

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam dunia industri pirolisis plastik sudah banyak dan tersebar dimana-mana. Untuk penelitiannya sendiri juga sudah banyak, akan tetapi dalam sebuah penelitian pasti masih 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.

2.1.1 Tingkat Produksi Sampah Plastik

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017), yaitu setiap tahun kota-kota di dunia menghasilkan sampah hingga 1,3 miliar ton dan diperkirakan pada tahun 2025, jumlah ini bertambah hingga 2,2 miliar ton. Fakta tentang sampah nasional pun sudah cukup banyak, yaitu bahwa Indonesia adalah peringkat kedua di dunia penghasil sampah plastik ke Laut setelah Tiongkok. Selain itu sampah plastik hasil dari 100 toko/gerai anggota APRINDO selama 1 tahun akan menghasilkan 10,95 juta lembar sampah kantong plastik yang berarti sama dengan luasan 65,7 Ha kantong plastik. Sampah di Jakarta mencapai 6.000 hingga 6.500 ton per hari. Sementara di Pulau Bali, jumlah sampah mencapai 10.725 ton per hari. Sedangkan untuk Kota Palembang, jumlah sampah naik tajam dari 700 ton per hari menjadi 1.200 ton per hari. Secara keseluruhan, jumlah total sampah di Indonesia mencapai 175.000 ton/hari atau 0,7 kilogram/orang atau sekitar 67 juta ton/tahun. Sebagian dari jumlah tersebut sampah jenis plastik. Tepat bulan Juli 2017 saja sampah yang terproduksi Kota Bantul mencapai 250-500 kg plastik per bulan. Itu hanya disekitar Kota Bantul saja belum sampai Kabupaten Bantul secara keseluruhan (Bank Sampah Gemah Ripah, 2017)

2.1.2 Proses Pirolisis

Pada penelitian yang dilakukan Gaurav dkk, bahan baku berupa limbah LDPE plastik. Dan alat-alat yang digunakan salah satunya yaitu :

a. Kondensor.

Kondensor digunakan untuk mendingin seluruh uap panas yang keluar dari reaktor. Kondensor memiliki sisi inlet dan outlet untuk air dingin sebagai jalan untuk melalui daerah luar yang digunakan untuk pendinginan uap. Hidrokarbon gas di suhu sekitar 350 °C dikondensasikan menjadi sekitar 30-35 °C.

b. Reaktor

Reaktor adalah tabung stainless steel dengan panjang 300 mm, diameter dalam 225 mm, diameter luar 230 mm disegel di salah satu. Reaktor ditempatkan di bawah *burner* LPG serta untuk pemanasan luar dengan bahan baku di dalam. Lalu reaktor dipanaskan sampai suhu sekitar 450 °C.

Untuk prosesnya sendiri dari penelitian tersebut yaitu proses retak termal tanpa katalis yang digunakan dalam mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair. Ada dua jenis sampah plastik khusus yang dipilih untuk percobaan ini. Berat 50% dari *Low Density Polyethylene* dan *Polypropylene*. Alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Alat Pirolisis (Gaurav dkk, 2014)

Limbah plastik dicuci dan dipotong menjadi ukuran 3-5 cm untuk menyesuaikan ke dalam reaktor konservatif dengan tujuan menggunakan sampel 600 gr yaitu 300 gr PP dan 300 gr LDPE. Suhu yang digunakan berkisar dari 100

