

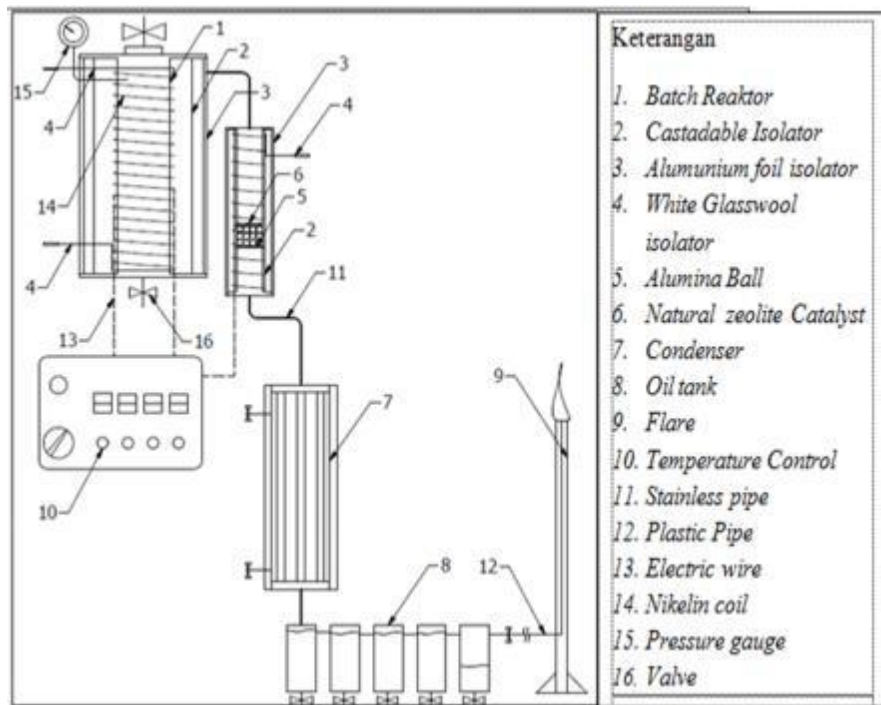
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

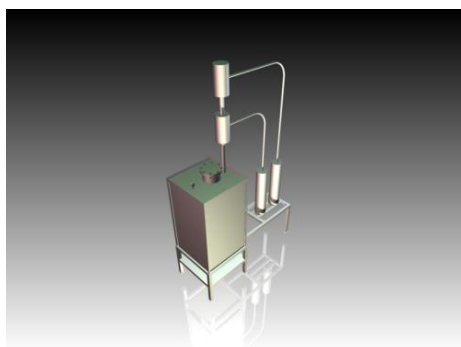
Dunia industri pirolisis plastik sudah banyak dan tersebar dimana-mana. Untuk penelitiannya sendiri juga sudah banyak, akan tetapi dalam sebuah penelitian pasti ada kekurangan dalam pengerjaan tersebut. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan sesuai judulnya yaitu untuk mengetahui bagaimana cara pemanfaatan sampah plastik yang seharusnya, sebelum dibuang menjadi sampah yang tidak berguna dan hanya mencemarkan lingkungan sehingga dapat memperoleh hasil yang maksimal.

Wardhana, (2016) melakukan penelitian pirolisis untuk merubah limbah plastik polietilen menjadi bahan bakar dan mengetahui *properties* dari bahan bakar cair tersebut. Penelitian dilakukan dengan mempersiapkan bahan baku yaitu limbah plastik polietilen yang telah dicacah. Langkah selanjutnya adalah menimbang massa limbah plastik tersebut sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Massa limbah plastik kemudian dicatat untuk pengolahan data. Setelah limbah plastik atau *feedstock* tersebut dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian reaktor dinyalakan. Skema Pirolisator yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada gambar 2.1. Produk pirolisis limbah plastik polietilen kemudian dianalisis untuk melihat kesetimbangan massa dan karakteristik dari produk cair yang dihasilkan. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran efektivitas proses konversi limbah plastik hingga menjadi produk bahan bakar yang berguna. Proses pirolisis pada temperatur 450°C menghasilkan 61% bahan bakar cair, 27% bahan bakar gas dan 12% bahan bakar padat berbasis massa. Nilai persentase bahan bakar tergantung dari jenis reaktor, desain reaktor, temperatur, jumlah aliran nitrogen, dan *residence time* yang digunakan. Karakteristik bahan bakar cair menunjukkan kualitas yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan bahan bakar biosolar sebagai bahan bakar pembanding.



