

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pirolisis sudah banyak diteliti oleh peneliti pendahulu. Variabel dan alat yang digunakan dalam penelitiannya juga sudah bervariasi. Akan tetapi masih terdapat kekurangan dalam praktiknya. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pemanfaatan sampah plastik dengan lebih optimal yaitu dengan melakukan variasi kemiringan kondensor/pendingin. Dengan langkah ini diharapkan dapat menghasilkan minyak plastik secara optimal dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

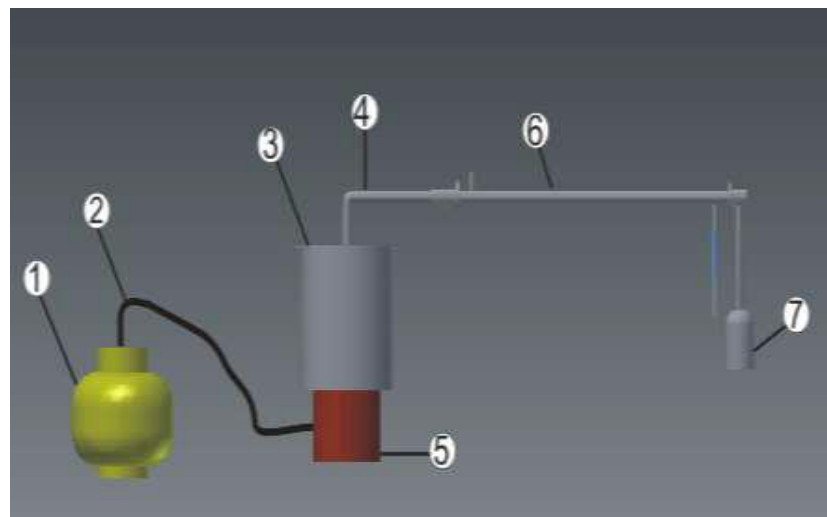
Penelitian sebelumnya yang menjadi bahan pertimbangan yaitu penelitian Gaurav dkk (2014) dengan judul "*Conversion Of Ldpe Plastic Waste Into Liquid Fuel By Thermal Degradation*". Penelitian ini dilakukan dengan bahan baku sampah plastik LDPE dengan suhu pirolisis diatas 300°C-500°C tanpa oksigen. Pemanasan dimulai ketika suhu mencapai 100°C ketika plastik meleleh menjadi cair. Saat suhu mencapai 270°C plastik mulai berubah menjadi uap dan mengalir melewati kondensor. Pemanasan akan berlanjut dan stabil sampai suhu 400°C. Penelitian ini menghasilkan 90% minyak dan 4% abu. Minyak yang dihasilkan harus dipisahkan zat pengotor. Karakteristik minyak yang dihasilkan bisa dilihat di tabel 2.1

Tabel 2.1 karakteristik minyak plastik hasil penelitian Gaurav dkk (2014)

No	Properties	Value
1	Density	702.5 kg/m <sup>3</sup>
2	Viscosity	5.27 m. Poise
3	Flash Point	22°C
4	Fire Point	29°C
5	Calorific Value	43796.02 KJ/kg

Penelitian yang dilakukan Haryadi (2015) tentang "Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin pada Kondensor terhadap hasil Pengembunan proses pirolisis

