

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum pembahasan yang lebih diutamakan dalam bab ini adalah pengertian dari pada plastik, kegunaan dan kelemahan dari plastik, pengkodean plastik, metode yang dilakukan dalam pengolahan sampah plastik, jenis sampah plastik yang akan diolah menjadi bahan bakar cair alternatif, pengertian dari pirolisis, serta karakteristik produk yang dihasilkan dari metode yang diterapkan dalam mengelolah sampah plastik.

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. *Ethene* (C_2H_4), *propene* (C_3H_6), *styrene* (C_8H_8), *vinyl chloride*, *nylon*, dan *carbonate* (CO_3) merupakan monomer yang sering digunakan. Plastik merupakan senyawa polimer yang penamaannya sesuai dengan nama monomer nya dan diberi awalan poli-. Contohnya adalah plastik yang terbentuk dari monomer-monomer *propena*, namanya adalah *polipropilena* (Miskah dkk, 2016).

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 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 (Kumar *et al.* 2011).

Hampir setiap plastik sulit untuk diuraikan. Ikatan karbon rantai panjang dan tingkat kestabilan tinggi yang dimiliki oleh plastik sama sekali tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Plastik sangat mudah terbakar, sehingga hasil

pembakaran bahan plastik sangat berbahaya karena mengandung gas-gas beracun seperti hidrogen sulfida (HCN) dan karbon monoksida (CO).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting* (Untoro Budi Surono, 2013). *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan dipanaskan.

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Sedangkan *thermosetting* plastik yang melunak bila dipanaskan dan dapat dibentuk, tapi mengeras secara permanen, mereka hangus/hancur bila dipanaskan. Kebanyakan material komposit modern menggunakan plastik *thermosetting*, yang biasanya disebut resin. Plastik termosetting berwujud cair. Kelebihan dari plastik jenis ini adalah ketahanan zat kimia yang baik meskipun berada dalam lingkungan yang ekstrim (NAUFAN, 2016). Adapun keunggulan dan kelemahan plastik dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Keunggulan

- | | |
|----------------|---------------------------------------|
| 1. Kuat | 5. Tidak mudah pecah |
| 2. Ringan | 6. Mudah diberi warna |
| 3. Fleksibel | 7. Mudah dibentuk |
| 4. Tahan karat | 8. Isolator panas / listrik yang baik |

b. Kelemahan

1. Beberapa jenis plastik tidak tahan panas.
2. Beberapa jenis plastik membutuhkan waktu puluhan hingga ratusan tahun untuk terurai secara alami (*non-biodegradable*).
3. Jika tidak digunakan sesuai fungsinya, bahan-bahan kimia yang terkandung dalam plastik dapat membahayakan kesehatan.

2.1.1. Sampah Plastik

Sampah plastik adalah salah satu sumber pencemaran lingkungan hidup yang sangat sulit diatasi. Meski demikian plastik tidak dapat tergantikan dalam kehidupan sehari-hari dengan kegunaan yang dimilikinya. Oleh sebab itu

penanggulangan sampah plastik perlu diperhatikan guna mencegah pencemaran lingkungan akibat sampah plastik tersebut. Menurut (Ermawati, 2011), proses pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak meliputi beberapa tahapan/proses meliputi :

a. Proses Pirolisis

Pirolisis adalah teknik pembakaran sampah (limbah plastik) tanpa O_2 dan dilakukan pada suhu tinggi, yaitu antara $800^{\circ}C$ sampai dengan $1000^{\circ}C$. Teknik ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan. Teknologi pirolisis ini dapat dikatakan sebagai metode yang ramah lingkungan sebab produk akhirnya menghasilkan CO_2 dan H_2O yang merupakan gas non toksik. Proses pirolisis menghasilkan senyawa-senyawa hidrokarbon cair mulai dari C_1 sampai dengan C_4 dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin.

b. Proses *Hydrotreating* / *Hydrocracking*.

Hydrotreating / *Hydrocracking* adalah proses penyulingan untuk memisahkan unsur-unsur yang dihasilkan pada proses pirolisis. Proses ini bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan senyawa aromatik dan senyawa polar.

c. Proses *Hydro*-Isomerasi

Pada proses ini digunakan katalis khusus yang berfungsi menjadikan molekul-molekul isomer mempunyai viskositas yang tinggi.

2.1.2. Jenis Plastik

Plastik dapat digolongkan berdasarkan (Manurung, 2017) :

1. Sifat Fisiknya

a. *Termoplastik*

Merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang / dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang.

Contoh : polietilen (PE), polistiren (PS), akrilonitril butadiene stiren (ABS), polikarbonat (PC).

b. *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.

2. Kinerja dan Penggunaannya

a. Plastik Komoditas

Sifat mekanik tidak terlalu bagus, tidak tahan panas.

Contoh : polietilen (PE), polistiren (PS), akrilonitril butadiene stiren (ABS), poli metal metakrilat (PMMA), stirena akrilonitril (SAN)

Aplikasi : barang-barang elektronik, pembungkus makanan, botol minuman

b. Plastik Teknik

Tahan panas, temperatur operasi di atas 100°C dan sifat mekanik bagus.

Contoh : *poliamide* (PA), *polioksimetilen* (POM), *poli karbonat* (PC), *polibutilena tereftalat* (PBT).

Aplikasi : komponen otomotif dan elektronik.

c. Plastik Teknik Khusus

Temperatur operasi di atas 150°C , sifat mekanik sangat bagus (kekuatan tarik di atas 500 kgf/cm^2).

Contohnya : *polisulfon* (PES).

Aplikasi: komponen pesawat

2.1.3. Pengkodean dan Arti Simbol Pada Kemasan Plastik

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

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 materi. Simbol ini dibentuk berdasar atas Sistem internasional koding plastik dan lazim digambarkan sebagai angka (dari 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 jurnal plastik sebagai kemasan pangan pengkodean dan arti simbol pada kemasan plastik dapat diuraikan sebagai berikut :

1.  PET, PETE (*Polyethylene terephthalate*).

Bersifat jernih dan transparan, kuat, tahan pelarut, kedap gas dan air, melunak pada suhu 80°C. Tidak untuk air hangat apa lagi panas. Untuk jenis ini, disarankan hanya untuk satu kali penggunaan dan tidak untuk mewadahi pangan dengan suhu > 60°C. Biasanya digunakan untuk botol minuman, minyak goreng, kecap, sambal, obat.

