hidrokarbon, yang mempunyai daerah didih ASTM sekitar 40-180°C, dan digunakan sebagai bahan bakar mesin motor bakar. Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus, mulai dari C7 (heptana) sampai dengan C11.

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 (C₈), 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. (A Hardjono, 2015)

Berikut ini merupakan beberapa jenis bensin berdasarkan perbedaan bilangan oktan :

a. Bahan Bakar Bensin Jenis 88 (Premium)

Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (dye). Premium merupakan BBM untuk kendaraan bermotor yang paling populer di Indonesia. Premium merupakan BBM dengan oktan atau *Research Octane Number* (RON) terendah di antara BBM untuk kendaraan bermotor lainnya, yakni 88. Bahan bakar ini sering disebut juga motor gasoline atau petrol. Dari sisi teknologi, penggunaan premium dalam mesin berkompresi tinggi, akan menyebabkan mesin mengalami knocking atau ngelitik. Sebab, premium di dalam mesin kendaraan akan terbakar dan meledak tidak sesuai dengan gerakan piston. Penggunaan premium pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti : mobil, sepeda motor, motor tempel, dan lain-lain. Premium memiliki bilangan oktan 88, dengan massa jenis 0,68 kg/L, nilai kalor sebesar 47,3 kJ/kg (Wicaksono & Ariyanto, 2017) Spesifikasi bahan bakar jenis premium dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2. 6 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	
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 ³	715	770	D 4052/D 1298
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 Direktora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 28.K/10/DJM.T/2016)

b. Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Pertalite merupakan bahan bakar gasoline yang memiliki angka oktan 90 serta berwarna hijau terang dan jernih ini sangat tepat digunakan oleh kendaraan dengan kompresi 9:1 hingga 10:1. Bahan bakar Pertalite memiliki angka oktan yang lebih tinggi daripada bahan bakar Premium 88 sehingga lebih tepat digunakan untuk kendaraan bermesin bensin yang saat ini beredar di Indonesia. (Fuel Retail, 2019). Spesifikasi bahan bakar bensin jenis pertalite dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2. 7 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
		Injeksi timbal tidak diizinkan	
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
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 ³	715	770
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: 28.K/10/DJM.T/2016)

c. Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Dengan ecosave technology, Pertamax mampu membersihkan bagian dalam mesin (*detergency*), Pertamax juga dilengkapi dengan pelindung anti karat pada dinding tangki kendaraan, saluran bahan bakar dan ruang bakar mesin (*corrothion inhibitor*), serta mampu menjaga kemurnian bahan bakar dari campuran air sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna (*demulsifier*). Pertamax turbo dikembangkan dengan formula yang disebut Ignition Boost Formula (IBF) dengan angka oktan 98, dan kadar sulfur rendah sehingga tidak merusak kualitas udara di sekitar kita. (Fuel Retail, 2019). Adapun spesifikasi dari Pertamax Turbo dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut :

Tabel 2. 8 Spesifikasi 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
Kandungan Fosfor	mg/l	Injeksi timbal tidak diizinkan 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
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70
Tekanan Uap	kPa	45	60
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
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)

3. Kerosin (Minyak Tanah)

Kerosin adalah cairan hidrokarbon yang tak berwarna dan mudah terbakar. Kerosin ialah fraksi minyak bumi yang mempunyai daerah didih sekitar 150-300 °C. mempunyai flash point diatas 38°C (100°F). Pada suatu waktu dia banyak digunakan dalam lampu minyak, tetapi sekarang utamanya digunakan sebagai Avtur, Jet-A, Jet-B, JP-4, JP-8. Minyak tanah atau kerosin didistilasi 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 hidrocracker, yang digunakan untuk memperbaiki kualitas bagian dari minyak tanah yang akan bagus untuk bahan bakar minyak. Kerosin (minyak tanah) adalah fraksi minyak bumi yang lebih berat dari Migas, nilai kalor untuk minyak tanah yaitu 10.478,95 Kcal/kg. (A Hardjono, 2015) Adapun spesifikasi dari bahan bakar kerosin dapat dilihat pada tabel 2.10 berikut :

Tabel 2. 9 Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Kerosin

Sifat	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min	Max	
Densitas pada 15°C	Kg/m ³	-	835	D 1298
Titik Asap	mm	15	-	D 1322
Nilai Jelaga (Char Value)	Mg/kg	-	40	IP 10
Distilasi:				D 86
Perolehan pada 200°C	% vol	18	-	-
Titik Akhir	°C	-	310	-
Titik Nyala Abel	°C	38	-	IP 170
Titik didih akhir	°C	-	215	
Kandungan Belerang	% massa		0,20	D 1266
Korosi Bilah Tembaga (3jam/50°C)	-	-	No. 1	D 130
Bau dan Warna			Dapat dipasarkan	

(Sumber : Keputusan Direktora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 0177.K/10/DJM.T/2007)

2.5 Oli Bekas

Oli merupakan sisa dari produk-produk minyak bumi yang lain. Beberapa produk sisa adalah minyak bakar residu, minyak bakar untuk diesel, road oil, spray

oil, coke, asphalt, dll. Oli digunakan sebagai minyak pelumas pada kendaraan, namun limbahnya yaitu oli bekas belum ada penanganan yang tepat sehingga oli bekas tersebut dapat mencemari lingkungan. Oli mengandung lapisan-lapisan halus, berfungsi mencegah terjadinya benturan antar logam dengan logam komponen mesin seminimal mungkin, mencegah goresan atau keausan, serta sebagai pendingin dan penyekat. Rumus kimia dari oli yaitu $C_{20}H_{42}$. (Amri, Hamri, & Sofyan, 2017) Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Hardjono pada tahun 2010 nilai kalor dari oli bekas adalah 10.684,912 kcal/kg. Pada penelitian Amri dkk dilakukan pencampuran oli bekas dengan minyak tanah dengan perbandingan 50:50 menghasilkan waktu penyalaan api selama 6-7 menit dengan volume 100 cc pada kompor bertekanan. (Amri, Hamri, & Sofyan, 2017) Adapun spesifikasi dari oli bekas dilihat pada tabel 2.11

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

Minyak pelumas memiliki ciri-ciri fisik yang penting, antara lain: (Novrialdi, 2014)

1. *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.

2. *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.

3. *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.

4. *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.

5. *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.

6. *Carbon Residue*

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

7. *Density*

Menyatakan berat jenis oli pelumas pada kondisi dan temperatur tertentu.

8. *Emulsification dan Demulsibility*

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