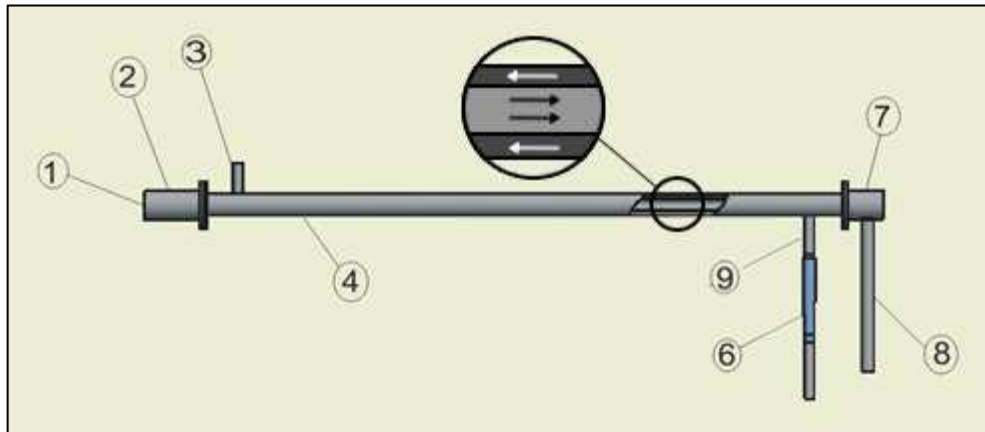
Limbah Plastik” menggunakan plastik jenis HDPE dalam penelitiannya. Pirolisis yang dilakukan menggunakan suhu  $300^{\circ}\text{C}$  dengan lama pemanasan 17,5 menit. Bahan yang digunakan adalah PP (*polypropylene*) dan *High Density Polyethylene* (HDPE). Pemanasan dilakukan dengan bahan bakar LPG dan dengan 2 arah aliran uap dan air yang berbeda yaitu paralele flow dan conter flow. Hasilnya pirolisis PP dan HDPE optimal dilakukan dengan arah aliran counter flow dengan hasil perpindahan kalor 1.642 Watt dan menghasilkan 360ml minyak plastik PP. Sedangkan hasil minyak HDPE adalah 400 ml dengan perpindahan kalor tertinggi 1.218 Watt.



Gambar 2.1 Skema alat pirolisis Haryadi

Keterangan gambar :

1. Tabung Gas
2. Regulator, dan Selang gas
3. Reaktor
4. Kran Valve + Pipa penghantar
5. Selang gas dan regulator
6. Kondensor *Tipe Double pipe*
7. Penampung

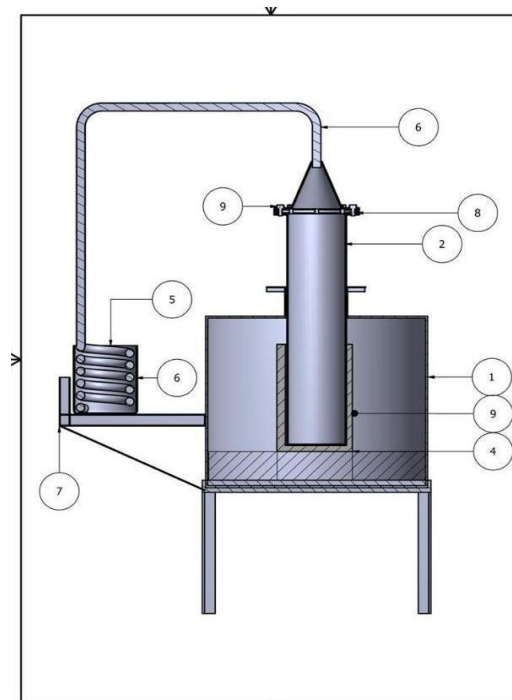


Gambar 2.2. Skema kondensor Haryadi

Keterangan gambar :

1. *Head* kondensor
2. Lubang uap masuk
3. Pipa penyalur air keluar
4. Pipa luar kondensor
5. Pipa dalam kondensor
6. *Flowmeter*
7. *Rear* Kondensor
8. Pipa keluar minyak plastic
9. Pipa penyalur air masuk

Kanika Mathur dan Chaudhari Shubham (2016) juga melakukan penelitian tentang pirolisis sampah plastic limbah dari sisa molding. Alat pirolisis yang dibuat bisa menghasilkan minyak plastic sebanyak 1,65 liter dari 1,5 Kg sampah plastic yang dipirolisis pada suhu 400 °C dengan waktu pirolisis 85 menit.