2.  HDPE (*High Density Polyethylene*).

Bersifat keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, dapat ditembus gas, permukaan, berlilin, buram, mudah diwarnai, diproses dan dibentuk, melunak pada suhu 75°C. Disarankan hanya untuk satu kali penggunaan karena jika digunakan berulang kali di khawatirkan bahan penyusunnya lebih mudah bermigrasi ke dalam pangan. Biasanya digunakan untuk botol susu cair, jus, minuman, wadah es krim, kantong belanja, obat, tutup plastik.

3.  PVC (*Polyvinyl chloride*).

Plastik ini sulit didaur ulang. Bersifat lebih tahan terhadap senyawa kimia. Plastik jenis ini sebaiknya tidak untuk mewadahi pangan yang mengandung

lemak / minyak, alkohol dan dalam kondisi panas. Biasanya digunakan untuk botol kecap, botol sambal, baki, plastik pembungkus.

4.  LDPE (*Low Density Polyethylene*).

Bahan mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, tidak jernih tetapi tembus cahaya, melunak pada suhu 70°C. Plastik ini sebaiknya tidak digunakan kontak langsung dengan pangan. Biasanya digunakan untuk botol madu, wadah yogurt, kantong kresek, plastik tipis.

5.  PP (*Polypropylene*).

Ciri-ciri plastik jenis ini biasanya transparan tetapi tidak jernih atau berawan, keras tetapi fleksibel, kuat, permukaan berkilin, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140°C. Merupakan pilihan bahan plastik yang baik untuk kemasan pangan, tempat obat, botol susu.

6.  PS (*Polystyrene*).

Terdapat dua macam PS, yaitu yang kaku dan lunak / berbentuk foam. PS yang kaku biasanya jernih seperti kaca, kaku, getas, mudah terpengaruh lemak dan pelarut (seperti alkohol), mudah dibentuk, melunak pada suhu 95°C. PS yang lunak berbentuk seperti busa, biasanya berwarna putih, lunak, getas, mudah terpengaruh lemak dan pelarut lain (seperti alkohol). Bahan ini dapat melepaskan styrene jika kontak dengan pangan. Biasanya digunakan sebagai wadah makanan atau minuman sekali pakai, wadah CD, karton wadah telur, dll. Kemasan styrofoam sebaiknya tidak digunakan dalam *microwave*. Kemasan *styrofoam* yang rusak/berubah bentuk sebaiknya tidak digunakan untuk mewadahi makanan berlemak / berminyak terutama dalam keadaan panas.

- PS yang kaku.

Contoh : wadah plastik bening berbentuk kotak untuk wadah makanan.

- PS yang lunak.

Contoh : styrofoam.

7.  *Other (Polycarbonat, bio-based plastic, co-polyester acrylic, polyamide, dan campuran plastik).*

Bersifat keras, jernih dan secara termal sangat stabil. Bahan *Polycarbonat* dapat melepaskan *Bisphenol-A* (BPA) ke dalam pangan, yang dapat merusak sistem hormon. Untuk mensterilkan botol susu, sebaiknya direndam saja dalam air mendidih dan tidak direbus. Botol yang sudah retak sebaiknya tidak digunakan lagi. Pilih galon air minum yang jernih, dan hindari yang berwarna tua atau hijau. Biasanya digunakan untuk galon air minum, botol susu, peralatan makan bayi.

8. Melamin

Termasuk dalam golongan plastik termoset atau plastik yang tidak dapat didaur ulang. Bersifat keras, kuat, mudah diwarnai, bebas rasa dan bau, tahan terhadap pelarut dan noda, kurang tahan terhadap asam dan alkali. Terbuat dari resin (bahan pembuat plastik) dan formaldehid atau formalin. Kandungan formalin pada melamin dapat bermigrasi ke dalam pangan, terutama jika produk pangan dalam keadaan panas, asam dan mengandung minyak. Melamin yang tidak memenuhi syarat sebaiknya tidak digunakan untuk mewadahi pangan yang berair, mengandung asam, terlebih dalam kondisi panas. Biasanya digunakan sebagai peralatan makan, misalnya piring, cangkir, sendok, garpu, sendok nasi, dll.

2.2. Pirolisis

Pirolisis adalah proses *dekomposisi* suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses *dekomposisi* pada pirolisis ini juga sering disebut dengan *devolatilisasi*. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah arang (char), minyak, dan gas. Arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Sedangkan

minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat additif atau campuran dalam bahan bakar. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung (A.S Chaurasia., B.V Babu., 2005).

Pirolisis adalah proses penguraian material organik secara thermal pada temperatur tinggi tanpa adanya oksigen (Mustofa dkk, 2013). Pirolisis dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan tingkat kecepatan laju reaksinya, yaitu :

- a. Pirolisis Primer Lambat
- b. Pirolisis Primer Cepat

Pirolisis primer cepat (diatas 300°C), reaksi tersebut menghasilkan uap air, arang, gas, dan 50% - 70% uap minyak pirolisis (PPO = *Primary Pyrolysis Oil*) yang menyusun ratusan senyawa monomer, oligomer, monomer penyusun selulosa dan lignin. Pirolisis primer lambat akan terjadi pada kisaran suhu $150\text{-}300^{\circ}\text{C}$. Pirolisis primer lambat biasa digunakan untuk proses pembuatan arang. Oleh karena itu, untuk menghasilkan arang dalam jumlah besar dan baik mutunya diperlukan waktu sehari-hari bahkan berminggu-minggu (Ilham, 2014). Menurut (Pranata, 2008), pada proses pirolisis dihasilkan tiga macam penggolongan produk yaitu :

- a. Gas-gas yang dikeluarkan pada proses karbonisasi sebagian besar berupa gas CO_2 dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti CO , CH_4 , H_2 dan hidrokarbon tingkat rendah lain.
- b. Destilat berupa asap cair dan tar. Komposisi utama dari asap cair adalah senyawa-senyawa hidrokarbon cair mulai dari C_1 hingga C_4 dan senyawa rantai panjang seperti paraffin dan olefin. Bagian lainnya merupakan komponen minor yaitu fenol, metal asetat, asam format, asam butirat, dll. Produk cair yang menguap mengandung tar dan poliaromatik hidrokarbon.
- c. Residu (karbon) dalam bahan berbeda-beda tergantung jenis bahan yang digunakan.

Salah satu pengkonversian sampah plastik menjadi bahan bakar berwujud cairan adalah dengan proses *cracking* (perengkahan). Dimana *cracking* (perengkahan) adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Menurut (Surono, 2013) ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking*, dan *catalytic cracking*.

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 pencapuran dan reaksi biasanya digunakan bahan pelarut *1-methyl naphthalene*, *tetralin* dan *decalin*. Beberapa katalis yang sudah diteliti antara lain *alumina*, *amorphous silica alumina*, *zeolite* dan *sulphate zirconia*.