Gambar 2.1 Skema Pirolisator

Prasetyo dkk, (2013) membuat desain alat, pembuatan, dan perakitan alat pengolah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif (gambar 2.2 a dan b). Kemudian dilakukan pengujian dan analisis (tabel 2.1 dan gambar 2.2). Keuntungan dari alat ini adalah ramah lingkungan, aman, dan berkapasitas besar sehingga bisa mengurangi sampah plastik yang menyebabkan polusi di lingkungan dan sekitar TPS Banaran.



Gambar 2.2a Desain alat pirolisis, 2.2b alat pirolisis yang sudah dibuat

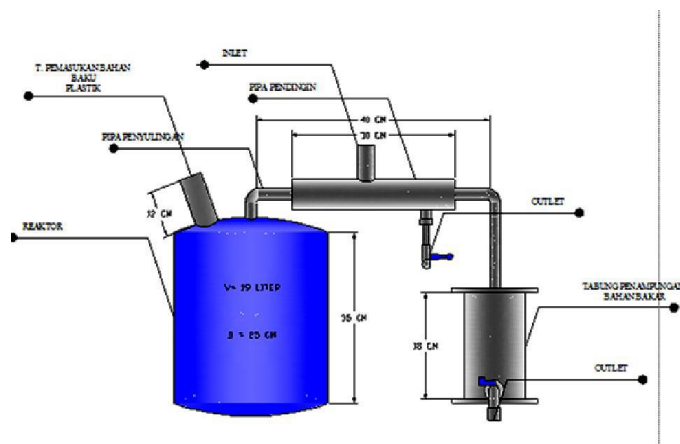
Tabel 2.1a Botol plastik 1 kg

Bahan bakar	Suhu	Waktu	Hasil
500 gram	200°C	25 menit	0,5 liter

Tabel 2.1b Plastik kresek 1 kg

Bahan bakar	Suhu	Waktu	Hasil
500 gram	300°C	30 menit	0,5 liter

Kadir, (2012) melakukan penelitian pirolisis tiga jenis sampah plastik yaitu PP (*Polypropylene*) atau kresek, HDPE (*High Density Polyethylene*) atau botol oli, dan PET (*Polypropylene Terephthalate*) atau botol aqua. Peralatan yang digunakan adalah satu set instalasi pengolahan plastik yang dirakit manual (gambar 2.3).



Gambar 2.3 Instalasi pengolahan plastik.

Untuk membakar kantong kresek 500 gram menghasilkan bahan bakar 450 mili liter, waktu yang digunakan 930 detik dengan temperatur nyala api 300°C, dan bahanbakar yang digunakan 400 mililiter dan menghasilkan 450 mililiter.

Botol oli 500 gram menghasilkan bahan bakar 400 mililiter, dan botol aqua 500 gram menghasilkan bahan bakar 420 mililiter, waktu yang digunakan 1515 detik dengan temperatur nyala api 415°C, dan bahan bakar yang digunakan 600 mili liter dan menghasilkan 400 mililiter.

Botol aqua 500 gram menghasilkan bahan bakar 420 mililiter, waktu yang digunakan 1221 detik dengan temperatur nyala api 400°C, bahan bakar yang digunakan 500 mililiter sedangkan bahan bakar yang dihasilkan 420 mililiter.