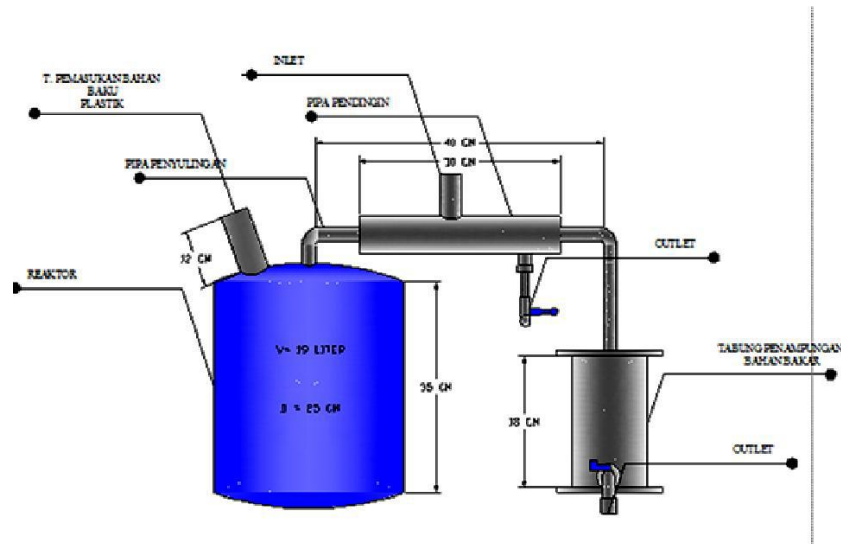
°C sampai 400 °C. Percobaan dilakukan dibawah sistem udara tertutup selama proses retak termal ini. Serta menggunakan tingkat kepadatan yang rendah karena suhu konversi untuk *Polypropylene* relatif rendah. Panas dimulai dari 100 °C untuk melelehkan limbah plastik, plastik meleleh sampai berbentuk cair dan ketika suhu meningkat sampai 270 °C cairan plastik berubah menjadi uap dan uap kemudian melewati unit kondensor. Antara 100 °C dan 250 °C sekitar 20 -30% dari bahan bakar dikumpulkan dan ketika mencapai angka 325 °C, 40% dikumpulkan dan yang terakhir ketika mencapai angka 400 °C selesai. Selama proses retak termal bagian plastik tidak cepat rusak karena plastik memiliki rantai hidrokarbon yang panjang. Dalam panas ini proses retak terjadi pada beberapa gas ringan seperti metana, etana, propana dan butana yang dihasilkan. Ini merupakan senyawa yang tidak dapat mengembun karena gas tersebut memiliki titik didih negatif. Gas-gas ringan bisa menjadi kelompok alkana atau alkena dan juga dapat berisi CO atau emisi CO². Persentase produksi gas sekitar 6%, analisis porsi gas ini di bawah pertimbangan. Setelah melakukan percobaan beberapa residu padat hitam dikumpulkan dari reaktor. Persentase residu ini adalah sekitar 4% bahan bakar. Dan persentase cairan adalah 90%. Cairan yang ada masih bercampur dengan air dan abu sisa dari pembakaran, dan harus dimurnikan terlebih dahulu. Densitas bahan bakar cair adalah 0,75 g/ml.

Dari percobaan yang telah dilakukan oleh Gaurav dkk memperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Hasil Pengujian Pirolisis (Gaurav dkk, 2014)

No	Properties	Value
1	Density	0,7 g/ml
2	Viscosity	5,27 mm ² /s
3	Flash Point	22 °C
4	Fire Point	29 °C
5	Calorific Value	10460,499 cal/g

Pada penelitian yang dilakukan Kadir, bahan baku berupa limbah plastik LDPE. Dan alat-alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Alat Pirolisis (Kadir, 2012)

Secara skema alat pada penelitian (Kadir, 2012) alat sudah lebih besar dan lebih terspesifikasi. Parameter yang diamati yaitu kekentalan bahan bakar cair dari beberapa jenis plastik dan sifat mampu bakar secara kontinyu (*combustible*). Yang dilakukan secara visual. Peralatan yang digunakan adalah satu set instalasi pengolahan plastik yang dirakit manual dan satu unit pengukur temperatur (*infrared termocouple*). Secara keseluruhan alat tersebut dapat maksimal karena dapat mencapai temperatur sampai 415 °C. Untuk hasil pengujian Kadir bisa dilihat pada Tabel 2.2.

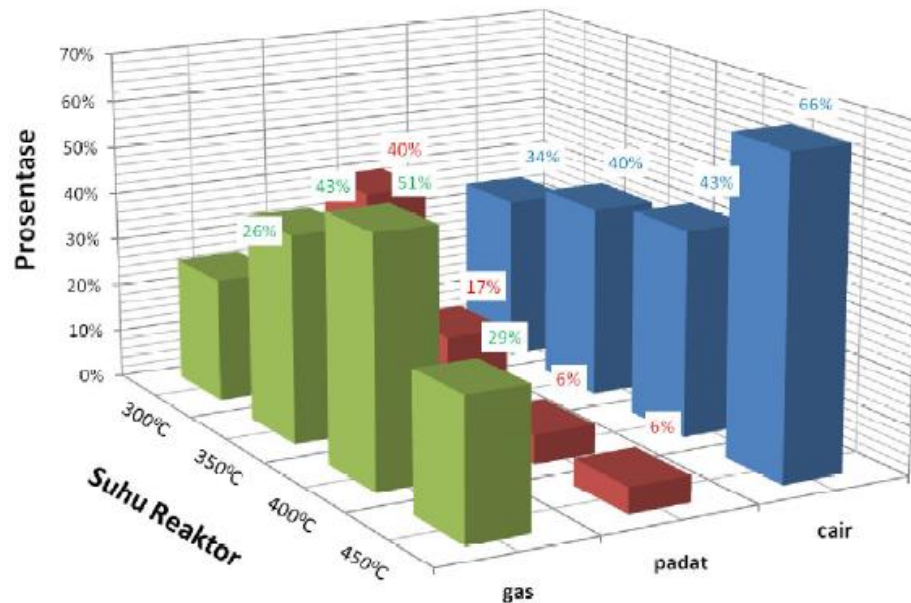
Tabel 2.2. Hasil Pengujian Pirolisis (Kadir, 2012)

