

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pirolisis sebagai metode pengolahan dalam memanfaatkan limbah ban sudah dilakukan sejak lama. Penelitian tentang manfaat pirolisis untuk limbah ban sudah banyak dilakukan sebelumnya oleh peneliti pendahulu. Penelitian pirolisis dari limbah ban bertujuan untuk mengembangkan penelitian sebelumnya yang mempunyai variasi berbeda-beda. Modifikasi dengan menambahkan alat dan melakukan variasi sudut kemiringan pada kondensor atau pendingin diharapkan akan menghasilkan minyak dari limbah ban yang lebih optimal. Dengan langkah ini, pemanfaatan limbah ban melalui metode pirolisis diharapkan menjadi salah satu solusi guna membantu mengurangi pencemaran lingkungan.

Syamsiro dkk. (2016) melakukan penelitian menggunakan bahan baku sampah ban dalam sepeda motor yang dipotong kecil berukuran 2x2 cm dan ban luar yang dicacah, masing-masing massa ban yang digunakan 500 gram setiap eksperimen dengan campuran katalis sebanyak 75 gram. Suhu pirolisis yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan suhu 250°C, 300°C, dan 350°C yang dilakukan didalam sebuah reaktor tipe *rotary klin*. Pada penelitian ini suhu yang paling optimal untuk menghasilkan minyak adalah pada suhu 350°C dapat menghasilkan minyak 10,92% untuk ban dalam dan 13,6% untuk ban luar. Dengan penambahan katalis produk minyak yang dihasilkan bertambah sebesar 3,19% untuk ban dalam dan 2,14% untuk ban luar. Dari pengaruh jenis ban yang digunakan pada penelitian ini, menunjukkan bahwa ban luar menghasilkan minyak yang lebih banyak dibandingkan dengan ban dalam. Pengaruh penggunaan katalis hanya berpengaruh sedikit terhadap produksi minyak yang dihasilkan baik untuk ban dalam maupun ban luar. Karakteristik minyak yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik minyak ban hasil penelitian (Syamsiro dkk., 2016)

No.	Properties	Jenis Bahan	Non Katalis	Katalis
1	Viskositas (mPa.s)	Ban dalam	1,58-2,16	1,18-2,42
		Ban luar	1,31-1,92	1,14-2,11
2	Densitas (g/cm ³)	Ban dalam	0,75-0,80	0,80-0,90
		Ban luar	0,81-0,86	0,80-0,84
3	Nilai Kalor (MJ/kg)	Ban	35,45	

Mukharomah (2017) melakukan penelitian menggunakan bahan ban bekas yang dipotong berukuran 1x1 cm dan serbuk katalis zeolit. Proses pirolisis menggunakan variasi suhu 250°C, 300°C, dan 350°C di dalam reaktor dengan tekanan 1 atmosfer selama kurun waktu 60 menit, suhu kondensor dibuat konstan 26°C. Pada penelitian ini minyak yang dihasilkan paling banyak pada suhu 350°C sebanyak 190 ml untuk ban murni, sedangkan ban dengan campuran katalis menghasilkan minyak sebanyak 165 ml. Sifat karakteristik minyak yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik minyak ban murni hasil penelitian (Mukharomah, 2017) terhadap pengaruh variasi temperatur