Ermawati, (2011) melakukan penelitian tentang cara pengolahan limbah plastik menjadi minyak penggerak mesin. Beberapa tahap yang digunakan adalah

### 1. Pirolisis

Pirolisis adalah teknik pembakaran sampah (limbah plastik) tanpa O<sub>2</sub> dan dilakukan pada suhu tinggi yaitu antara 800°C sampai 1000°C. Proses pirolisis menghasilkan senyawa hidro karbon cair mulai dari C<sub>1</sub> hingga C<sub>4</sub> dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin.

### 2. Proses *Hydrotreating/Hydrocracking*

Yaitu proses penyulingan untuk memisahkan unsur-unsur yang dihasilkan pada proses pirolisis yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan senyawa aromatik dan senyawa polar.

### 3. Proses Hidro-isomerisasi

Proses yang menggunakan katalis yang menjadikan molekul-molekul isomer mempunyai viskositas yang tinggi.

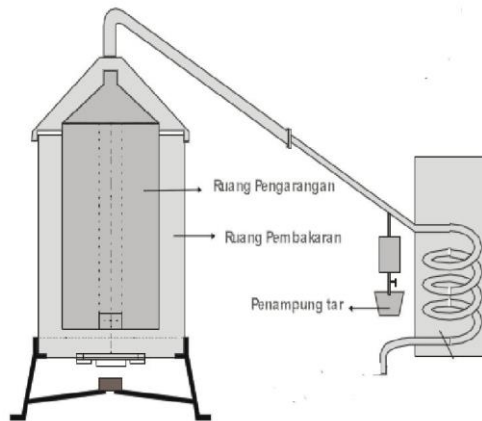
Endang dkk, (2016) melakukan penelitian pirolisis dengan bahan baku LDPE dan PP dengan penambahan pasir silika 5cm pada dasar reaktor dan katalis zeolit ditambahkan pada bagian atas reaktor setinggi 10 cm serta menggunakan variasi suhu 400°C, 350°C, 300°C, serta 250°C. Setelah itu dilakukan pengujian densitas, viskositas, dan kalori. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini bahwa pirolisis terbanyak dari sampah PP diperoleh pada suhu 400°C sedangkan sampah LDPE pada suhu 300°C. Minyak hasil pirolisis dari PP dan LDPE dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena nilai kalornya tidak jauh beda dengan solar.

Susilo, (2016) melakukan penelitian pirolisis dengan bahan baku sampah plastik LDPE, PS, dan *Other* dengan metode pencampuran antara PE 50% + PS 50%, PE 50% + PS 25% + *Other* 25%, dan PE 50% + *Other* 50%. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan persentase produk cair pirolisis tertinggi dihasilkan oleh campuran PE 50% + PS 50% yaitu sebesar 52,36%, sedangkan persentase terendah adalah campuran PE 50% + *Other* 50% sebesar 43,41%. Penambahan plastik jenis *Polystyrene* mengakibatkan peningkatan presentase produk cair, semakin tinggi persentase plastik *Polystyrene* maka persentase produk cair yang dihasilkan semakin tinggi. Penambahan plastik jenis *other* mengakibatkan penurunan pada persentase produk cair.

Karakteristik bahan bakar produk cair pirolisis untuk *specific gravity*, dan *water content* lebih tinggi dari pada biosolar. Nilai *kinematic viscosity*, *flash point* dan *ash content* lebih rendah dari biosolar. *Pour point* untuk campuran PE 50% + PS 25% + *Other* 25% setara dengan biosolar (6°C), campuran PE 50% dan PS 50% (-12°C) lebih rendah dari biosolar dan PE 50% + *Other* 50% (12°C) lebih tinggi dari biosolar.