Perbandingan			
Sumber	Suhu maksimal (derajat C)	Bahan (gr)	Hasil minyak (ml)
Kadir, 2012	400	1000 (PET)	447
	300	1000 (PP)	484
	415	1000 (HDPE)	403

Untuk membakar PET 1000 gram bahan bakar yang digunakan 500 ml dan menghasilkan 447 ml dengan suhu maksimal 400 °C. Untuk membakar PP 1000 gram bahan bakar yang digunakan 400 ml dan menghasilkan 484 ml dengan suhu maksimal 300 °C. Untuk membakar HDPE 1000 gram bahan bakar yang digunakan

600 ml dan menghasilkan 403 ml dengan suhu maksimal 415 °C. Dari kelemahan pemanasan tersebut cenderung mempengaruhi hasil minyak yang dihasilkan. Minyak yang dihasilkan akan lebih sedikit karena pemanasannya tidak maksimal.

Selain itu untuk mengetahui korelasi antara temperature dan waktu pemanasan terhadap volume asap cair yang dihasilkan maka penulis mencari pustaka yang mendukung dan hasil dari percobaan yang telah dilakukan oleh Joko Santoso memperoleh hasil yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Grafik Hasil Pirolisis Plastik LDPE (Santoso, 2010)

Dari data hasil percobaan Santoso membutuhkan suhu maksimal sampai 450 °C dan menghasilkan minyak pirolisis plastik sebesar 400 ml dengan berat bahan awal yaitu 1000 gr plastik LDPE. Grafik pengaruh waktu dan temperatur pirolisis terhadap volume asap cair di atas, terlihat bahwa volume produk asap cair terus meningkat bersamaan dengan meningkatnya temperatur dan waktu pirolisis. Semakin tinggi waktu pirolisis maka produk semakin banyak, hal ini dapat dilihat semakin banyaknya arang yang terbentuk. Dengan demikian jumlah asap yang akan dikondensasikan menjadi asap cair pun akan semakin banyak.

Selain itu penulis juga menemukan referensi yang cukup baik. Pembakaran ini menggunakan pembakaran dari pemanasan listrik. Untuk hasil pengujian Kadir bisa dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Hasil Pengujian Pirolisis (Haryadi, 2015)

Perbandingan			
Sumber	Suhu maksimal (derajat C)	Bahan (gr)	Hasil minyak (ml)
Haryadi, 2015	300	500 (PP)	314
	300	500 (HDPE)	363

Hasilnya cukup signifikan dengan suhu maksimal 300 °C dan bahan 500 gr menghasilkan minyak 314 ml dari bahan jenis plastik PP dan dengan suhu yang sama menghasilkan minyak 363 ml dengan bahan 500 gr HDPE. Pemanasan reaktor menggunakan listrik yang dalam pemanasan tersebut dapat diatur suhunya. Pemanasan ini lebih baik dari pemanasan dengan menggunakan api.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik maupun anorganik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen. Pirolisis dilakukan di dalam sebuah reaktor pada temperatur hingga 300-500 °C. Limbah plastik melalui proses pirolisis mampu diubah menjadi *feedstock* petrokimia seperti nafta, liquid dan wax seperti hidrokarbon dan gas serta minyak dasar untuk pelumas. Teknik pirolisis telah digunakan sudah lama untuk peningkatan residu hidrogenasi yang diperoleh dari pencairan/pelelehan batubara. Keunggulan nyata dari pirolisis dibandingkan dengan pembakaran (*incineration*), yaitu dapat mereduksi gas buang hingga 20 kali. Disisi lain, produk pirolisis dapat dimanfaatkan lebih fleksibel dan penanganannya lebih mudah (Gaurav dkk, 2014).

Proses pirolisis sampah plastik merupakan teknologi konversi termokimia yang masih perlu dikembangkan. Selain itu, keterbatasan data-data kinetik untuk penentuan persamaan laju termal dekomposisi secara menyeluruh. Proses perengkahan limbah plastik menjadi energi umumnya menggunakan reaktor katalitik terfluidisasi atau *fluidized bed reaktor* (FBR). Dalam reaktor, terjadi kontak antar fluida gas dengan limbah plastik. Kontak ini akan menyebabkan terbawanya material hidrokarbon yang telah mengalami *cracking* atau perengkahan. Pada reaktor dengan skala besar proses kontak antara fluida gas dengan limbah plastik, 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. Saluran-saluran fluida yang terpisah terjadi karena tidak meratanya penyebaran fluida pada seluruh permukaan limbah plastik, sehingga menyebabkan hanya sebagian dari limbah plastik yang berkontak dengan fluida. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan kualitas *yield* yang diperoleh selama proses pirolisis limbah plastik. Selain ketiga faktor tersebut, faktor lain yang berpengaruh adalah kecepatan minimum *fluidisasi* yang didefinisikan sebagai kecepatan minimal yang dibutuhkan untuk proses fluidisasi terjadi. Kecepatan fluidisasi mempengaruhi kontak antara fluida yang digunakan dalam proses konversi dengan limbah plastik. Kontak yang terjadi menyebabkan ikatan antara molekul fluida dengan molekul hidrokarbon dari hasil *cracking* limbah plastik, yang selanjutnya diolah menjadi energi.