2. *Thermal cracking*

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

3. *Catalytic cracking*

Cracking cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi perekahan. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi.

Kali ini, penulis bersama *team* mencoba untuk membuat *Prototype* alat pirolisis dengan proses *Thermal Cracking* dengan menggunakan pemanas induksi. Pemanas induksi adalah proses pemanasan non-ontak yang menimbulkan panas pada logam yang terkena induksi medan magnet. Karakteristik pemanas induksi secara teknis mampu melepaskan panas dalam waktu yang relatif singkat sehingga menghasilkan temperatur yang tinggi dan panas yang menyebar lebih dalam, serta mengupayakan efisiensi penghematan energi listrik karena cepat dalam startup maupun prosesnya dan biayanya lebih ekonomis.

2.2.1. Macam-macam permodelan Pirolisis

Pada dasarnya penelitian mengenai pirolisis sampah plastik telah banyak dilakukan, dengan memakai berbagai macam variasi dan desain percobaan. Berikut merupakan permodelan pirolisis yang telah diterapkan.

Teknologi konversi plastik menggunakan elemen pemanas, seperti pada penelitian Putri Apriani (2011) menggunakan elemen pemanas untuk proses perengkahan plastik pada suhu yang tinggi (thermal cracking), namun belum mencapai temperatur optimum pencairan plastik (400-500°C) karena terdapat gangguan pada elemen pemanasnya. Hal ini disebabkan kecepatan pemanasan yang tidak stabil sehingga menghasilkan produk dengan kekentalan yang tidak homogen. Sistem elemen pemanas jugamembutuhkan daya listrik yang besar pada saat startup maupun pada saat proses pirolisis. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan inovasi melalui metode sistem pemanas induksi (induction heating) untuk konversi plastik menjadi bahan bakar.

Selain itu (Hendra Prasetyo dkk), juga mencoba menerapkan suatu konsep dalam mengatasi permasalahan akan sampah plastik dengan metode pirolisis yang bertujuan mencari solusi akan permasalahan bahan bakar minyak dari fosil yang semakin menipis, menciptakan desain teknologi yang mampu mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, dan mengatasi polusi lingkungan akibat smpah plastik yang sulit terurai. Pengujian yang dilakukan menggunakan dua jenis sampah plastik yaitu botol plastik bekas dan plastik kresek sebanyak masing-masing 1 kg. Percobaan pertama menggunakan botol plastik bekas dengan temperatur 200°C dan waktu proses selama 25 menit menghasilkan bahan bakar minyak sebanyak 0,5 liter. Kemudian pada percobaan kedua menggunakan plastik kresek dengan temperatur 300°C dan waktu proses selama 30 menit menghasilkan 0,5 liter bahan bakar minyak.

Penelitian sebelumnya yang dikembangkan oleh (Ricki Gunawan dkk, 2017) dilakukan dengan menggunakan bahan baku plastik jenis *polypropylene* dan plastik *polystyrene* beserta katalis lempung yang telah diaktivasi dengan aquades, yang berjudul pengaruh suhu dan variasi rasio plastik jenis polypropylene dan plastik polytyrene terhadap *yield* dengan proses Pirolisis. Dihasilkan *yield* cair tertinggi adalah 68,87 % dengan temperatur 400°C dan rasio plastik PP:PS 50:50.

Yield cair terendah yang dihasilkan adalah 40,11% pada temperatur 300°C dan rasio plastik PP:PS 100:0.

Untuk mengatasi masalah sampah, khususnya limbah plastik, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satu caranya dengan mendaur ulang limbah plastik dengan proses pirolisis katalitik. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah katalis zeolit alam pada proses pirolisis limbah plastik dengan kondisi bebas oksigen untuk memperoleh senyawa hidrokarbon fraksi bensin (C5-C9) yang maksimal. Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor semi batch stainless steel unstirred berkapasitas 3,5 dm³; beroperasi pada tekanan 1atm dan dialiri nitrogen. Sampel limbah plastik yang digunakan adalah plastik jenis polipropilen (PP) sebanyak 50 gram. Pada proses pirolisis ditambahkan katalis zeolit alam sesuai variable yaitu 2,5 gram (5%), 5 gram (10% berat) atau 10 gram (20% berat). Suhu yang digunakan untuk pirolisis adalah 450 °C dengan waktu 30 menit. Uap hasil pirolisis dikondensasi, kemudian produk liquidnya dianalisa dengan gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS). Dari analisa GC-MS, produk liquid pirolisis banyak mengandung senyawa hidrokarbon aromatis. Penggunaan jumlah katalis yang menghasilkan senyawa hidrokarbon mendekati mutu bensin paling optimum adalah 10gram (20%) dengan komposisi = C9 adalah 29,16% n-paraffin;, 9,22% cycloparaffin dan 61,64% aromatis (Juliastuti dkk, 2015).

2.2.2. Faktor yang Mempengaruhi Kondisi Proses Pirolisis

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas bahan bakar cair dari proses pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis, diantaranya :

a. Waktu

Berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung, produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) makin naik (Mulyadi). Waktu memiliki pengaruh pada proses pirolisis. 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. Produk padatan

juga akan semakin berkurang karena menguap jika waktu reaksinya semakin lama (Basu, 2010).

b. Temperatur

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

c. Ukuran dan Berat Partikel

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil. Semakin besar ukuran partikel luas permukaan per satuan berat semakin kecil, sehingga proses akan menjadi lambat. Sedangkan semakin banyak bahan yang digunakan menyebabkan hasil bahan bakar cair (tar) dan arang meningkat (Rizki Ageng dan Siti Nourrani Rahma).

d. 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 oil yang banyak. Namun, hal ini tidak efisien dikarenakan jika memperbesar laju reaksi maka akan membuat pemakaian energi untuk proses pirolisis menjadi lebih besar (Basu, 2010).

e. Kondisi Kerja

Kondisi kerja dalam pirolisis dapat dibagi menjadi 2, yaitu secara vakum dan secara atmosfer. Pada kondisi atmosfer, ketika bahan baku sudah menguap, maka akan langsung keluar dan dikondensasi. Sementara pada kondisi vakum maka hasil dari uap ditahan dan terjadi reaksi yang berkelanjutan (Basu, 2010).

f. Perlakuan Panas

Dalam proses pirolisis terdapat dua cara untuk memanaskan bahan baku, yaitu secara isothermal dan secara transien. Secara transien, bahan baku dipanaskan dari temperatur ruangan menuju temperatur kerja. Sementara jika secara isothermal maka reaktor dipanaskan terlebih dahulu hingga temperatur kerja dan bahan baku diumpankan ke dalam reaktor setelah temperatur kerja didapatkan (Basu, 2010).