Rachmawati, (2015) melakukan penelitian pirolisis dengan bahan plastik HDPE, PET, dan PS. Jenis plastik HDPE menghasilkan gas metana, etilen, etana, dan propana. Jenis plastik PET pada temperatur rendah didominasi oleh TPA (Terephthalic Acid), pada kondisi temperatur tinggi TPA akan terdekomposisi menjadi benzene, CO<sub>2</sub>, dan *benzoic acid*. TPA yang terkandung dalam PET bersifat menyublim. Sedangkan sampel PS menghasilkan gas terkondensasi cukup tinggi dan mengandung stirena, benzena, toluena, dan trimethylbenzena. Produk bahan bakar yang berasal dari PS mengandung zat aromatik tinggi dan nilai kalori tinggi. Pada suhu pirolisis >700°C PS akan menghasilkan gas tinggi dibandingkan dengan hasil *wax*. Pada hasil gas mengandung monomer, dimers, dan trimers stirena. Jadi dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa jenis sampah plastik yang menghasilkan gas tertinggi yaitu jenis plastik PET sebesar 45,40% dan jenis plastik yang menghasilkan *wax* tertinggi yaitu jenis plastik HDPE sebesar 69,91%.

Ramadhan, (2013) menggunakan plastik HDPE dan LDPE sebagai bahan penelitian pirolisis sampah plastik. Bahan yang digunakan pertama-tama dibersihkan kemudian dijemur lalu dipotong-potong menjadi ukuran 1-2 cm<sup>2</sup>. Kemudian ditimbang dengan berat awal 500 gram. Setelah itu dimasukkan kedalam reaktor. Setelah mencapai suhu yang ditentukan, maka waktu mulai dihitung sebagai waktu awal. Alat pirolisis yang digunakan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian alat percobaan

Setelah dilakukan proses pirolisis dapat disimpulkan bahwa hasil pirolisis dengan efisiensi terbaik dalam menguraikan sampah plastik terjadi pada suhu  $420^{\circ}\text{C}$  dengan waktu operasi 60 menit, hasil minyak terbanyak plastik LDPE dan HDPE terjadi pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  dengan waktu 60 menit, Kinematika pada plastik HDPE mempunyai nilai  $k = 0,12468 \exp(-95842/RT)$  sedangkan Kinematika pada plastik LDPE mempunyai nilai  $k = 0,02004 \exp(-7660/RT)$ , serta minyak pirolisis ini memiliki karakteristik yang hampir sama dengan karakteristik minyak diesel.

Surono, (2013) melakukan berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Metode yang digunakan antara lain *hidro cracking*, *thermal cracking*, dan *catalytic cracking*. Dari berbagai metode penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Sampah plastik jenis polietilene atau pilipropilene dapat diolah dengan proses hydrocracking yang dibantu dengan katalis menjadi hidrokarbon rantai pendek (sekelas bensin), Pada proses konversi sampah plastik jenis LDPE dengan *thermal cracking* tanpa katalis akan menghasilkan minyak yang setara dengan kerosin, Campuran plastik PE dan PP yang diproses dengan *thermo cracking* pada temperatur

$450^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam dan selanjutnya dikondensasikan pada temperatur  $21^{\circ}\text{C}$  akan menghasilkan minyak yang mempunyai jumlah atom karbon yang setara dengan solar, yaitu C12 – C17, Pada proses konversi sampah plastik jenis LDPE dengan *thermal cracking* dan *catalytic cracking* akan menghasilkan jumlah minyak yang optimal pada temperatur pirolisis  $550^{\circ}\text{C}$  dan perbandingan katalis/sampah plastik

1 : 4, Uji unjuk kerja mesin dari bahan bakar campuran solar dengan minyak dari sampah plastik PVC pada mesin diesel, menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, SFC yang lebih rendah dan efisiensi termal yang lebih tinggi dibanding bahan bakar solar murni.