2.2.2 Plastik

2.2.2.1 Pengertian Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. 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 (Suroño, 2013).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu termoplastik dan termosetting. Termoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (Suroño, 2013).

2.2.2.2 Jenis-jenis Plastik

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, termoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk 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 di bahan 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 pembungkusan 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.

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.

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 dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Karakteristik Bahan Bakar (Pertamina, 2016)

No	Parameter	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (mm ² /s)	1,4	2 - 4,5	0,7
2	Nilai Kalor (cal/g)	10939,1	9240	11245
3	Densitas (g/ml)	0,9	0,8	0,7
4	Flash Point (°C)	60,2	52	43

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 minyak 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.

2.2.4.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan / hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukurannya tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir. Demikian sebaliknya makin rendah viskositas minyak makin encer dan lebih mudah minyak untuk mengalir, cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viscometer yang digunakan , dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. 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 burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.

2.2.4.3 Nilai Kalor

Nilai kalor rendah (LHV, *Lower Heating Value*) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakaran dibuat 150°C. Pada temperatur ini air berada dalam kondisi fasa uap. Jika jumlah kalor laten uap air diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas hasil pembakaran dibuat 25°C maka akan diperoleh nilai kalor atas (HHV, *High Heating Value*). Pada temperatur ini air akan berada dalam kondisi fasa cair.

2.2.4.4 Densitas

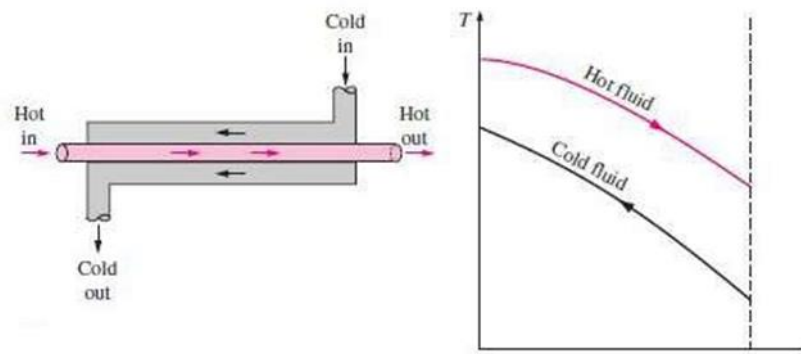
Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi

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 Penukar Kalor Tipe Aliran Pada Kondensor

a. Tipe aliran berlawanan arah (*counter flow*).

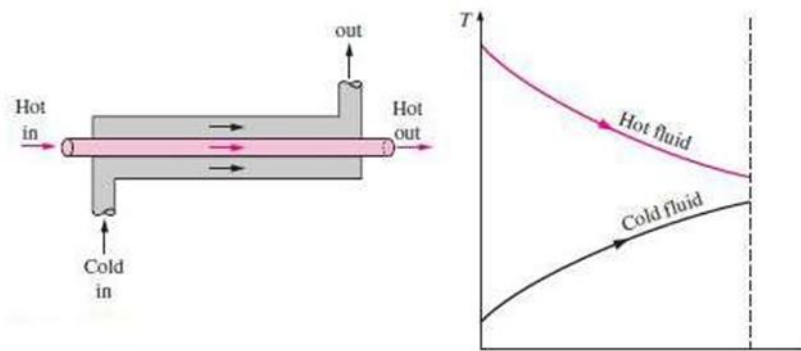
Penukar kalor tipe aliran berlawanan arah atau sering disebut dengan *counter flow* yaitu penukar kalor dengan fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar pada arah yang berbeda atau berlawanan arah (Cengel, 2003) dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Counter Flow* (Cengel, 2003)

b. 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) dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Parallel Flow* (Cengel, 2003)

Menurut Holman (1988) laju perpindahan panas dapat dihitung dari besar energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau besar energi yang diterima oleh fluida dingin. Laju perpindahan panas dapat dilihat dari seberapa besar perpindahan panas yang terjadi di dalam suatu penukar panas.

Data laju perpindahan panas pada kondensor dapat diperoleh dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

Laju perpindahan panas *parallel flow* :

$$q = m_c c_c (T_{c2} - T_{c1})$$

Laju perpindahan panas *counter flow* :

$$q = m_c c_c (T_{c1} - T_{c2})$$

Dimana : 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