Gambar 2.3. Skema alat pirolisis Kanika Mathur dan Chaudhari Shubham

Keterangan :

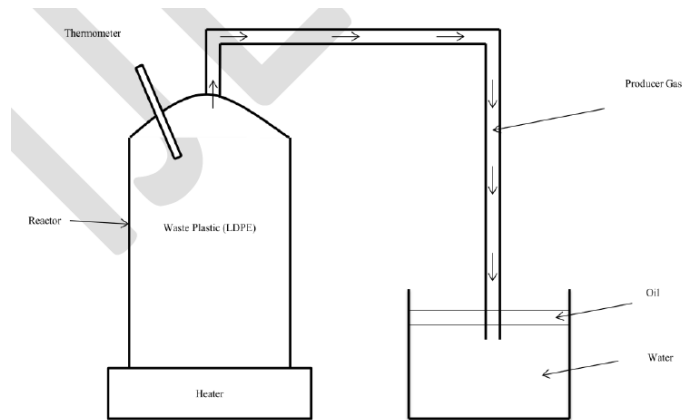
1. Frame
2. Heating Chamber
3. Furnace (Heating coil of 3kW)
4. Insulations
5. Condenser
6. Tank
7. Bracket
8. Gasket
9. Nut, Bolt & Washer



Gambar 2.4 Alat pirolisis Kanika Mathur dan Chaudhari Shubham

Alat pirolisis pada gambar 2.4 menggunakan reactor dengan diameter 52 cm dan tinggi 42 cm. Kondenser berbentuk tabung dengan pipa untuk mengalirkan asap berbentuk melingkar dengan diameter melingkar 28 cm bertujuan untuk memperluas bidang kontak dengan fluida pendingin.

Penelitian pirolisis lain dilakukan oleh Sudhir B. Desai dan Chetan K. Galage menggunakan bahan baku plastic LDPE seberat 150 gr. Suhu pembakaran dijaga antara 300 °C. Pirolisis dilakukan selama 35 menit dan menghasilkan 100ml minyak dan 150gr abu sisa pembakaran. Skema alat yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5. Skema alat pirolisis Sudhir B. Desai dan Chetan K. Galage

Hendra Prasetyo dkk merancang alat pirolisis sederhana sebagai upaya mengurangi pencemaran sampah plastic. Pengujian yang dilakukan menggunakan dua bahan baku yang berbeda yaitu plastic dari botol bekas dan plastic kresek. Pada percobaan plastic dari botol bekas sebanyak 1kg dipirolisis selama 25 menit menggunakan suhu 200 °C menghasilkan minyak sebanyak 500ml. Percobaan kedua menggunakan bahan plastic kresek dengan suhu pirolisis 300 °C selama 30 menit menghasilkan 500ml minyak plastic.

Skema alat yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 Alat pirolisis Hendra Prasetyo dkk

Pengujian lain dilakukan oleh Ricki Rafli dkk (2017) menggunakan sampah plastik jenis PP 2 kg dalam waktu 3 jam 15 menit dan menghasilkan bahan bakar minyak 1,25 liter. Suhu pada percobaan dilakukan pada 400 °C -800 °C. Alat yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.7berikut :



Gambar 2.7 alat pirolisis Ricki Rafli dkk

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pirolisis

Pirolisis adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada suhu sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan volatile matters pada sampah plastik akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya (Aprian dkk, 2009). Pirolisis adalah proses penguraian material organik secara thermal pada temperatur tinggi tanpa adanya oksigen (Mustofa dkk., 2013).

Teknik pirolisis telah digunakan sudah lama untuk peningkatan residu hidrogenasi yang diperoleh dari pencairan/pelelehan batubara. Keunggulan dari pirolisis dibandingkan dengan pembakaran (*incineration*), yaitu dapat mereduksi gas buang hingga 20 kali lipat. Disisi lain, produk pirolisis dapat dimanfaatkan lebih fleksibel dan penanganannya lebih mudah (Gaurav dkk, 2014).