2.3. Pemanas Induksi

Pemanas induksi adalah timbulnya panas pada logam yang terkena induksi medan magnet, hal ini disebabkan karena pada logam timbul arus Eddy atau arus pusar yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet terjadinya arus pusar akibat dari induksi magnet yang menimbulkan fluks magnetik yang menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam.

Induksi magnet adalah kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang mengalir dalam konduktor. Pemanasan induksi juga disebut sebagai proses pemanasan non-kontak yang menggunakan listrik frekuensi tinggi untuk menghasilkan panas yang konduktif secara elektrik. Karena non-kontak, proses pemanasan tidak mencemari bahan yang sedang dipanaskan. Hal ini juga sangat efisien karena panas yang sebenarnya dihasilkan di dalam benda kerja, ini dapat dibandingkan dengan metode pemanasan lain dimana panas yang dihasilkan dalam elemen api atau pemanas, yang kemudian diterapkan pada benda kerja. Untuk alasan ini, pemanas induksi cocok untuk beberapa aplikasi yang unik dalam industri (Noviansyah Ryan).

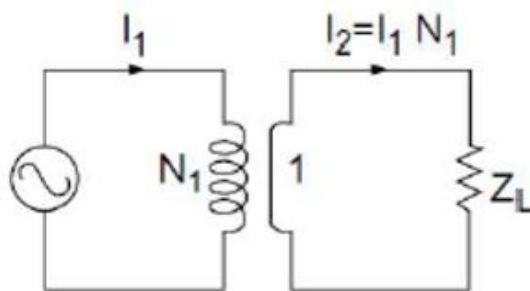
Sebuah pemanas sangat dipengaruhi oleh temperatur ruangan, waktu dan bahan yang digunakan pada saat alat pemanas tersebut digunakan. Berikut ini merupakan karakteristik dari pemanasan induksi antara lain: (Ambar Rencono, 2000)

- a. Pemanas harus dikonsentrasikan pada permukaan bahan yang akan dikerjakan.
- b. Rata-rata pemanas harus ditentukan sesuai bahan yang dikerjakan.
- c. Bagian dari permukaan yang dipanaskan dapat dikontrol, tetapi ada sedikit pemborosan panas.
- d. Total pemanas perbagian dari pekerjaan dapat dikontrol dengan elektrik timer.

- e. Pada sebuah pemanas efisiensinya lebih dari 50% dari harga peralatan pemanas pada umumnya.

2.3.1. Prinsip Kerja Pemanas Induksi

Prinsip Kerja Pemanas Induksi Pemanasan Induksi (Induction Heating) pada prinsipnya dapat dijelaskan dengan prinsip kerja transformator. Transformator bekerja karena adanya fenomena induksi elektromagnetik yang mana ketika ada suatu rangkaian tertutup yang di dalamnya mengalir arus AC menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah pula. Seperti yang terjadi transformator, medan elektromagnetik (pada kumparan primer) yang berubah-ubah tersebut mempengaruhi kumparan sekunder dan pada kumparan sekunder timbul ggl induksi dan mengalir arus AC jika kumparan sekunder merupakan rangkaian tertutup. (Rizky Noviansyah, 2011) Besarnya arus pada kumparan sekunder (I_2) ditentukan dari besarnya arus pada kumparan primer (I_1) dan perbandingan lilitan antara kumparan primer dan sekunder (N_1/N_2). Seperti pada Gambar 1, ketika kumparan sekunder kita ganti dengan 1 kawat ($N_2 = 1$) dan dijadikan rangkaian tertutup, maka kita akan mendapatkan nilai perbandingan lilitan yang besar dari kumparan primer dan sekunder dan akan menimbulkan arus sekunder (I_2) yang besar. Hal ini juga akan diikuti oleh kenaikan panas yang cukup besar karena adanya kenaikan beban tersebut. (Rizky Noviansyah, 2011)

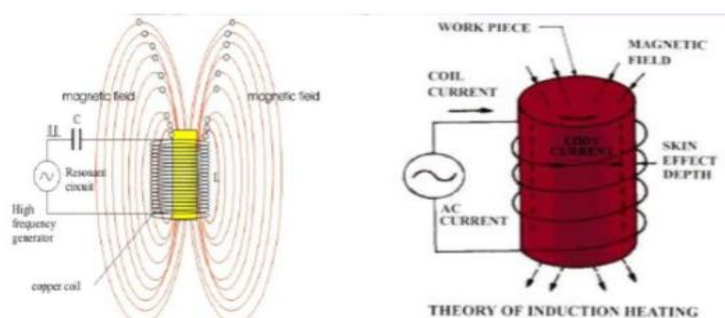


Gambar 2.1. Cara Kerja Transformator dengan Kumparan Sekunder Diganti 1 Kawat

Sumber : (Rizky Noviansyah, 2011)

Sebuah sumber listrik digunakan untuk menggerakkan sebuah arus bolak balik atau yang biasa disebut sebagai arus AC yang besar melalui sebuah kumparan induksi. Kumparan induksi ini dikenal sebagai kumparan kerja. Aliran arus yang melalui kumparan ini menghasilkan medan magnet yang sangat kuat

dan cepat berubah dalam kumparan kerja. Benda kerja yang akan dipanaskan ditempatkan dalam medan magnet ini dengan arus AC yang sangat kuat. Ketika sebuah beban masuk dalam kumparan kerja yang di aliri oleh arus AC, maka nilai arus yang mengalir akan mengikuti besarnya sesuai dengan nilai beban yang masuk. Medan magnet yang tinggi akan dapat menyebabkan sebuah beban dalam kumparan kerja tersebut melepaskan panasnya, sehingga panas yang ditimbulkan oleh besban tersebut justru dapat melelehkan beban itu sendiri. Karena panas yang dialami oleh beban akan semakin tinggi, hingga mencapai nilai titik leburnya.