Hamid dkk, (2016) melakukan penelitian tentang penanganan limbah plastik dengan teknologi pirolisis dan biodegradasi dengan bakteri *Pseudomonas sp.* Dengan menggunakan bahan limbah plastik dengan jenis PP sebanyak 200 gram, LDPE 200 gram, dan PET sebanyak 600 gram. Berdasarkan hasil penelitian pirolisis dan biodegradasi dengan bakteri *Pseudomonas sp* menggunakan kolom *Winogradsky* maka dapat disimpulkan bahwa waktu dan suhu efisien pirolisis berdasarkan penurunan massa limbah plastik adalah pada suhu 400°C dengan waktu operasi 60 menit, dengan penurunan massa sebesar 82,3651%. Hubungan antara konversi *volatile matter* terhadap waktu dan suhu operasi adalah berbentuk linear maka hal ini dapat membuktikan bahwa reaksi kimia yang berperan, sehingga kita dapat mengkorelasikan dengan baik data terhadap model homogen semu berdasarkan model kinetika reaksi heterogen, sehingga anggapan bahwa mekanisme reaksi mengikuti model reaksi homogen semu dapat dibenarkan. Bakteri *Pseudomonas sp* dapat ditemukan pada lingkungan yang tercemar hidrokarbon cukup tinggi berdasarkan hasil isolasi dan inokulasi. Berdasarkan uji biodegradasi dengan bakteri *Pseudomonas sp* menggunakan kolom *Wonogradsky*, penurunan massa limbah plastik sebesar 2,2411% selama satu bulan. Penurunan massa limbah plastik dengan mengombinasikan teknologi pirolisis dan biodegradasi dengan bakteri *Pseudomonas sp* sebesar 82,3651%.

## **2.2 Dasar Teori**

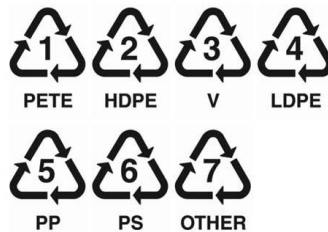
### **2.2.1 Pengertian Plastik**

Plastik yaitu polimer rantai panjang atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau “monomer”. Plastik yang sering kita lihat atau umum adalah terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, chlorine atau belerang di tulang belakang. Tulang-

belakang ialah satuan dari rantai di jalur utama yang menyambungkan unit monomer menjadi satu kesatuan. Untuk mengeset properti plastik grup molekuler berlainan “bergantung” dari tulang-belakang (biasanya “digantung” sebagai bagian dari monomer sebelum menyambungkan monomer bersama untuk membentuk rantai polimer) (KantInIlmu, 2017).

### 2.2.2 Jenis-jenis Plastik

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *termosetting*. *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 cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Berdasarkan Gambar 2.4, Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya serta ada tujuh jenis plastik yang biasa dijumpai dalam kehidupan sehari-hari (Tabel 2.2).



Gambar 2.5 Nomor kode plastik (InformasiTips, 2017)



Tabel 2.2 Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Surono, 2013)

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 Polyethylene)	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4	LDPE (Low-density Polyethylene)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP (Polypropylene 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, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego

### 2.2.3 Pirolisis

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>), tar (*pyrolitic oil*), dan arang (Ramadhan, 2013)

Pirolisis adalah teknik memanggang sampah (limbah plastik) tanpa O<sub>2</sub> dan dilakukan pada suhu tinggi yaitu antara 800°C sampai 1000°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<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang merupakan gas non toksik. Proses pirolisis menghasilkan senyawa-senyawa hidrokarbon cair mulai dari C<sub>1</sub> sampai C<sub>4</sub> dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin (Ermawati, 2011).

Pirolisis merupakan salah satu pengolahan sampah yang dapat mengurangi berat dan volume sampah, serta menghasilkan produk yang lain,

antara lain: (I) gas yang mengandung nilai kalori rendah hingga sedang, sehingga dapat digunakan untuk bahan bakar alternatif; (II) char/residu hasil pembakaran sampah yang mengandung nilai kalori tinggi, dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif; (III) *wax* yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dan merupakan sumber dari bahan kimia, selain itu juga proses tersebut akan menghasilkan air yang mengandung bahan-bahan organik (Rachmawati, 2015).

Pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan-bahan polimer seperti plastik dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Proses ini umumnya berlangsung pada temperatur antara 400°C -800°C tergantung dari jenis plastik dan target produknya. Produk dari pirolisis ini terdiri dari fraksi gas, cair dan residu padatan. Pada suhu tersebut, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas. Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek. Selanjutnya proses pendinginan dilakukan pada gas tersebut sehingga akan mengalami kondensasi dan membentuk cairan. Cairan inilah yang nantinya menjadi bahan bakar, baik berupa bensin maupun bahan bakar diesel (Syamsiro dkk, 2016).

#### **2.2.4 Bahan Bakar Cair**

Bahan bakar cair merupakan campuran dari senyawa hidrokarbon yang didapat dari alam maupun secara buatan. Umumnya bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Kemungkinan dimasa yang akan datang bahan bakar cair yang berasal dari *oil shale*, *tar sands*, batu bara dan biomassa akan meningkat jumlahnya. Minyak bumi berasal dari campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit metal, dan mineral (Wiratmaja, 2010).

Ada beberapa kelebihan dan kekurangan dari bahan bakar cair. Kelebihannya adalah :

1. Hasil pembakaran lebih bersih
2. Peralatan lebih sederhana
3. Lebih mudah dalam penanganan

Sedangkan kekurangan dari bahan bakar cair adalah untuk memurnikan bahan bakar cair membutuhkan peralatan dan proses yang cukup kompleks.

## 2.2.5 Karakteristik bahan bakar cair

Sebelum menggunakan bahan bakar cair untuk mengoperasikan mesin atau peralatan lainnya, terlebih dahulu mengetahui karakteristik bahan bakar cair tersebut agar pembakaran yang dihasilkan lebih optimal. Adapun karakteristik bahan bakar cair yang sering dijumpai adalah sebagai berikut:

### 2.2.5.1 Titik nyala (*Flash Point*)

Titik nyala merupakan suhu terendah dari bahan bakar minyak yang akan timbul nyala api sesaat apabila permukaan bahan bakar minyak tersebut didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini perlu diketahui karena adanya pertimbangan keamanan pada penyimpanan dan pengangkutan bahan bakar minyak pada bahaya kebakaran. Titik nyala sangat berpengaruh dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel dan ketel uap. Titik nyala dari berbagai jenis bahan bakar minyak sangatlah berbeda, perbedaan tersebut dapat dilihat dari Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Flash Point Biodiesel* (Hasanah, 2014)

Bahan bakar	Titik Nyala	Suhu Nyala
Etanol (70%)	16,6°C (61,9°F) (2)	363°C (685°F) (2)
Bensin	-43°C (-45°F) (3)	280 °C (536°F) (4)
Diesel (2-D)	>52°C (126°F) (3)	256 °C (493°F) (4)
Bahan bakar jet (A/A-1)	>38°C (100°F)	210 °C (410°F)
Minyak Tanah	>38-72°C (100-162°F)	220 °C (428°F)
Minyak Sayur	327°C (621°F)	
BIodiesel	>130°C (266°F)	

### 2.2.5.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas atau tingkat kekentalan adalah angka yang menunjukkan sifat cairan yang berhubungan dengan nilai hambatan. Dimana semakin besar nilai viskositasnya, maka semakin besar pula tingkat hambatannya.

Untuk mengukur nilai viskositas suatu zat cair dapat menggunakan alat viscometer. Viscometer adalah sebuah alat uji yang digunakan untuk mengukur dan menganalisa tingkat kekentalan (viskositas) pada suatu zat cair..

