

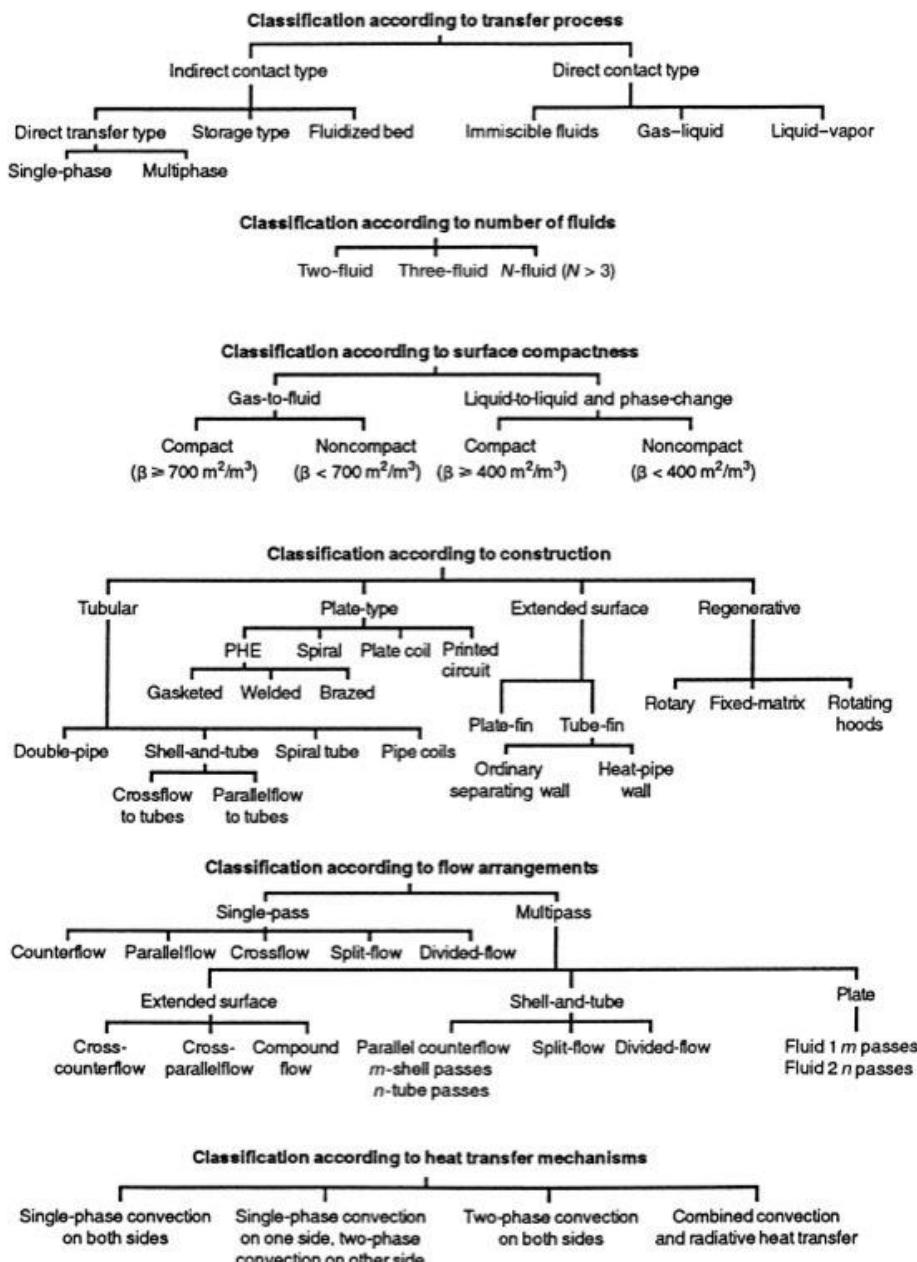
## **PERTEMUAN KE 2**

# **HEAT EXCHANGER : ALAT PENUKAR PANAS**

### **Heat Exchanger : Alat Penukar Panas**

Dalam Bahasa Indonesia heat exchanger memiliki arti harfiah alat penukar panas. Pengertian ilmiah dari heat exchanger adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mentransfer energi panas (entalpi) antara dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dengan fluida, atau antara partikel padat dengan fluida, pada temperatur yang berbeda serta terjadi kontak termal. Lebih lanjut, heat exchanger dapat pula berfungsi sebagai alat pembuang panas, alat sterilisasi, pesteurisasi, pemisahan campuran, distilisasi (pemurnian, ekstraksi), pembentukan konsentrat, kristalisasi, atau juga untuk mengontrol sebuah proses fluida.