Gambar 2.2. Prinsip Kerja Pemanas Induksi

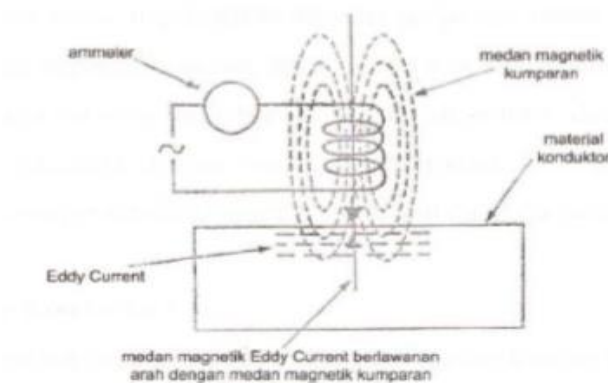
Sumber : (Rizky Noviansyah, 2011)

2.3.2. Arus Eddy

Arus eddy memiliki peranan yang paling dominan dalam proses pemanasan induksi. Panas yang dihasilkan pada material sangat bergantung kepada besarnya arus eddy yang diinduksikan oleh lilitan penginduksi. Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan tersebut. Jika terdapat bahan konduktif disekitar medan magnet yang berubah-ubah tersebut, maka pada bahan konduktif tersebut akan mengalir arus yang disebut arus eddy. (Rezon Arif, 2013) Eddy Current adalah induksi arus listrik bolak-balik didalam material konduktif oleh medan magnetik bolak-balik (yang dihasilkan oleh arus listrik bolak-balik tersebut). Arus induksi didalam material yang termodifikasiakan menimbulkan perubahan nilai arus induksi yang melalui material tersebut. Peruaan arus induksi dapat dapat dianalisis dan dapat menunjukkan kemungkinan modifikasi dari material. Prinsip Eddy Current didasarkan pada hukum Faraday yang menyatakan bahwa pada saat sebuah konduktor dipotong garis-garis gaya dari medan magnetic atau dengan kata lain,

gaya elektromotif (EMF) akan terinduksi kedalam konduktor. Besarnya EMF bergantung pada : (Rezon Arif, 2013) 1). Ukuran, kekuatan, dan kerapatan medan magnet. 2). Kecepatan pada saat garis-garis gaya magnet dipotong. 3). Kualitas konduktor.

Karena Eddy Current adalah perjalanan arus listrik didalam konduktor, maka akan menghasilkan medan magnetik juga. Hukum Lenz menyatakan bahwa medan magnetic dari arus terinduksi memiliki arah yang berlawanan dengan penyebab arus terinduksi. Medan magnetik Eddy Current berlawanan arah terhadap hasil medan magnetik kumparan ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Arah Medan Magnet Eddy Current Berlawanan dengan Arah Medan Magnet Kumparan

Sumber : (Rizky Noviansyah, 2011)

Adapun jenis sampah plastik yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Low Density Polyethylene (LDPE)

Low Density Polyethylene (LDPE) adalah plastik yang digunakan untuk plastik kemasan, botol-botol yang lembut, kantong / tas kresek, dan plastik tipis lainnya. Plastik LPDE $(-CH_2-CH-)_n$ ini jenis plastik yang bersifat *non-biodegradable* atau tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga menyebabkan masalah lingkungan. Walaupun berbahan yang sulit dihancurkan, tetapi tetap baik untuk wadah makanan karena makanan yang dikemas dengan bahan ini akan sulit bereaksi secara kimiawi. Sifat mekanis plastik LDPE ini kuat, sedikit tembus cahaya, fleksibel, dan permukaan sedikit berlemak. Plastik LDPE ini bisa di daur ulang, baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tetapi kuat, dan memiliki resistensi yang baik terhadap reaksi kimia (Siti Miskah dkk, 2016).

Polietilena berdensitas rendah (*low density polyethylene*, LDPE) adalah termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Pertama kali diproduksi oleh Imperial Chemical Industries (ICI) pada tahun 1933 menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi radikal bebas. LDPE dapat didaur ulang, dan memiliki nomor 4 pada simbol daur ulang. LDPE dicirikan dengan densitas antara 0.910 - 0.940 g/cm³ dan tidak reaktif pada temperatur kamar, kecuali oleh oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan. LDPE dapat bertahan pada temperatur 90 °C dalam waktu yang tidak terlalu lama. LDPE memiliki percabangan yang banyak, lebih banyak daripada HDPE sehingga gaya antar molekulnya rendah.

Ketahanan LDPE terhadap bahan kimia diantaranya:

- Tak ada kerusakan dari asam, basa, alkohol, dan ester.
- Kerusakan kecil dari keton, aldehida, dan minyak tumbuh-tumbuhan.
- Kerusakan menengah dari hidrokarbon alifatik dan aromatik dan oksidator.
- Kerusakan tinggi pada hidrokarbon terhalogenisasi.

LDPE memiliki aplikasi yang cukup luas, terutama sebagai wadah pembungkus. Produk lainnya dari LDPE meliputi:

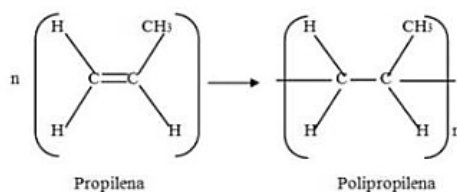
- Wadah makanan dan wadah di laboratorium
- Permukaan anti korosi
- Bagian yang membutuhkan fleksibilitas
- Kontong plastik
- Bagian elektronik

b. Poly Propylene (PP)

Polipropilena atau polipropena (PP) merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. Struktur molekul propilena CH₂=CH-CH₃. Polipropilena biasanya didaur ulang dengan simbol nomor “5”: 

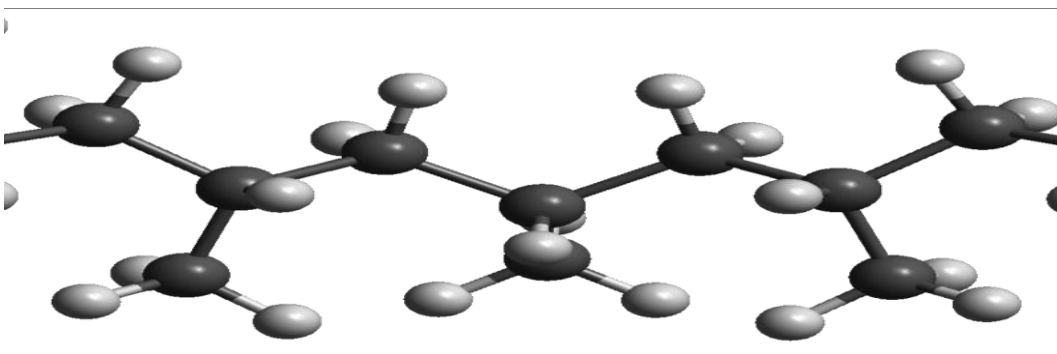
Secara industri, polimerisasi polipropilena dilakukan dengan menggunakan katalis koordinasi. Proses polimerisasi ini akan menghasilkan suatu rantai linear yang berbentuk -A-A-A-A-A-, dengan A merupakan propilena. Reaksi

polimerisasi dari propilena secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.4. dan 2.5. merupakan gambar isotaktik Polipropilena.