Mengetahui nilai Viskositas dari suatu zat cair sangat penting karena berpengaruh dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Nilai Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan sulit dalam proses pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang buruk akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat. Faktor - faktor yang mempengaruhi viskositas adalah sebagai berikut :

a. Tekanan

Nilai Viskositas suatu zat cair akan naik jika dipengaruhi oleh tekanan, sedangkan viskositas gas tidak dipengaruhi oleh tekanan.

b. Temperatur

Dengan menaikkan suhu, nilai viskositas akan turun. Sedangkan nilai viskositas gas akan naik dengan naiknya suhu. Proses pemanasan zat cair menyebabkan molekul-molekul yang terkandung dalam zat cair tersebut memperoleh energi. Molekul-molekul cairan yang bergerak akan menimbulkan gaya interaksi antar molekul menjadi melemah. Maka viskositas suatu zat cair akan turun dengan naiknya temperatur.

c. Kehadiran zat lain

Penambahan zat lain seperti bahan suspense akan menaikkan nilai viskositas.

d. Ukuran dan berat molekul

Nilai viskositas akan naik bersamaan dengan naiknya berat molekul.

e. Berat molekul

Nilai viskositas akan naik apabila ikatan rangkap antar molekul semakin banyak.

f. Konsentrasi larutan

Nilai viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi maka akan memiliki viskositas yang tinggi pula, karena konsentrasi larutan adalah banyaknya partikel zat yang terlarut tiap satuan volume. Semakin banyak pula partikel yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan nilai viskositasnya semakin tinggi pula

**2.2.5.3 Density (Densitas)**

Densitas adalah jumlah massa benda persatuan volume. Besaran yang sering disebut rapatan memiliki rumus.

$$\rho = m/v \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

$\rho$  = massa jenis (densitas)

m = massa benda

v = volume benda

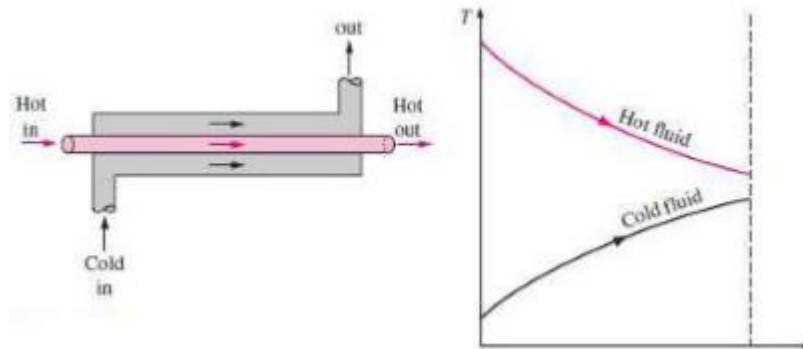
Densitas atau rapatan merupakan perbandingan antara dua besaran pokok, yaitu massa dan volume. Besarnya densitas atau massa jenis tergantung pada jumlah benda (ekstensif).

**2.2.5.4 Nilai Kalor**

Nilai kalor atau *heating value* adalah jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran persatuan volume atau peratuan massanya. Nilai kalor bahan bakar menentukan jumlah konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Makin tinggi nilai kalor bahan bakar menunjukkan bahan bakar tersebut semakin sedikit pemakaian bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar ditentukan berdasarkan hasil pengukuran dengan kalorimeter dilakukan dengan membakar bahan bakar dan udara pada temperatur normal, sementara itu dilakukan pengukuran jumlah kalor yang terjadi sampai temperatur dari gas hasil pembakaran turun kembali ke temperatur normal (Tazi, 2011).

### 2.2.6 Tipe aliran sejajar (*parallel flow*)

Penukar kalor tipe aliran sejajar atau sering disebut dengan *parallel flow* yaitu penukar kalor dengan fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar pada arah yang sama (Cengel, 2003: 668).



Gambar 2.6 *Parallel Flow* (Cengel, 2003)

Laju perpindahan panas *parallel flow*:

$$q = \dot{m}_c c_c ( T_{c2} - T_{c1} ) \dots \dots \dots 2.2$$

Dimana :

$\dot{m}_c$  = Laju masa fluida (kg/s) untuk debit 6 liter / menit = 0,1 kg/s

$c_c$  = Kalor jenis air ( 4180 kg/ J °C)

$T_{c1}$  = Suhu keluar fluida pendingin

$T_{c2}$  = Suhu masuk fluida pendingin