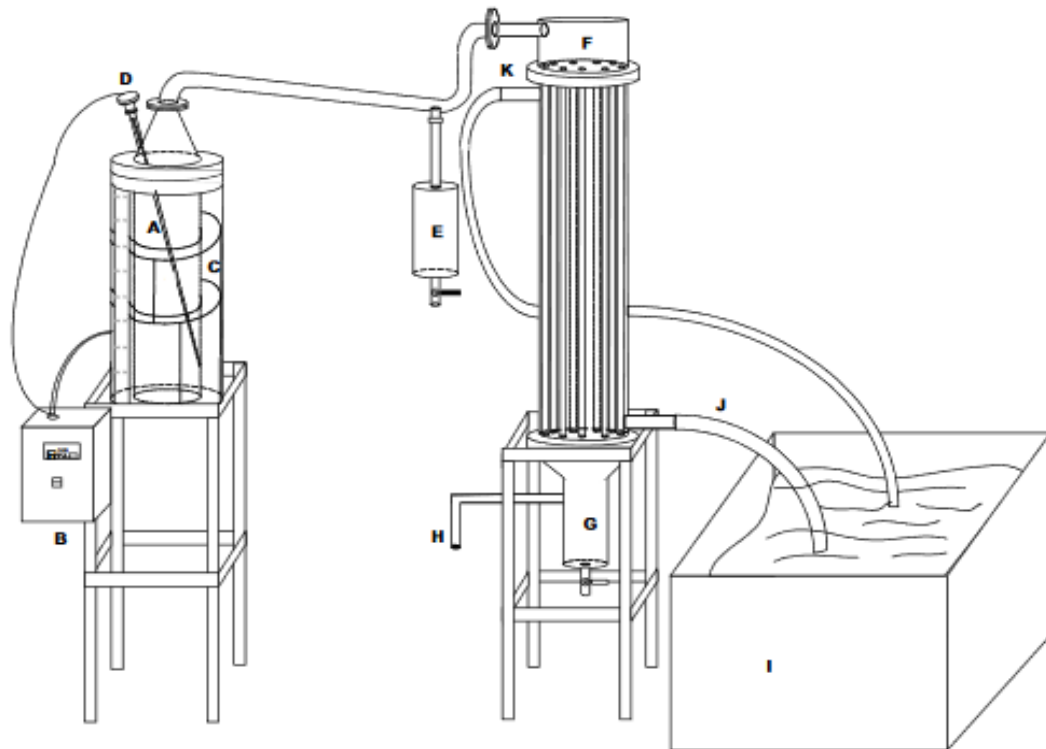
Properties	Suhu Pirolisis (°C)		
	250	300	350
Viskositas (mPa.s)	30	29	30
Densitas (kg/m ³)	730	710	730
Flash Point (°C)	30	29	30

Hasyim (2017) juga melakukan penelitian dengan variasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C di dalam reaktor selama 60 menit. Bahan baku yang digunakan dengan perbandingan 2,5 kg ban bekas dan 2,5 kg serabut kelapa sawit menghasilkan minyak terendah pada suhu 250°C sebanyak 120 ml, sedangkan hasil minyak terbanyak didapat pada suhu 450°C yaitu 220 ml. Karakteristik minyak hasil yang paling optimal pada penelitian ini didapat pada

suhu 350°C dengan nilai viskositas 33 mPa.s, nilai densitas 790 kg/m³, dan flash point 30°C.

Saputra dan Arijanto (2017) melakukan penelitian dengan bahan yang digunakan adalah ban bekas dengan massa 1000 gr yang dipotong menjadi ukuran 2-3 cm. Pirolisator yang digunakan dideasin fix bed karena untuk penelitian skala kecil, alat dapat dilihat pada Gambar 2.1. Suhu yang digunakan pada penelitian ini yaitu 250°C-350°C dengan bahan bakar untuk pembakaran menggunakan LPG. Pengujian dilakukan selama 60 menit dengan metode pendinginan *counter flow* dan *parallel flow*. Pendinginan dengan metode *counter flow* menghasilkan minyak sebanyak 165 gr (200 ml), arang 691 gr, gas 144 gr, dan LPG yang digunakan 42 gr. Sedangkan metode *parallel flow* menghasilkan minyak sebanyak 154 gr (170 ml), arang 706 gr, gas 140 gr, dan LPG yang digunakan 42 gr. Pendinginan dengan *counter flow* menyerap kalor sebesar 1177,65 kJ dan hilang pada gas sebesar 505,62 kJ, sedangkan pendinginan *parallel flow* hanya menyerap kalor 1135,52 kJ dan hilang pada gas sebesar 577,16 kJ.

Falaah. Cifriadi dan Maspanger. (2013) melakukan penelitian pirolisis limbah ban. Produk hasil percobaan proses pirolisis adalah berupa fase padat, cair, dan gas. Fase padat berupa arang hitam (*char*), sedangkan fase cair berupa asap cair atau pirolisat, tar dan fase gas berupa gas yang tidak terkondensasi. Jumlah pirolisat terbanyak pada 3 kg serbuk dan diperoleh pada suhu pirolisis 500°C selama 2 jam dan pada 3,51 kg serbuk ban perolehan terbanyak pada suhu 500°C selama 3 jam. Semakin tinggi suhu pirolisis dan waktu pirolisis yang lama semakin banyak pirolisat yang diperoleh. Pirolisat yang diperoleh dari percobaan tidak lebih dari 10%. Kisaran nilai yang rendah tersebut lebih dominan digambarkan oleh proses pirolisis skala kecil. Persentase perolehan pirolisat juga dipengaruhi proses kondensasi pada unit kondensor yang masih kurang sempurna, sehingga menyebabkan gas yang terbentuk selama proses pirolisis tidak terkondensasi dan keluar melalui pipa indikator. Perolehan arang paling sedikit 50,43% dan paling tinggi 65,33% berat total. Perolehan arang dipengaruhi oleh waktu dan suhu pirolisis. Semakin tinggi suhu pirolisis maka perolehan arang semakin menurun (Zabaniotou and Stravropoulos, 2003).



