BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian pirolisis sudah sering dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Parameter dan alat yang digunakan dalam melakukan penelitian juga bervariasi. Santaweesuk dan Janyalertadun (2017) melakukan penelitian dengan bahan baku yang digunakan yaitu PP, LDPE, HDPE, dan plastik campuran seberat 5 kg. Suhu pembakaran dijaga antara 250°C-350°C. Pirolisis ini dilakukan selama 4-6 jam. Untuk hasil pengujian pada penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Hasil Pengujian Pirolisis Santaweesuk dan Janyalertadun (2017)

Perbandingan		
Bahan	Suhu maksimal	Hasil minyak (ml)
PP	350°C	4.820
HDPE		4.400
LDPE		4.150
Plastik campuran		2.700

Penelitian yang dilakukan Santoso (2010) menggunakan sampah plastik PP (*Poly Propylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan temperatur suhu 300ºC - 450ºC selama 60 menit. Didapatkan hasil minyak tertinggi pada suhu reaktor 450ºC dan terendah pada suhu 300ºC.

Tabel 2.2 Viskositas minyak pirolisis (Santoso, 2010)

No	Sampel	Suhu Reaktor (ºC)	Viskositas (mPa.s)	Nilai Kalor (MJ/Kg)
1	LDPE	300	0,40	41,76
2	LDPE	350	0,57	44,39
3	LDPE	400	0,61	41,54
4	LDPE	450	0,75	45,66
5	PP	300	0,35	43,92
6	PP	350	0,38	46,13
7	PP	400	0,47	40,45
8	PP	450	0,53	42,80
Rata-rata			0,51	43,33

Penelitian lain dilakukan oleh (Nurdianto dkk, 2016) menggunakan bahan baku sampah botol plastik sebanyak 1 kg dengan suhu 200ºC. Dalam penelitiannya, Nurdianto dkk melakukan percobaan sebanyak 3 kali dan menghasilkan minyak rata-rata sebanyak 250 ml.

Tabel 2.3 Hasil pirolisis hasil penelitian (Nurdianto dkk, 2016)

Percobaan Ke-	Bahan Baku Plastik (Kg)	Minyak yang Dihasilkan (ml)
1	1	250
2	1	270
3	1	230
Rata-rata		250

Tabel 2.4 Karakteristik minyak plastik hasil penelitian (Nurdianto dkk, 2016)

No	*Properties*	*Value*
1	Densitas	0,78 gr/ml
2	Viskositas	1,50 mPa.s
3	*Flashpoint*	46,50 ºC

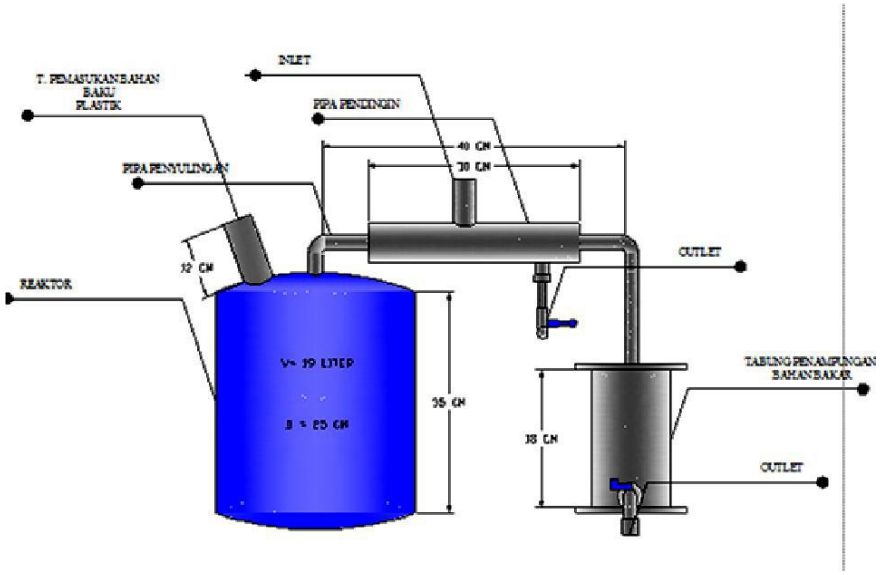
Penelitian yang dilakukan (Nugraha dkk, 2013) menggunakan bahan baku plastik *Polypropilen* dengan suhu pemanasan 400-500ºC dan dialiri nitrogen selama 30 menit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nugraha dkk menghasilkan minyak sebanyak 500 ml.