Satu bagian terpenting dari heat exchanger adalah permukaan kontak panas. Pada permukaan inilah terjadi perpindahan panas dari satu zat ke zat yang lain. Semakin luas bidang kontak total yang dimiliki oleh heat exchanger tersebut, maka akan semakin tinggi nilai efisiensi perpindahan panasnya. Pada kondisi tertentu, ada satu komponen tambahan yang dapat digunakan untuk meningkatkan luas total bidang kontak perpindahan panas ini. Komponen tersebut adalah sirip.



## Macam-macam Heat Exchanger

Heat exchanger dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis berdasarkan beberapa aspek. Secara ringkas macam-macam heat exchanger dapat digambarkan menjadi bagan di atas. Untuk lebih jelasnya akan kita bahas satu per satu macam-macam heat exchanger tersebut.

### A. Macam-macam Heat Exchanger Berdasarkan Proses Transfer Panas Heat Exchanger Tipe Kontak Tak Langsung

Heat exchanger tipe ini melibatkan fluida-fluida yang saling bertukar panas dengan adanya lapisan dinding yang memisahkan fluida-fluida tersebut. Sehingga pada heat exchanger jenis ini tidak akan terjadi kontak secara langsung antara fluida-fluida yang terlibat. Heat exchanger jenis ini masih dibagi menjadi beberapa jenis lagi, yaitu:

### **Heat Exchanger Tipe Direct-Transfer**

Pada heat exchanger tipe ini, fluida-fluida kerja mengalir secara terus-menerus dan saling bertukar panas dari fluida panas ke fluida yang lebih dingin dengan melewati dinding pemisah. Yang membedakan heat exchanger tipe ini dengan tipe kontak tak langsung

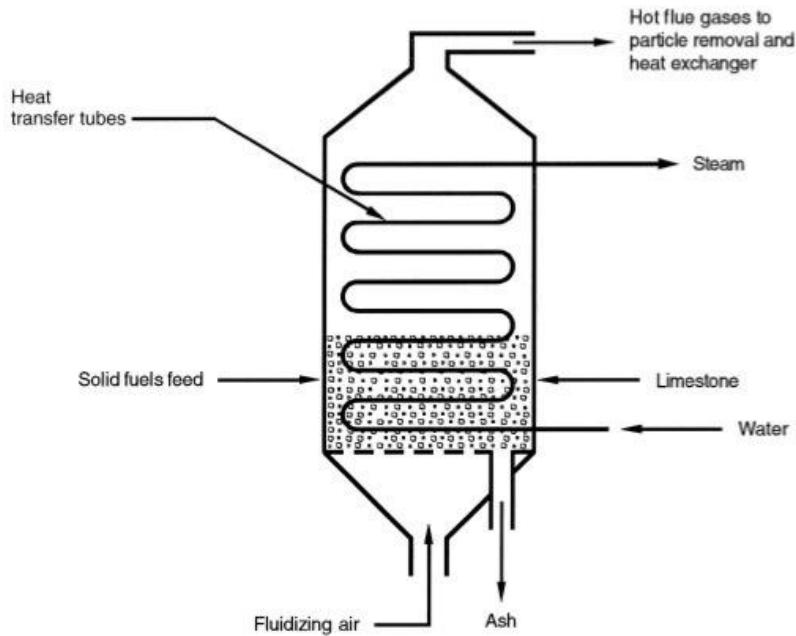
lainnya adalah aliran fluida-fluida kerja yang terus-menerus mengalir tanpa terhenti sama sekali. Heat exchanger tipe ini sering disebut juga dengan heat exchanger recuperator.