Gambar 2.1 Skema reaktor pirolisis Falaah. Cifriadi dan Maspanger. (2013)

Keterangan gambar 2.1 :

A : Reaktor Pirolisis (*Pyrolytic Reactor*)

B : Kotak Pengendali Suhu (*Temperature Control Box*)

C : Elemen Pemanas (*Heater Element*)

D : Termo Kopel (*Thermo Couple*)

E : Penampung Tar (*Collecting Tar*)

F : Unit Pendingin (*Condensor unit*)

G : Penampung Pirolisat (*Collecting Pyrolizate*)

H : Pipa Indikator (*Indicator Pipe*)

I : Tangki Sirkulasi Air Pendingin (*Cooling Water Circulation Tank*)

J : Pipa Air Pendingin Masuk (*Pipe cooling Water Input*)

K : Pipa Air Pendingin Keluar (*Pipe Cooling Water Output*)

Wijaya (2017) melakukan penelitian pirolisis menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE (*low density polyethylene*) dengan total 3 kg dimana setiap percobaan menggunakan 1 kg sampah plastik LDPE. Alat pirolisis pada penelitian ini menggunakan variasi kemiringan kondensor terhadap reaktor yaitu 0°, 15°, 30° dan debit air pendingin untuk kondensor 18 LPM. Dalam penelitian ini waktu percobaan dilakukan selama 100 menit. Pengujian dilakukan pada suhu 300°C-350°C, tiap percobaan menggunakan debit yang sama yaitu 18 LPM. Sudut yang digunakan bervariasi yaitu 0°, 15°, dan 30°. Hasil penelitian menunjukkan produksi minyak tertinggi didapat pada percobaan dengan sudut 15° menghasilkan 590 ml dan perpindahan kalor 876,13 Watt. Sedangkan percobaan dengan sudut 0° menghasilkan minyak 540 ml dan laju perpindahan kalor tertinggi 757,64 Watt, dan percobaan dengan sudut 30° menghasilkan minyak 520 ml dan nilai laju perpindahan kalor tertinggi 490,25 Watt. Karakteristik minyak hasil dari penelitian Wijaya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Karakteristik minyak plastik hasil penelitian (Wijaya, 2017)

No	Parameter	Nilai
1	Densitas	0,774 gr/ml
2	Viskositas	3-3,2 mm ² /s
3	Nilai kalor	10.727,59 Cal/gr
4	<i>Flash point</i>	33-37 ⁰ C

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Eko dkk, 2017) Dalam penelitian variasi sudut kondensor yang digunakan yaitu: 0°, 15°, dan 30°. Aliran air pendingin di dalam kondensor menggunakan laju aliran yang searah dengan laju uap (*parallel flow*) dengan debit 6 LPM serta bahan baku yang diuji adalah ban bekas sepeda motor seberat 3 kg. Setiap kali percobaan menggunakan bahan limbah ban seberat 1 kg, untuk sudut kondensor 0° menghasilkan minyak ban total sebanyak 329 ml, percobaan pada sudut kondensor 15° menghasilkan minyak ban total sebanyak 352 ml, dan pada percobaan dengan sudut kemiringan kondensor 30° menghasilkan minyak ban dengan total 374 ml. Nilai perpindahan kalor yang tertinggi didapat pada percobaan sudut kemiringan kondensor 30°

dengan nilai laju perpindahan kalor sebesar 339,59 Watt. Sedangkan pada sudut 0° perpindahan kalor tertinggi sebesar 254,01 Watt. Semakin tinggi sudut nilai perpindahan kalor tertinggi akan semakin besar. Persentase minyak dan abu dari bahan seberat 1 kg pada setiap percobaan yang telah dilakukan, untuk persentase tertinggi didapat pada percobaan dengan sudut kondensor 30° menghasilkan minyak sebanyak 31,5 % dan abu 40,6 %. Sedangkan persentase minyak dan abu terendah didapat pada percobaan 0° yang memperoleh hasil minyak 28 % dan abu 46,5 %. Karakteristik minyak hasil dari penelitian setelah dilakukan uji nilai kalor, nilai viskositas, nilai densitas dan nilai *flash point* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Perbandingan minyak hasil pirolisis limbah ban (Eko dkk, 2017) dengan bahan bakar minyak lain

No.	Parameter	Minyak Limbah Ban Luar	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (mPa.s)	5,07-5,57	1,4	2 - 4,5	0,7
2	Nilai Kalor (cal/g)	10.007,29	10.939,1	9.240	11.245
3	Densitas (g/ml)	0,898	0,9	0,8	0,7
4	<i>Flash Point</i> ($^{\circ}\text{C}$)	55-58	60,2	52	43