Gambar 2.4. Reaksi Polimerisasi dari Propilena Menjadi Polipropilena

(sumber : Sriyanto, 2016)



Gambar 2.5. Gambar Isotaktik Popipropilena

(sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Polipropilen>)

Titik leleh PP terjadi pada suatu rentang tergantung bahan ataktik dan kristalinitasnya, sehingga titik lebur ditentukan dengan menentukan suhu tertinggi dari scanning grafik diferensial kalorimetri. Sindiotaktik PP dengan kristalinitas 30 % memiliki titik leleh 130 °C (266 °F), PP dengan isotaktik sempurna memiliki titik leleh 171 °C (340 °F), isotaktik PP komersial memiliki titik leleh yang berkisar 160-166 °C (320-331 °F) 130 °C (266 °F). sedangkan suhu dibawah 0 °C , mengakibatkan PP menjadi rapuh. Polipropilen adalah polimer dari propilen dan termasuk jenis plastik olefin, polipropilen mempunyai nama dagang *bexophane*, *dynafilm*, *luparen*, *escon*, *olefane* dan *profax*. Kebanyakan polipropilena komersial merupakan isotaktik dan memiliki kritanilitas tingkat menengah diantara polietilena berdensitas rendah dengan polietilena berdensitas tinggi. Ada tiga tipe umumnya PP, yaitu : homopolimer, *random copolymer*, dan *impact copolymer* atau kopolimer blok. Comonomer adalah yang digunakan etena. Karet etena-propilena yang ditambahkan ke homopolimer PP meningkatkan

kuat dampak suhu rendahnya. Monomer etena berpolimer acak yang ditambahkan ke homopolimer PP menurunkan kristalinitas polimer dan membuat polimer lebih tembus pandang.

Sifat – sifat dari poli propilen yaitu (Rizki Ageng dkk, Pirolisis Plastik) :

- a. Ringan.
- b. Mudah dibentuk.
- c. Tembus pandang dan jernih dalam bentuk bening, tapi tidak transparan dalam bentuk kemasan baku.
- d. Lebih kuat dari PE.
- e. PP bisa dibuat menjadi liat seta fleksibel, bahkan di suhu yang rendah.
- f. Memiliki titik leleh 130 – 171°C.
- g. Memiliki resistensi yang sangat bagus terhadap kelelahan.
- h. Memiliki permukaan yang tidak rata, seringkali kaku dari pada beberapa plastik lain, lumayan ekonomis, dan bisa dibuat transparan (bening) saat tak berwarna tapi tidak setransparan polistirena, akrilik maupun plastik tertentu lainnya. Bisa juga dibuat buram atau berwarna – warni melalui penggunaan pigmen.
- i. Lebih kaku dari PE dan tidak mudah sobek sehingga mudah dalam penanganan dan distribusi.
- j. Daya tembus (permeabilitasnya) terhadap uap air rendah, permeabilitas terhadap gas sedang, dan tidak baik untuk bahan pangan yang mudah rusak oleh oksigen.
- k. Tahan terhadap suhu tinggi sampai dengan 120°C, sehingga dapat dipakai untuk mensterilkan bahan pangan.
- l. Tahan terhadap lemak, asam kaku dan basa, sehingga baik untuk kemasan minyak dan sari buah. Pada suhu kamar tidak terpengaruh oleh pelarut kecuali HCL.
- m. Pada suhu tinggi PP akan bereaksi dengan benzene, siklen, toluen dan asam nitrat kuat.

2.4. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak

bumi. Dimasa yang akan datang, kemungkinan bahan bakar cair yang berasal dari oil shale, tar sands, batubara dan biomassa akan meningkat. Minyak (petroleum) berasal dari kata Petro = rock (batu) dan leaum = oil (minyak). Minyak dan gas terbentuk dari siklus alami yang diawali dari sedimentasi beberapa bekas tumbuhan dan binatang yang terjebak sepanjang jutaan tahun. Material-material organik itu beralih jadi minyak dan gas akibat dampak kombinasi temperatur dan desakan didalam kerak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral. Dengan kemudahan penggunaan, ditambah dengan efisiensi thermis yang lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan.

Beberapa kelebihan bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain kebersihan dari hasil pembakaran, menggunakan alat bakar yang lebih kompak, dan penanganannya lebih mudah. Salah satu kekurangan bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks. Beberapa jenis bahan bakar minyak adalah sebagai berikut :

2.4.1. Bahan Bakar Bensin

Bensin adalah salah satu jenis bahan bakar minyak yang digunakan untuk bahan bakar mesin kendaraan yang pada umumnya adalah jenis sepeda motor dan mobil. Bahan bakar bensin yang dipakai untuk motor bensin adalah jenis gasoline atau petrol. Bensin umumnya merupakan suatu campuran dari hasil pengilangan yang mengandung parafin, naphthene, dan aromatik dengan perbandingan yang bervariasi. Dewasa ini tersedia beberapa jenis bensin, yaitu premium, pertalite, dan pertamax. Ketiganya mempunyai mutu atau perilaku (performance) yang berbeda. Mutu bensin dipergunakan dengan istilah bilangan oktana (Octane Number).

Angka oktan merupakan acuan untuk mengukur kualitas dari bensin yang digunakan sebagai bahan bakar motor bensin. Makin tinggi angka oktan maka makin rendah kecenderungan bensin untuk terjadi knocking. Knocking adalah

ketukan yang menyebabkan mesin mengelitik, mengurangi efisiensi bahan bakar dan dapat pula merusak mesin. Naphtalene merupakan suatu larutan kimia yang memberikan pengaruh positif untuk meningkatkan angka oktan dari bensin. Untuk menentukan nilai oktan, ditetapkan dua jenis senyawa sebagai pembanding yaitu isooktana dan n-heptana. Kedua senyawa ini adalah dua diantara macam banyak senyawa yang terdapat dalam bensin. Isooktana menghasilkan ketukan paling sedikit, diberi nilai oktan 100, sedangkan n-heptana menghasilkan ketukan paling banyak, diberi nilai oktan 0 (nol). Suatu campuran yang terdiri 80% isooktana dan 20% n-heptana mempunyai nilai oktan sebesar $(80/100 \times 100) + (20/100 \times 0) = 80$. (Tirtoatmojo, 2004). Adapun spesifikasi bensin dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Spesifikasi Bensin (Premium)