### **Storage Type Exchanger**

Heat exchanger tipe ini memindahkan panas dari fluida panas ke fluida dingin secara intermittent (bertahap) melalui dinding pemisah. Sehingga pada jenis ini, aliran fluida tidak secara terus-menerus terjadi, ada proses penyimpanan sesaat sehingga energi panas lebih lama tersimpan di dinding-dinding pemisah antara fluida-fluida tersebut. Tipe ini biasa pula disebut dengan regenerative heat exchanger.

### **Fluidized-Bed Heat Exchanger**

Heat exchanger tipe ini menggunakan sebuah komponen solid yang berfungsi sebagai penyimpan panas yang berasal dari fluida panas yang melewatkinya. Fluida panas yang melewati bagian ini akan sedikit terhalang alirannya sehingga kecepatan aliran fluida panas ini akan menurun, dan panas yang terkandung di dalamnya dapat lebih efisien diserap oleh padatan tersebut. Selanjutnya fluida dingin mengalir melalui saluran pipa-pipa yang dialirkan melewati padatan penyimpan panas tersebut, dan secara bertahap panas yang terkandung di dalamnya ditransfer ke fluida dingin.



Fluidized-Bed Heat Exchanger

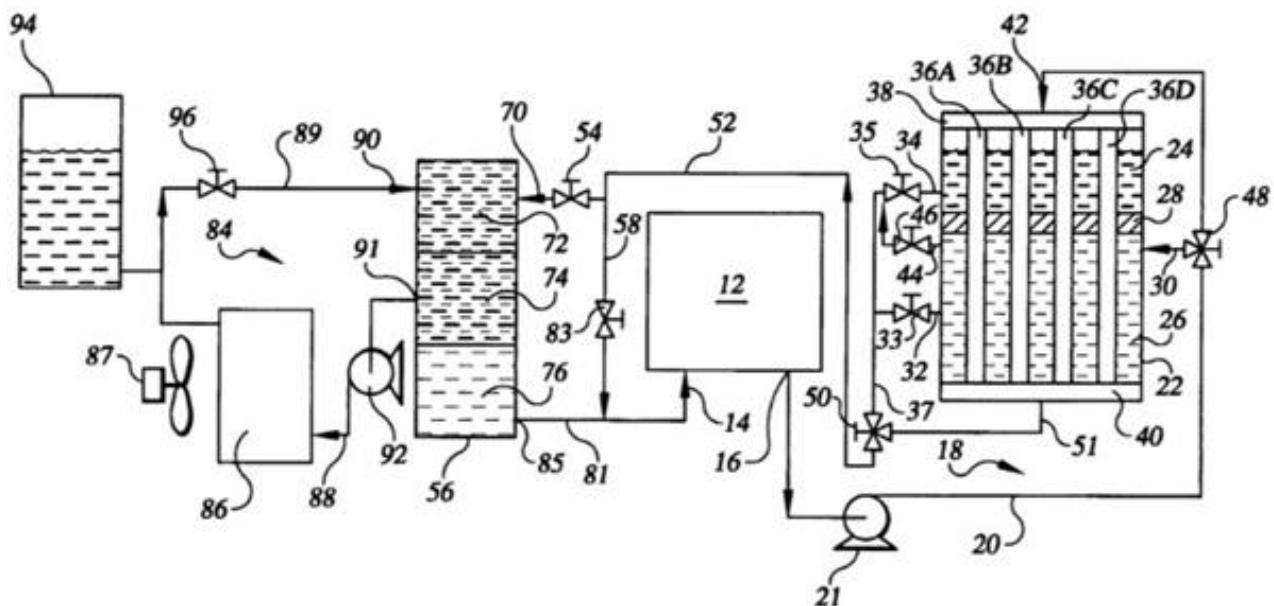
### **Heat Exchanger Tipe Kontak Langsung**

Suatu alat yang di dalamnya terjadi perpindahan panas antara satu atau lebih fluida dengan diikuti dengan terjadinya pencampuran sejumlah massa dari fluida-fluida tersebut disebut dengan heat exchanger tipe kontak langsung. Perpindahan panas yang diikuti percampuran fluida-fluida tersebut, biasanya diikuti dengan terjadinya perubahan fase dari salah satu atau labih fluida kerja tersebut. Terjadinya perubahan fase tersebut menunjukkan terjadinya perpindahan energi panas yang cukup besar. Perubahan fase tersebut juga meningkatkan kecepatan perpindahan panas yang terjadi. Macam-macam dari heat exchanger tipe ini antara lain adalah:

#### **Immiscible Fluid Exchangers**

Heat exchanger tipe ini melibatkan dua fluida dari jenis berbeda untuk dicampurkan sehingga terjadi perpindahan panas yang diinginkan. Proses yang terjadi kadang tidak akan mempengaruhi fase dari fluida, namun bisa juga diikuti dengan proses kondensasi maupun evaporasi. Salah satu penggunaan heat exchanger ini adalah pada sebuah alat pembangkit listrik tenaga surya berikut.