Pada penelitian ini, dengan menggunakan variasi sudut kemiringan kondensor, debit aliran air dan bahan uji yang sama dengan perbedaan menggunakan konfigurasi aliran air menggunakan laju aliran air berlawanan dengan laju uap (*counter flow*) dan dilakukan pengisolasian terhadap tabung reaktor dan kondensor, diharapkan akan menghasilkan produksi minyak yang lebih banyak dan meningkatkan efisiensi kerja alat pirolisis yang digunakan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pirolisis

Proses pirolisis telah lama dikenal dan sudah banyak peneliti yang melakukan penelitian pirolisis serta telah dipatenkan. Pada dasarnya proses pirolisis adalah proses perusakan suatu bahan menggunakan panas (Falaah dan Cifriadi, 2012). Proses pirolisis merupakan metode yang optimal dan ramah

lingkungan untuk proses penguraian dengan cara pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses ini dapat digunakan untuk merubah komposisi kimia bahan seperti batubara, sampah organik dan non-organik (kertas, plastik) untuk menghasilkan sesuatu yang berguna seperti gas, arang (material padat), dan material cair (bio-oil) yang diharapkan akan menjadi bahan bakar alternatif dari bahan bakar fosil yang ada saat ini (Putra et al., 2016).

Proses pirolisis adalah proses fraksinasi material oleh suhu yang dimulai pada temperatur 230°C komponen tidak stabil secara termal dan volatile matters pada sampah akan pecah dan menguap bersama komponen lainnya yang menghasilkan produk cair yang dipengaruhi oleh suhu, waktu dan juga laju pemanasan (Hasyim, 2017). Pirolisis adalah degradasi termal komponen organik yang berasal dari limbah padat dengan suhu pirolisis yang biasa digunakan berkisar 300°C-600°C untuk menghasilkan produk minyak, gas dan arang (Hossain et al. 2017).

Pirolisis limbah ban merupakan teknologi yang masih perlu dikembangkan. Kendala dalam proses pirolisis yang biasa ditemui adalah pengkondensasian yang kurang optimal. Terjadinya kontak antara fluida gas dengan limbah ban di dalam reaktor menyebabkan terbawanya material hidrokarbon yang sudah mengalami perengkahan (*cracking*). Penyebaran fluida gas yang tidak merata pada saat proses kontak berlangsung disebabkan karena adanya penggelembungan, penorakan (*slugging*), dan saluran-saluran fluida yang terpisah. Hal ini mengakibatkan kontak antara fluida limbah ban dengan fluida pendingin menjadi tidak maksimal sehingga mempengaruhi volume minyak yang dihasilkan dan gas yang gagal terkondensasi akan terbuang ke lingkungan begitu saja yang berimbas pada kualitas minyak ban yang dihasilkan.

2.2.2 Ban

2.2.2.1 Pengertian Ban

Ban adalah peranti (komponen) yang menutupi velg suatu roda. Ban yang berbahan dasar karet termasuk dalam jenis polimer sintesis (polystirene), dimana polimer ini terbentuk dari molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer stirena yang berbau harum. Kelebihan dari polystirene adalah

ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah dan tidak beracun (Somad, 2010). Surdia dan Saito (2005) Ban yang berbahan dasar karet terbuat dari karet sintetik (*butadiene*), dimana karet ini dibuat dari kopolimerrisasi antara *butadien* dan *stiren* menjadi polimer jenis SBR (*Stiren Butadien Rubber*).

Limbah ban bekas merupakan salah satu sampah non-organik yang setiap tahun produksinya terus meningkat di seluruh dunia karena diimbangi dengan pertumbuhan kendaraan bermotor yang setiap tahunnya mengalami peningkatan. Pada umumnya komposisi senyawa untuk penyusun ban yaitu 85,16 % karbon, 7,27 % hidrogen, 0,54 % oksigen, 0,38 % nitrogen, 2,30 % sulfur, dan 4,36 % abu (Galvagno et al. 2002).

2.2.3 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). Kebanyakan dari bahan bakar cair adalah campuran hidrokarbon yang didapat dari minyak mentah melalui tahapan proses destilasi, dan cracking (Suprptono, 2004).

Dari faktor kegunaannya yang mudah, mengakibatkan penggunaan minyak bumi sebagai penyedia sumber energi yang utama menjadi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan. Ada beberapa kelebihan dari bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat lainnya diantaranya yaitu :

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

Salah satu kekurangan dari bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks dan membutuhkan waktu yang lama.