Tabel 2.5 Karakteristik minyak plastik hasil penelitian (Nugraha dkk, 2013)

No	*Properties*	*Value*
1	Viskositas	(60ºF) 0,721 mPa.s
2	Densitas	(60ºF) 0,7499 gr/ml

Dilihat dari besaran densitas minyak yang dihasilkan pada penelitian (Nugraha dkk, 2013) telah memenuhi syarat spesifikasi bensin komersial pertamina. Standar bensin komersial pertamina sesuai keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006 memiliki densitas (60ºF) 715 – 780 kg/m^3.

Pada penelitian pirolisis yang dilakukan (Kadir, 2012) bahan yang digunakan yaitu plastik jenis PET, HDPE, dan PP yang sudah di bersihkan dan di potong-potong dengan massa bahan baku 500 gram. Peralatan yang digunakan adalah satu set instalasi pengolahan plastik yang dirakit manual dan satu unit pengukur temperatur (*infrared termocouple*) dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Skema alat pirolisis (Kadir, 2012)

Parameter yang diamati pada penelitian ini yaitu kekentalan bahan bakar cair dari beberapa jenis plastik dan sifat mampu bakar secara kontinyu (*Combustible*) yang dilakukan secara visual. Untuk hasil pengujian kadir dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Hasil Pengujian Pirolis (Kadir, 2012)

Perbandingan			
Sumber	Bahan (gr)	Suhu maksimal (°C)	Hasil Minyak (ml)
Kadir, 2012	500 (PP)	300	484
	500 (HDPE)	415	403
	500 (PET)	400	447

Penelitian pirolisis lain dilakukan oleh (Wasesa dkk ,2016) menggunakan bahan baku plastik LDPE bening yang sudah dibersihkan, dikeringkan dan dicacah sebanyak 1kg. Alat pengolahan sampah plastik mampu menghasilkan 1100 ml dan padatan berupa residu sebanyak 178 gram dengan waktu 180 menit, suhu pirolisis 200°C - 250°C dan memerlukan bahan bakar gas LPG sebanyak 2 kg. Sampah plastik menghasilkan minyak pertama kali diwaktu 78 menit dengan suhu 170°C. Tungku pembakaran pada saat uji coba alat mencapai suhu 438°C.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Andriyanto, 2017) menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE dengan total 3 kg dimana setiap percobaan menggunakan 1 kg sampah plastik LDPE yang dipotong dengan ukuran 5 cm x5 cm. Alat pirolisis pada penelitian ini menggunakan variasi kemiringan kondensor terhadap reaktor yaitu 0^o, 15^o, 30^o dan debit air pendingin untuk kondensor 6 LPM. Dalam penelitian ini waktu percobaan dilakukan selama 100 menit dimana waktu yang paling effisien untuk proses pirolisis samapah plastik LDPE terjadi pada menit ke-20 sampai menit ke-50. Dari hasil variasi sudut kemiringan kondensor, diperoleh minyak hasil sebanyak 600 ml dengan sisa abu 117 gr pada sudut kemiringan kondensor 0^o, untuk sudut 15^o memperoleh minyak sebanyak 560 ml dengan sisa abu 160 gr, dan sudut 30^o mendapatkan hasil minyak 500 ml dengan sisa abu 262 gr. Karakteristik minyak hasil dari penelitian setelah dilakukan uji nilai kalor, nilai viskositas, nilai densitas dan nilai *flash point* dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Perbandingan minyak hasil pirolisis plastik LDPE (Andriyanto, 2017) dengan bahan bakar minyak lain.

No.	Parameter	Minyak Plastik LDPE	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (mPa.s)	3 - 3,2	1,4	2 - 4,5	0,7
2	Nilai Kalor (cal/g)	10727,6 – 10836,8	10939,1	9240	11245
3	Densitas (g/ml)	0,8	0,9	0,8	0,7
4	*Flash Point* (^{o}C)	32,2	60,2	52	43

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata *Pyro* (*Fire*/Api) dan Lyo (*Loosening*/Pelepasan) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Jadi pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis merupakan suatu bentuk insinerasi yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas inert (Awalludin, 2008).

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi suhu tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan, baru pada sekitar abat ke-18 pirolisis digunakan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah kering (Fatimah, 2004).

Menurut (Goyal dkk, 2006), proses pirolisis secara umum dikategorikan menjadi beberapa tipe, yaitu :

1. Pirolisis Lambat (*Slow Pirolysis*)

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan yang rata-rata lambat. Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

2. Pirolisis Cepat (*Fast Pirolysis*)

Pirolisis cepat merupakan suatu proses pirolisis dengan peningkatan kecepatan kenaikan temperatur, pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,2 – 2 detik, suhu 400 – 600ºC.