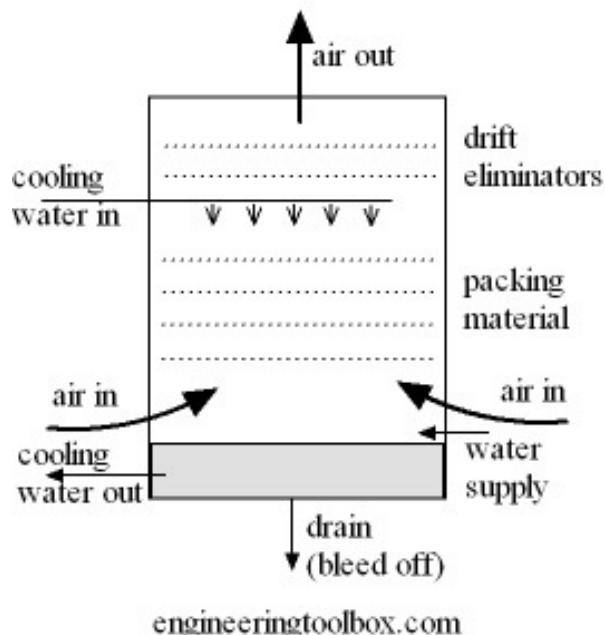
10



A freeze tolerant fuel cell power plant (10) includes at least one fuel cell (12), a coolant loop (18) including a freeze tolerant accumulator (22) for storing and separating a water immiscible fluid and water coolant, a direct contact heat exchanger (56) for mixing the water immiscible fluid and the water coolant within a mixing region (72) of the heat exchanger (56), a coolant pump (21) for circulating the coolant through the coolant loop (18), a radiator loop (84) for circulating the water immiscible fluid through the heat exchanger (56), and a radiator (86) for removing heat from the coolant. The plant (10) utilizes the water immiscible fluid during steady-state operation to cool the fuel cell and during shut down of the plant to displace water from the fuel cell (12) to the freeze tolerant accumulator (22).

### Gas-Liquid Exchanger

Pada tipe ini, ada dua fluida kerja dengan fase yang berbeda yakni cair dan gas. Namun umumnya kedua fluida kerja tersebut adalah air dan udara. Salah satu aplikasi yang paling umum dari heat exchanger tipe ini adalah pada cooling tower tipe basah. Cooling tower biasa dipergunakan pada pembangkit-pembangkit listrik tenaga uap yang terletak jauh dari sumber air. Udara bekerja sebagai media pendingin, sedangkan air bekerja sebagai media yang didinginkan. Air disemprotkan ke dalam cooling tower sehingga terjadi percampuran antara keduanya diikuti dengan perpindahan panas. Sebagian air akan terkondensasi lagi sehingga terkumpul pada sisi bawah cooling tower, sedangkan sebagian yang lain akan menguap dan ikut terbawa udara ke atmosfer.



[engineeringtoolbox.com](http://engineeringtoolbox.com)