2.2.4 Karakteristik Bahan Bakar

Bahan bakar cair memiliki karakteristik masing-masing dan disesuaikan dengan kegunaan dalam pemakaiannya, seperti pada pembakaran mesin atau peraratan-peraratan tertentu yang pasti memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai kegunaannya. Dalam proses pembakaran sifat-sifat bahan bakar sangat menentukan guna pengoptimalan hasil kerja pembakaran. Untuk mengoptimalkan hasil pembakaran yang digunakan karakteristik bahan bakar cair yang harus diketahui, secara umum karakteristik bahan bakar cair 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 Tabel 2.5.berikut:

Tabel 2.5. *Flash Point* Biodiesel (Dermanto, 2014)

Bahan bakar	<i>Flash point</i> (°C)
Bensin	7,2
Solar	51,6
Biodiesel	148,8

2.2.4.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan ukuran hambatan suatu fluida untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari fluida. Viskositas suatu fluida akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Semakin besar nilai viskositas suatu fluida maka akan semakin kental dan sulit mengalir. Sebaliknya jika nilai viskositas rendah fluida semakin encer dan lebih mudah mengalir. Di dalam fluida cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. Sedangkan dalam gas, viskositas ditimbulkan akibat tumbukan antara molekul

gas. Cara mengukur besar viskositas yaitu dengan alat viscometer, dan hasil yang didapat harus disebutkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas berpengaruh terhadap derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk perlakuan, penyimpanan dan atomisasi yang optimal. Jika minyak terlalu kental akan menyulitkan pada saat proses pemompaan, sulit menyalakan burner, dan sulit untuk dialirkan. Atomisasi yang jelek mengakibatkan terbentuknya endapan karbon pada ujung atau dinding burner. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk proses atomisasi. 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 merupakan suatu nilai yang menyatakan jumlah kalori dari hasil proses pemanasan bahan bakar dengan udara. Nilai kalor bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18.300 – 19.800 Btu/lb atau 10.160 – 11.000 kkal/kg. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis. Semakin besar berat jenis minyak maka semakin kecil nilai kalornya, sebaliknya semakin kecil berat jenis minyak maka semakin besar nilai kalornya. Nilai kalor untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pemanasan menggunakan oksigen bertekanan pada bomb calorimeter. Peralatan ini terdiri dari container stainless steel yang dikelilingi bak air yang besar di dalam bomb calorimeter. Penggunaan bak air bertujuan untuk meyakinkan bahwa temperatur akhir dari produk akan berada sedikit di atas temperatur awal reaktan, yaitu 25⁰C (Wiratmaja, 2010).

Nilai kalori dari BBM jenis bensin dengan angka oktan 90-96 adalah sebesar \pm 10.500 kkal/kg. Nilai kalori suatu bahan bakar cair diperlukan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin. Umumnya nilai kalor dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan british) (Andriyanto, 2017).

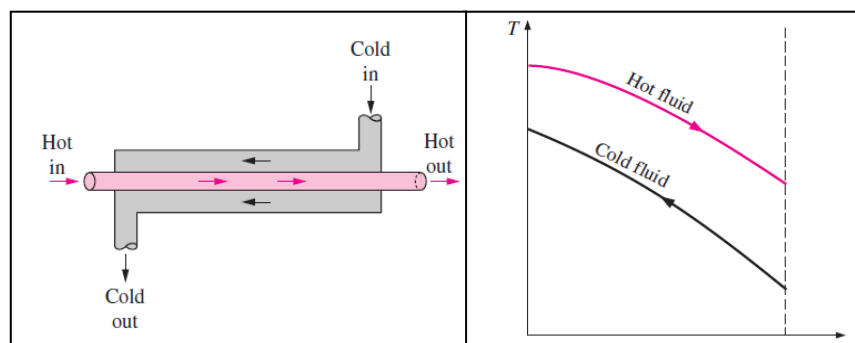
2.2.4.4 Densitas

Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi

dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah.

2.2.5 Tipe Aliran Berlawanan (*Counter Flow*)

Penukar Panas Tipe Aliran Berlawanan (*Counter Flow*) yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima panas (temperatur fluida dingin) saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor (temperatur fluida panas) saat meninggalkan penukar kalor. Profil temperatur alat penukar panas aliran berlawanan di tunjukkan pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Skema dan grafik rata-rata ΔT *Counter Flow* (Cengel, 2003)

Laju perpindahan panas *parallel flow* :

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

Laju perpindahan panas *counter flow* :

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

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_2 = Suhu masuk fluida pendingin

T_3 = Suhu keluar fluida pendingin