Pirolisis dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan tingkat kecepatan laju reaksinya, yaitu pirolisis primer lambat dan pirolisis primer cepat. Pada 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 150-300 °C. Pirolisis primer lambat biasa digunakan untuk proses pembuatan arang. Oleh karena itu, untuk menghasilkan arang dalam jumlah besar dan baik mutunya diperlukan waktu berhari-hari bahkan berminggu-minggu. (Ilham, 2014)

Proses pirolisis sampah plastic dapat menghasilkan asap cair (minyak plastic), arang/abu yang merupakan sisa pembakaran, gas yang terkondensasi dan gas yang tidak terkondensasi. Minyak plastic memiliki karakter yang tidak jauh berbeda dengan karakter BBM yang beredar di pasaran. Karena kemiripan karakteristik tersebut minyak plastic hasil pirolisis dapat digunakan sebagai pengganti sumber BBM alternatif.

Pirolisis sampah plastik merupakan teknologi yang masih perlu dikembangkan. Kendala yang biasa ditemui dalam proses pirolisis adalah proses kondensasi yang kurang optimal. Di dalam reaktor terjadi kontak antar fluida gas dengan limbah plastik. Kontak ini menyebabkan terbawanya material hidrokarbon yang telah mengalami *cracking* atau perengkahan. Sering terjadi penyebaran fluida gas yang tidak merata saat proses kontak berlangsung. Hal ini disebabkan karena adanya penggelembungan, penorakan, dan saluran-saluran fluida yang terpisah. Akibatnya kontak antara fluida dari sampah plastic dengan fluida pendingin menjadi tidak maksimal. Hal ini tentu berpengaruh pada minyak plastic yang dihasilkan. Gas yang gagal terkondensasi akan terbuang ke lingkungan dan mengurangi kualitas minyak plastic yang dihasilkan.

## **2.2.2 Plastik**

### **2.2.2.1 Pengertian Plastik**

Plastik adalah makromolekul yang dibentuk melalui proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer) melalui proses kimia. Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen (Surono, 2013).



Sampah plastik merupakan salah satu sampah organik yang diproduksi setiap tahun oleh seluruh dunia. Pada umumnya sampah plastik tersebut memiliki komposisi 46 % *polyethylene* (HDPE dan LDPE), 16 % *polypropylen* (PP), 16 % *polystyrene* (PS), 7 % *polyvinyl chloride* (PVC), 5 % *polyethylene terephthalate* (PET), 5 % *acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS), dan 5 % polimer-polimer yang lainnya (Vasile, 2002).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplas dan termoset. Thermoplas adalah merupakan plastik yang dapat didaur ulang melalui proses pemanasan. Sedangkan termoset adalah plastik yang tidak dapat didaur ulang. Pemanasan akan menyebabkan kerusakan pada maolekul-molekulnya. (Krisna, 2013).

#### 2.2.2.2 Jenis-jenis Plastik

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplas adalah plastic yang dapat didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Berikut ini adalah macam-macam plastik dan kegunaannya :

Kode 1: PETE atau PET (*Polyethylene terephthalate*)



PETE atau PET (*polyethylene terephthalate*) biasa dipakai untuk botol plastik yang transparan seperti botol air mineral dan botol minuman lainnya. Botol atau produk dari bahan plastik ini hanya bisa digunakan sekali pakai saja, karena apabila dipakai berulang partikel berbahaya yang ada dibahan ini akan lepas dan mengakibatkan penyakit kanker dalam jangka panjang.

Kode 2: HDPE (*High density polyethylene*)



HDPE (*high density polyethylene*) mempunyai sifat bahan yang kuat, keras, dan mempunyai ketahanan terhadap suhu tinggi. Bahan ini biasanya dipakai

untuk botol susu yang berwarna putih, tupperware, galon air mineral dan sebagainya.

Kode 3: V atau PVC (*Polyvinyl chloride*)



V atau PVC (*polyvinyl chloride*) yaitu plastik yang sulit untuk didaur ulang. Plastik ini bisa ditemukan pada plastik pembungkus.