3. Pirolisis Kilat (*Flash Pirolysis*)

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. *Flash pyrolysis* membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 – 250 μm.

Proses pirolisis sampah plastik dapat menghasilkan asap cair (minyak plastik), arang/abu yang merupakan sisa pembakaran, gas yang terkondensasi dan gas yang tidak terkondensasi. Minyak plastik memiliki karakter yang tidak jauh berbeda dengan karakter BBM yang beredar di pasaran. Karena kemiripan karakteristik tersebut minyak plastik 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 plastik dengan fluida pendingin menjadi tidak masksimal. Hal ini tentu berpengaruh pada minyak plastik yang dihasilkan. Gas yang gagal terkondensasi akan terbuang ke lingkungan dan mengurangi kualitas minyak plastik yang dihasilkan.

2.2.2 Plastik Alumunium Foil

2.2.2.1 Pengertian Plastik Alumunium Foil

Plastik alumunium foil adalah bahan kemasan berupa lembaran alumunium yang padat dan tipis dengan ketebalan <0.15 mm. Kemasan ini mempunyai tingkat kekerasan dari 0 yaitu sangat lunak, hingga H-n yang berarti keras. Semakin tinggi bilangan H-, maka alumunium foil tersebut semakin keras. Ketebalan dari alumunium foil menentukan sifat protektifnya. Jika kurang tebal, maka foil tersebut dapat dilalui oleh gas dan uap. Pada ketebalan 0,0375 mm, maka permeabilitasnya terhadap uap air = 0, artinya foil tersebut tidak dapat dilalui oleh uap air. Foil dengan ukuran 0,009 mm biasanya digunakan untuk permen dan susu.

Sifat-sifat dari alumunium foil adalah hermetis, fleksibel, tidak tembus cahaya sehingga dapat digunakan untuk mengemas bahan-bahan yang berlemak dan bahan-bahan yang peka terhadap cahaya seperti margarin dan yoghurt. Alumunium foil banyak digunakan sebagai bahan pelapis atau laminan. Kombinasi alumunium foil dengan bahan kemasan lain dapat menghasilkan jenis kemasan baru yang disebut dengan *retort pouch*. Syarat-syarat *retort pouch* adalah harus mempunyai daya simpan yang tinggi, teknik penutupan mudah, tidak mudah sobek bila tertusuk dan tahan terhadap suhu sterilisasi yang tinggi.

2.2.2.2 Jenis-jenis Plastik

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplas* adalah plastik 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 (Dickson, 2017) :

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 kunker 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. *Polypropylene* 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 *styrine* masuk ke dalam makanan ketika makanan tersebut terkena. Bahan *Styrine* 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.

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 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 komplek.

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 tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.8. 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 bahan bakar tertentu 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 ^{o}C.

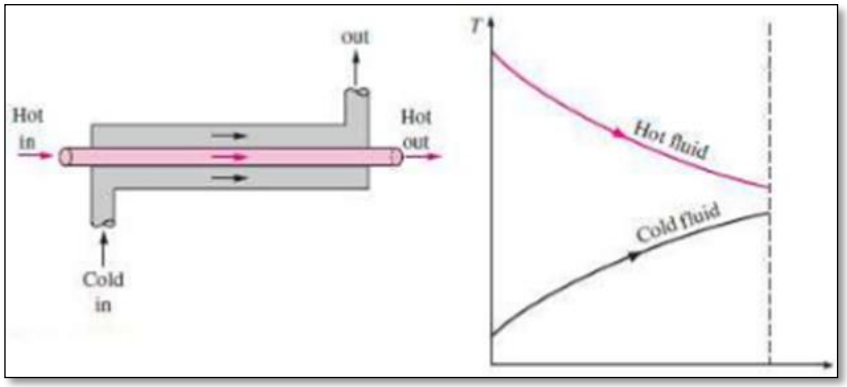
Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 adalah sebesar ±10,500 kkal/kg. Nilai kalori diperlukan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan british).

2.2.4.4 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 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). Skema dan grafik rata-rata ΔT dalam aliran parallel flow dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.2 Skema *parallel flow.* (Cengel, 2003).

Laju perpindahan panas *parallel flow* :

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

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

c = Kalor jenis air (4180 J / Kg ^oC)

T_3 = Suhu keluar fluida pendingin

T_2 = Suhu masuk fluida pendingin