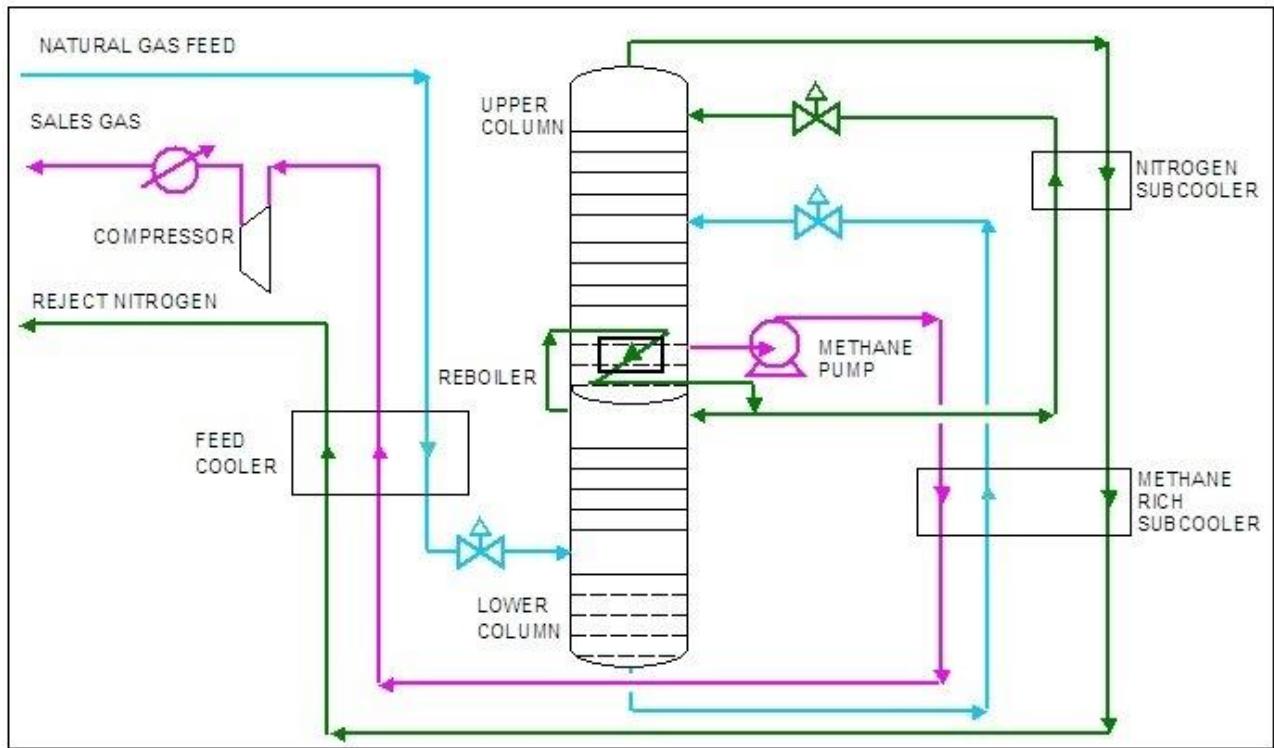
Wet Cooling Tower Termasuk ke Dalam Heat Exchanger Tipe Direct-Contact

### Liquid-Vapour Exchanger

Perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida berbeda fase yakni uap air dengan air, yang juga diikuti dengan pencampuran sejumlah massa antara keduanya, termasuk ke dalam heat exchanger tipe kontak langsung. Heat exchanger tipe ini dapat berfungsi untuk menurunkan temperatur uap air dengan jalan menyemprotkan sejumlah air ke dalam aliran uap air tersebut (pada boiler proses ini biasa disebut dengan desuperheater spray), atau juga berfungsi untuk meningkatkan temperatur air dengan mencampurkan uap air ke sebuah aliran air (proses ini terjadi pada bagian deaerator pada siklus pembangkit listrik tenaga uap).