Kode 4: LDPE (*Low density polyethylene*)



LDPE (*low density polyethylene*) biasanya dipakai untuk tempat pembungkus makanan, plastik kemasan, dan botol-botol. Barang-barang dengan kode jenis ini dapat di daur ulang dan baik untuk barang-barang yang fleksibilitasnya besar akan tetapi kuat. Bahan ini bisa dibilang tidak dapat dihancurkan tetapi tetap baik untuk tempat makanan, karena sulit bereaksi secara kimia dengan makanan yang dikemas.

Kode 5: PP (*Polypropylene*)



PP (*polypropylene*) mempunyai karakteristik transparan, berwarna putih tetapi tidak jernih, dan mengkilap. Polypropylen lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, tahan terhadap lemak, stabil terhadap suhu yang tinggi.

Kode 6: PS (*Polystyrene*)



PS (*polystyrene*) biasanya dipakai sebagai bahan tempat makan styrofoam, tempat minum satu kali pakai, dll. Bahan Polystyrene bisa bocor dan bahan styrene masuk ke dalam makanan ketika makanan tersebut terkena. Bahan Styrene berbahaya untuk otak, mengganggu hormon pada wanita yang berakibat pada reproduksi, dan syaraf.

Kode 7: *OTHER*



Untuk jenis plastik 7 *Other* ini ada 4 jenis, yaitu SAN (*styrene acrylonitrile*), ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*), PC (*polycarbonate*) dan nylon. ( sumber : Dickson, 2017)

### 2.2.3 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 bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral (Wiratmaja, 2010).

Dengan kemudahan penggunaan, ditambah dengan efisiensi thermis yang lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. 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 :

- a. Kebersihan dari hasil pembakaran.
- b. Menggunakan alat bakar yang lebih kompak.
- c. Penanganannya lebih mudah.

Salah satu kekurangan bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks.

### 2.2.4 Karakteristik Bahan Bakar

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

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

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

Titik nyala 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 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. Contoh beberapa titik flash point bisa dilihat pada table 2.2 berikut:

Tabel 2.2. Tabel *Flash Point Biodiesel* (Dermanto, 2014)

Bahan bakar	Flash point (°C)
Bensin	7.2
Solar	51.6
Biodiesel	148.8

#### 2.2.4.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, maka makin sulit suatu fluida mengalir dan makin sulit suatu benda bergerak. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. Sedangkan dalam gas, viskositas timbul sebagai akibat tumbukan antara molekul gas. Cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viscometer yang digunakan , dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus disebutkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas merupakan sifat yang penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang optimal. 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 atau dinding burner. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat. Faktor - faktor yang mempengaruhi viskositas adalah sebagai berikut (Rana, 2015):

a. Tekanan

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

b. Temperatur

Viskositas zat cair akan turun dengan naiknya suhu, sedangkan viskositas gas akan naik dengan naiknya suhu. Pemanasan zat cair menyebabkan molekul-molekulnya memperoleh energi. Molekul-molekul cairan bergerak sehingga menimbulkan gaya interaksi antar molekul menjadi melemah.

c. Kehadiran zat lain

Penambahan gula tebu dapat mengakibatkan meningkatkan viskositas air. Adanya bahan tambah seperti bahan suspensi akan menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun gliserin, adanya penambahan air akan menyebabkan viskositasnya menurun karena gliserin maupun minyak akan semakin encer pada waktu alirannya cepat.

d. Ukuran dan berat molekul

Viskositas akan naik bersamaan dengan naiknya berat molekul. Misalnya laju aliran alkohol cepat, larutan minyak laju alirannya lambat dan kekentalannya tinggi sehingga viskositasnya juga tinggi.

e. Berat molekul

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap antar molekul semakin banyak.

f. Kekuatan antar molekul

Viskositas air akan naik dengan adanya ikatan molekul hidrogen, viskositas molekul CPO dengan gugus OH pada trigliserida naik dalam keadaan sama.

g. Konsentrasi larutan

Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula, karena konsentrasi larutan menyatakan bahwa banyaknya partikel zat yang terlarut tiap

satuan volume. Semakin banyak pula partikel yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula.