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min	Max	
Bilangan Oktana				
Angka Oktana Riset (RON)	RON	88	-	D 269
Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D 525
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622/D 4294/D 7039
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013	D 3237
Injeksi imbal tidak diizinkan				
Kandungan Logam (Mn,Fe)	mg/l	tidak terlacak		D 3831/D 5185
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7	D 4815/D 6839/D 5599
Kandungan Olefin	%v/v	Dilaporkan		D 1319/D 6839/D 6730
Kandungan Aromatik	%v/v	Dilaporkan		D 1319/ D 6839/ D 6730
Kandungan Benzene	%v/v	Dilaporkan		D 5580 / D 6839 / D 6730 / D 3606
Distilasi :				D 86
10% vol.Penguapan	°C	-	74	
50% vol.Penguapan	°C	75	125	
90% vol.Penguapan	°C	-	180	
Titik didih akhir	°C	-	215	
Residu	% vol		2	
Sedimen	mg/l	-	1	D 5452
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70	D 381
Washed Gum	mg/100 ml	-	5	D 381
Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191/ D 323

Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770	D 4052/D 1298
Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas 1tif		D 130
Sulfur Merkaptan	% massa	-	0,002	D 3227
Penampilan Visual		Jernih dan terang		
Bau		Dapat dipasarkan		
Warna		Kuning		
Kandungan pewarna	gr/100 l	-	0,13	

(sumber Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, No: 2933.K/10/DJM.S/2013)

2.4.2. Bahan Bakar Kerosin

Minyak tanah (kerosin, kerosene, burning kerosene) merupakan produk hasil penyulingan minyak bumi dengan rentang titik didih 175°C sampai dengan 275°C (berentang didih di antara fraksi bensin dan minyak gas) (Williams dan Jones, 1963). Minyak tanah tersusun dari senyawa-senyawa hidrokarbon C₉ sampai C yang terbagi atas tiga kelompok yaitu hidrokarbon parafinik, hidrokarbon naptetik dan hidrokarbon aromatik (Reuben dan Wittcoff, 1996).

Bahan bakar ini merupakan fraksi diantara fraksi bensin dan fraksi minyak solar. Minyak tanah yang digunakan sebagai bahan bakar memiliki komposisi yang sebagian besar mengandung hidrokarbon alkana. Jika bahan bakar ini dibakar akan memberikan nyala yang terang, dengan api berwarna putih. Minyak tanah jenis ini dihasilkan langsung dari destilasi minyak mentah jenis parafin ataupun dari larutan ekstraksi destilasi dari campuran beberapa jenis minyak mentah.

Komponen utama kerosin adalah paraffin, cycloalkanes (naphtha) serta senyawa aromatik, dimana parafin adalah komposisi terbesar, Kerosin tersusun sekurang-kurangnya atas 12 karbon tiap molekul. Unsur pokok kerosin terutama sebagai hidrokarbon jenuh yang terdiri atas tetrahidronaftalin dan disikloparafin. Hidrokarbon lain seperti aromatik dan cincin–cincin sikloparafin atau sejenisnya. Ada juga diaromatik (cincin aromatik yang terkondensasi), seperti pada naftalin. Dan senyawaan dua cincin yang terisolasi dan sangat sedikit seperti pada bifenil.

Tabel 2.2. Spesifikasi Kerosin (Minyak Tanah)

Karakteristik	Satuan	Batasannya		Metode Uji
		Min.	Maks.	
Densitas pada 15 C	kg/m ³	-	835	ASTM D 1298
Titik Asap	Mm	15	-	ASTM D 1322
Nilai Jelaga	mg/kg	-	40	IP 10
Distilasi :				ASTM D 86
Perolehan pada 200 C	%vol	18	-	
Titik Akhir	C	-	310	
Titik Nyala	C	38	-	IP 170
Kandungan Belerang	% massa	-	0,2	
Korosi Bilah Tembaga		-	no.1	
Bau dan Warna		Dapat dipasarkan		

(Sumber : www.pertamina.com)**2.4.3. Bahan Bakar Solar**

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

Minyak solar berasal dari Gas Oil, yang merupakan fraksi minyak bumi dengan kisaran titik didih antara 2500 C sampai 3500 C yang disebut juga middle destilat. Komposisinya terdiri dari senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang ditemukan dalam minyak solar seperti parafinik, naftenik, olefin dan aromatik. Sedangkan untuk senyawa non-hidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur-unsur non-logam, yaitu sulfur, nitrogen, dan oksigen serta unsur logam seperti vanadium, nikel, dan besi. Minyak solar ialah fraksi minyak bumi berwarna kuning coklat yang jernih yang mendidih sekitar 175-370° C dan yang digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Umumnya, solar mengandung belerang dengan kadar yang cukup tinggi. Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm), yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih. Minyak solar ini biasa disebut juga Gas Oil, Automotive Diesel Oil, High Speed Diesel.

Syarat umum yang harus dimiliki oleh minyak solar adalah harus dapat menyala dan terbakar sesuai kondisi ruang bakar. Minyak solar sebagai bahan bakar memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh sifat-sifat seperti Cetana Number (CN) dan Cetana Index (CI). Cetana Number menunjukkan bahan bakar minyak solar untuk menyala dengan sendirinya (auto ignition) dalam ruang bakar karena tekanan dan suhu ruang bakar. Angka CN yang tinggi menunjukkan bahwa minyak solar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah dan sebaliknya angka CN yang rendah menunjukkan minyak solar baru menyala pada temperatur yang relatif tinggi. Sementara Cetana Index merupakan perkiraan matematis dari CN dengan basis suhu destilasi, densitas, titik anilin dan lain-lain. Apabila terdapat aditif yang bersifat meningkatkan CN maka perhitungan CI tidak dapat langsung digunakan tetapi variabel-variabel seperti API gravity dan suhu destilasi harus disesuaikan karena karakteristik bahan bakar akan berubah. Adapun Spesifikasi solar dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Spesifikasi Solar

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min.	Maks.	
Bilangan Cetana Angka Setana	-	48	-	D 613
Indeks Setana	-	45	-	D 4737
Berat Jenis, 15 C	kg/m ³	815	860	D 4052
Viskositas, 40 C	mm ² /sec	2	4,5	D 445
Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,35	D2622/D 5453
		-	0,3	
		-	0,25	
		-	0,05	
Distilasi 90 % vol.penguapan	°C	-	370	D 86
		-	370	
		-	370	
		-	370	
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
Lubidity	micron	-	460	D 6079

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

ASTM membagi bahan bakar solar menjadi tiga grade, yaitu:

- Grade No.1-D : suatu bahan bakar distilat ringan yang mencakup sebagian fraksi kerosin dan sebagian fraksi minyak gas, digunakan untuk mesin diesel otomotif dengan kecepatan tinggi.
- Grade No.2-D : suatu bahan bakar distilat tengahan bagi mesin diesel otomotif, yang dapat juga digunakan untuk mesin diesel bukan otomotif, khususnya dengan kecepatan dan beban yang sering berubah-ubah.
- Grade No.4-D : suatu bahan bakar distilat berat atau campuran antara siatilat dengan minyak residu, untuk mesin diesel bukan otomotif dengan kecepatan rendah dengan kondisi kecepatan dan beban tetap.