### B. Macam-macam Heat Exchanger Berdasarkan Jumlah Fluida Kerja

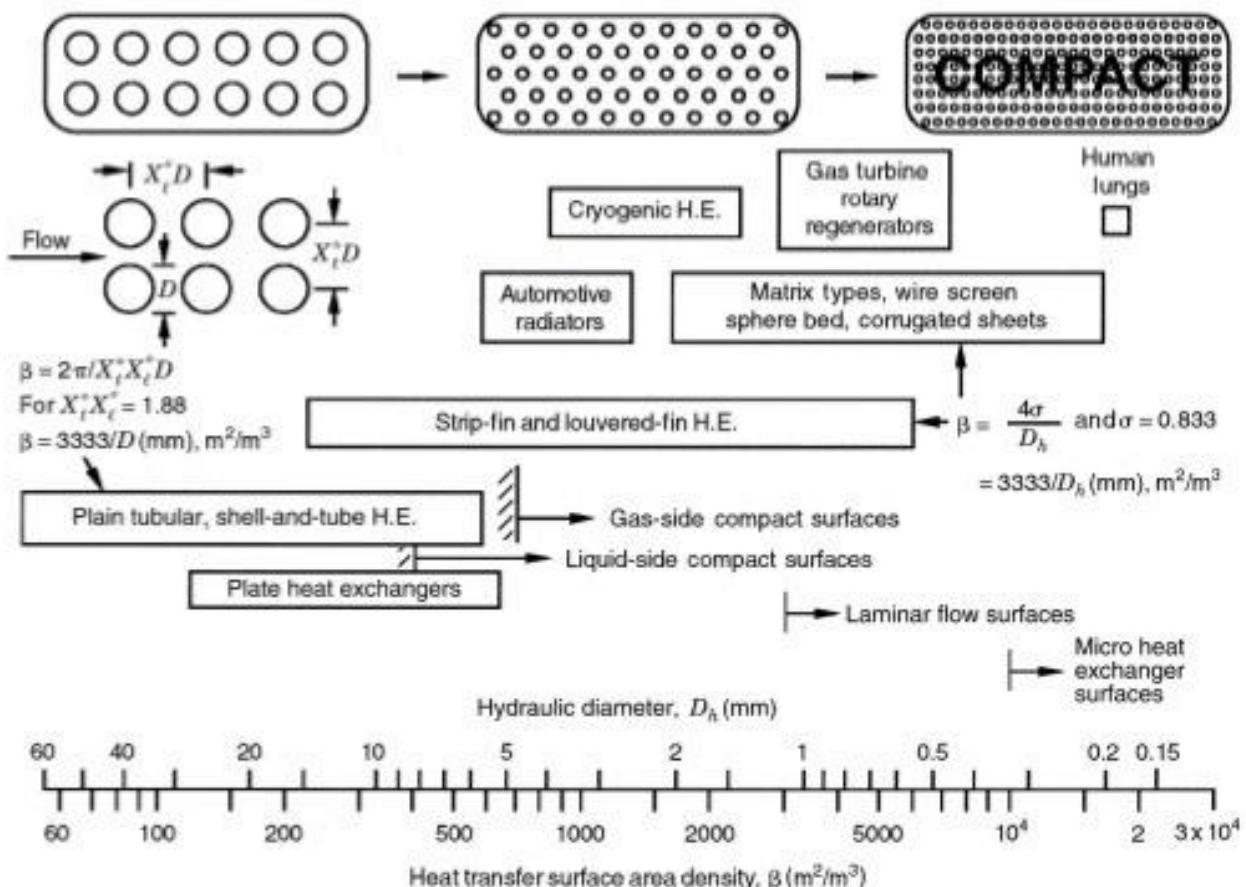
Sebagian besar proses perpindahan panas antar fluida, melibatkan hanya dua jenis fluida yang berbeda. Semisal air dengan air, uap dengan air, uap dengan air laut, dan lain sebagainya. Namun ada pula heat exchanger yang melibatkan lebih dari dua fluida kerja yang berbeda jenis. Umumnya heat exchanger jenis ini digunakan pada proses-proses kimiawi, seperti pada contoh sistem di bawah ini yaitu proses penghilangan kandungan nitrogen dari bahan baku gas alam. Pada sistem ini dihasilkan gas alam dengan kandungan nitrogen yang lebih rendah sehingga penggunaan gas alam tersebut pada kebutuhan porses pembakaran selanjutnya dapat lebih efisien.