### 2.2.4.3 Nilai Kalor (*Calorific Value*)

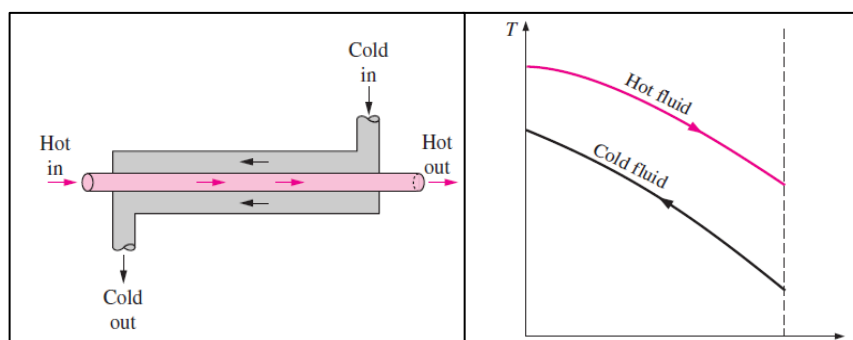
Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas / kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/ oksigen. Nilai kalor dari bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18,300 – 19,800 Btu/lb atau 10,160 -11,000 kkal/kg. Nilai kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada bomb calorimeter. Peralatan ini terdiri dari container stainless steel yang dikelilingi bak air yang besar. Bak air tersebut bertujuan meyakinkan bahwa temperatur akhir produk akan berada sedikit diatas temperatur awal reaktan, yaitu 25 °C.

Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 adalah sebesar  $\pm 10,500$  kkal/kg. Nilai kalori diperlukan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan british).

## 2.2.5 Tipe Aliran Penukar Kalor

### 2.2.5.1 Aliran berlawanan arah (counter flow)

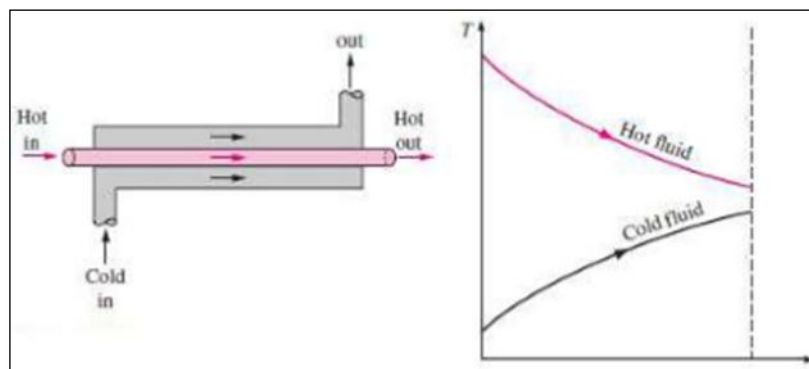
Penukar kalor tipe aliran berlawanan arah atau counter flow adalah penukar kalor yang fluida panas dan fluida dinginnya masuk dan keluar pada arah yang berlawanan arah. (cengel, 2003). Skema dan grafik rata-rata  $\Delta T$  dalam aliran counter flow dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8 Skema dan grafik rata-rata  $\Delta T$  counter flow

### 2.2.5.2 Aliran sejajar (Parallel flow)

Penyuar kalor tipe aliran sejajar atau sering disebut dengan parallel flow yaitu penyuar kalor dengan fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar pada arah yang sama (Cengel, 2003). Skema dan grafik rata-rata  $\Delta T$  dalam aliran parallel flow dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8 Skema parallel flow. (Cengel, 2003).

Laju perpindahan panas *parallel flow* :

$$q = m.c ( T_3 - T_2 )$$

Laju perpindahan panas *counter flow* :

$$q = m.c ( T_2 - T_3 )$$

Dimana :  $m$  = Laju masa fluida (kg/s) untuk debit 18 liter / menit = 0,3 kg/s

$c$  = Kalor jenis air ( 4180 J / Kg °C)

$T_3$  = Suhu keluar fluida pendingin

$T_2$  = Suhu masuk fluida pendingin