2.4.4. Bahan Bakar Pertamina

Pertamax adalah bahan bakar minyak andalan Pertamina. Pertamax, seperti halnya Premium, adalah produk BBM dari pengolahan minyak bumi. Pertamax dihasilkan dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak. Pertamax pertama kali diluncurkan pada tanggal 10 Desember 1999 sebagai pengganti Premix 1994 dan Super TT 1998 karena unsur MTBE yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, Pertamax memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan Premium. Pertamax direkomendasikan untuk kendaraan yang memiliki kompresi 9,1-10,1, terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan *Electronic Fuel Injection (EFI)* dan *catalytic converters* (pengubah katalitik) (Wikipedia.org). Adapun spesifikasi pertamax dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Keunggulan bahan bakar pertamax:

1. Membuat mesin terasa ringan.
2. Membersihkan mesin.
3. Ramah lingkungan.

4. Lebih irit.
5. Membuat kinerja mesin menjadi optimal.

Kelemahan bahan bakar pertamax:

1. Membuat tangki bahan bakar motor menipis sehingga terkadang membuat tangki bocor.
2. Harganya mahal.

Tabel 2.4. Spesifikasi Pertamax

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
		Min.	Maks.	ASTM	Lain
Bilangan Okatana Riset	RON	92,0	-	D 2699	
Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-	D 525	
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622 / D 4294	
Kandungan Timbal (Pb)	gr/liter	-	0,013	D 3237	
Kandungan Fosfor	mg/l	-	-	D 3231	
Kandungan Logam (Mn, Fe, dll)	mg/l	-	-	D 3831	
Kandungan Silikon	mg/kg	-	-	IICP-AES (Merujuk Metode in house dengan batasan deteksi = mg/kg)	
Kandungan Oksige	% m/m	-	2,7	D 4815	
Kandungan Olefin	% v/v	-	-	D 1319	
Kandungan Aromatik	% v/v	-	50,0	D 1319	
Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0	D 4420	
Distilasi :				D 86	
10% vol. penguapan	°C	-	70		
50% vol. penguapan	°C	77	110		
90% vol. penguapan	°C	130	180		
Titik didih akhir	°C	-	215		
Residu	% v/v	-	2,0		
Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70	D 381	
Washed Gum	Mg/100 ml	-	5	D 381	
Tekanan Uap	kPa	45	60	D 5191 / D 323	
Berat Jenis (15°C)	kg/m ³	715	770	D 4052 / D 1298	
Korosi Bilah Tembaga	Merit	Kelas 1		D 130	
Uji Doctor		Negatif			IP 30
Belarang Mercaptan	% massa	-	0,002	D 3227	

Penampilan Visual		Jernih dan
Warna		Terang
Kandungan Pewarna	gr/100 l	Biru
		- 0,13

(sumber : www.pertamina.com)

2.5. Karakteristik Produk Hasil Pirolisis

2.5.1. Berat Jenis (*Specific Gravity*) dan *API Gravity*

Specific gravity (Berat Jenis) adalah perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Umumnya, bahan bakar minyak memiliki *specific gravity* 0,74 – 0,96, dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Pada beberapa literatur digunakan *American Petroleum Institute (API) gravity*. *Specific gravity* dan *API gravity* adalah suatu pernyataan yang menyatakan density (kerapatan) atau berat per satuan volume dari suatu bahan. (Wiratmaja, 2010)

Berat jenis dan *API Gravity* menyatakan densitas atau berat persatuan volume suatu 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, sedangkan *specific gravity* merupakan harga relatif dari densitas suatu bahan terhadap air. Hubungan *API Gravity* dengan berat jenis adalah sebagai berikut:

$$\text{spgr} = \frac{\text{Densitas minyak}}{\text{Densitas air}} \quad (\text{Wiratmaja, 2010})$$

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{sg}} - 131,5 \quad (\text{Wiratmaja, 2010})$$

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 semakin tinggi *API Gravity* atau makin rendah berat jenis maka minyak tersebut makin berharga karena banyak mengandung bensin. Sebaliknya semakin rendah *API Gravity* maka semakin banyak lilin. Minyak yang mempunyai berat jenis tinggi berarti minyak tersebut mempunyai kandungan panas (*heating value*) yang rendah.

2.5.2. Titik Nyala

Titik nyala (flash point) adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menyala pada kondisi tertentu pada tekanan satu atmosfer. Penentuan nilai titik nyala ini juga berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan penanganan bahan bakar dan diuji dengan menggunakan alat *Pensky Marten Closed Tester* (ASTM, 1990) (Nasrun dkk., 2016). Titik nyala menunjukkan indikasi jarak titik didih, dimana pada suhu tersebut minyak akan aman untuk tetap dibawa tanpa adanya bahaya terhadap api.

Tabel 2.5. Titik Nyala Beberapa Bahan Bakar

Fuel	Flash Point (°F)
Diesel Fuel (1-D)	100
Diesel Fuel (2-D)	126
Diesel Fuel (4-D)	130
Gasoline	-45
Kerosene	100-162
Motor Oil	420-485

(sumber : https://www.engineeringtoolbox.com/flash-point-fuels-d_937.html)

2.5.3. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan jumlah panas yang dihasilkan apabila sejumlah tertentu bahan baku yang digunakan dibakar. Nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan kalorimeter. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang disebut bom dan dibenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor, hal ini menyebabkan suhu kalorimeter naik. Untuk menjaga agar panas yang dihasilkan dari reaksi bahan bakar dengan oksigen tidak menyebar ke lingkungan luar maka kalorimeter dilapisi oleh bahan yang berisifat *isolator* (SANTOSO, 2010).

Nilai kalor menunjukkan pengukuran suatu panas atau energi yang dihasilkan yang kemudian diukur sebagai nilai kalor kotor / *gross calorific value* (GCV) atau *gross heating value* (GHV) dan nilai kalor netto / *nett calorific value* (NCV) atau *nett heating value* (NHV). Nilai kalor kotor juga bisa disebut dengan *Hight Heating Value* (HHV) sedangkan nilai kalor netto disebut dengan *Lower Heating Value* (LHV). Perbedaan dari kedua nilai tersebut ditentukan dari panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran berlangsung.

Nilai kalor kotor / *gross heating value* (GHV) mengasumsikan bahwa seluruh uap yang akan dihasilkan selama proses pembakaran sepenuhnya terembunkan / terkondensasikan. Sedangkan nilai kalor netto / *nett heating value* (NHV) mengasumsikan air yang keluar dengan produk pengembunan tidak seluruhnya terembunkan.