Proses Pengolahan Gas Alam Melibatkan Multi Fluid Heat Exchanger

### C. Macam-macam Heat Exchanger Berdasarkan Bidang Kotak Perpindahan Panas

Pengklasifikasian heat exchanger selanjutnya adalah berdasarkan luas bidang kontak terjadinya perpindahan panas antar fluida. Parameter yang digunakan dalam pengklasifikasian ini adalah sebuah satuan besar luas permukaan bidang kontak di setiap volume heat exchanger. Semakin luas permukaan bidang kontak perpindahan panas per satuan volume, maka akan semakin besar efisiensi perpindahan panas yang didapatkan. Namun hal tersebut harus juga memperhatikan jenis fluida kerja yang digunakan. Semakin besar kandungan partikel di dalam fluida tersebut, maka semakin rendah juga kebutuhan luas permukaan bidang kontak perpindahan panas pada heat exchanger. Pengklasifikasian heat exchanger berdasarkan hal ini antara lain adalah Compact Heat Exchanger dengan luas bidang kontak di atas  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ; Laminar Flow Heat Exchanger dengan luas bidang permukaan di atas  $3000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ; serta Micro Heat Exchanger dengan luas bidang kontak di atas  $15000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Untuk lebih jelasnya mari kita perhatikan gambar di bawah ini.



Klasifikasi Heat Exchanger Berdasarkan Luas Permukaan Perpindahan Panas

#### D. Macam-macam Heat Exchanger Berdasarkan Desain Konstruksi

Pengklasifikasian heat exchanger berdasarkan desain konstruksinya, menjadi pengklasifikasian yang paling utama dan banyak jenisnya. Secara umum heat exchanger dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok yakni tipe tubular, tipe plat, tipe extended-surface, dan tipe regeneratif. Sebenarnya masih ada beberapa jenis heat exchanger dengan desain lain seperti scraped surface exchanger, tank heater, cooler cartridge exchanger, dan lain sebagainya. Namun untuk lebih ringkasnya akan kita bahas empat tipe heat exchanger yang utama tersebut.

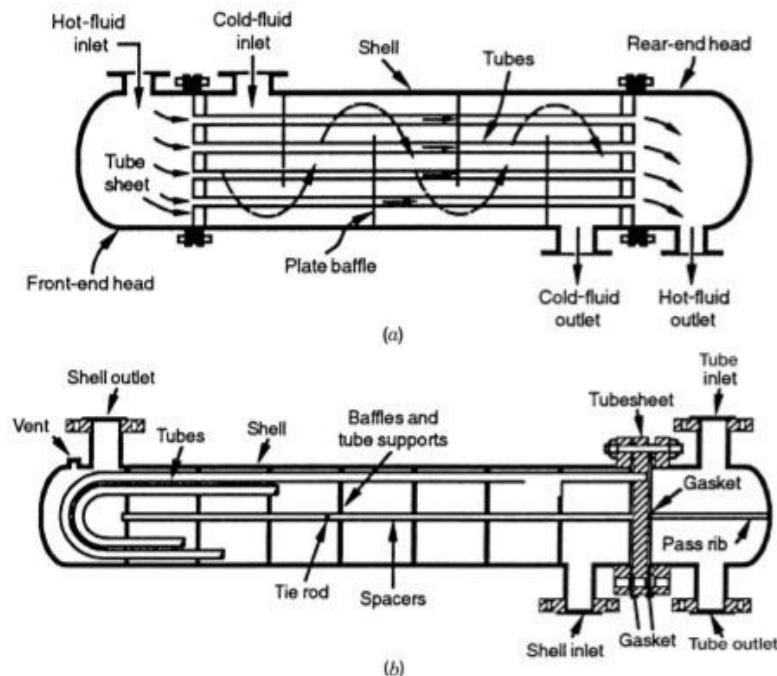
##### Heat Exchanger Tipe Tubular

Heat exchanger tipe ini melibatkan penggunaan tube pada desainnya. Bentuk penampang tube yang digunakan bisa bundar, elips, kotak, twisted, dan lain sebagainya. Heat exchanger tipe tubular didesain untuk dapat bekerja pada tekanan tinggi, baik tekanan yang berasal dari lingkungan kerjanya maupun perbedaan tekanan tinggi antar fluida kerjanya. Tipe tubular sangat umum digunakan untuk fluida kerja cair-cair, cair-uap, cair-gas, ataupun juga gas-gas. Namun untuk penggunaan pada fluida kerja gas-cair atau juga gas-gas, khusus untuk digunakan

pada kondisi fluida kerja bertekanan dan bertemperatur tinggi sehingga tidak ada jenis heat exchanger lain yang mampu untuk bekerja pada kondisi tersebut. Berikut adalah beberapa jenis heat exchanger tipe tubular:

### Shell & Tube

Heat exchanger tipe shell & tube menjadi satu tipe yang paling mudah dikenal. Tipe ini melibatkan tube sebagai komponen utamanya. Salah satu fluida mengalir di dalam tube, sedangkan fluida lainnya mengalir di luar tube. Pipa-pipa tube didesain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan shell, sedemikian rupa sehingga pipa-pipa tube tersebut berada sejajar dengan sumbu shell.

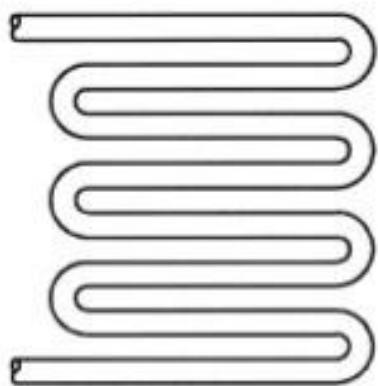


Heat Exchanger Tipe Shell & Tube

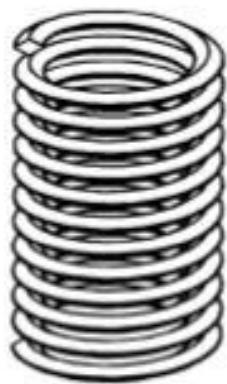
- (a) satu jalur shell, satu jalur tube
- (b) satu jalur shell, dua jalur tube

Komponen-komponen utama dari heat exchanger tipe shell & tube adalah sebagai berikut:

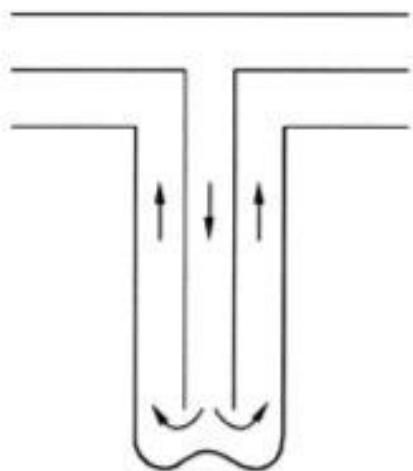
Tube. Pipa tube berpenampang lingkaran menjadi jenis yang paling banyak digunakan pada heat exchanger tipe ini. Desain rangkaian pipa tube dapat bermacam-macam sesuai dengan fluida kerja yang dihadapi.



Serpentine



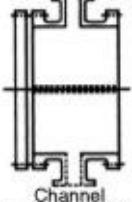
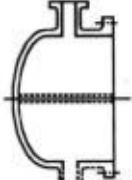
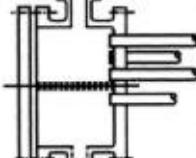
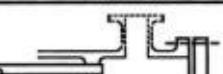
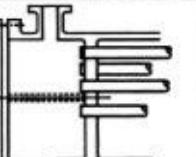
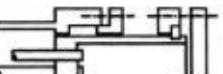
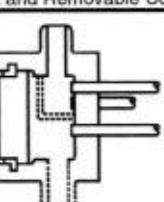
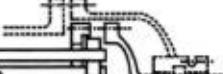
Helical tube



Bayonet tube

#### Macam-macam Rangkaian Pipa Tube Pada Heat Exchanger Shell & Tube

Shell. Bagian ini menjadi tempat mengalirnya fluida kerja yang lain selain yang mengalir di dalam tube. Umumnya shell didesain berbentuk silinder dengan penampang melingkar. Material untuk membuat shell ini adalah pipa silindris jika diameter desain dari shell tersebut kurang dari 0,6 meter. Sedangkan jika lebih dari 0,6 meter, maka digunakan bahan plat metal yang dibentuk silindris dan disambung dengan proses pengelasan.

Front-End Stationary Head Types		Shell Types	Rear-End Head Types
A		E	 Fixed Tubesheet Like 'A' Stationary Head
B		F	 Fixed Tubesheet Like 'B' Stationary Head
C		G	 Fixed Tubesheet Like 'N' Stationary Head
N		H	 Outside Packed Floating Head
D		J	 Floating Head with Backing Device
		K	 Pull-through Floating Head
		X	 U-Tube Bundle
			 Externally Sealed Floating Tubesheet

Tipe-Tipe Desain Front-End Head, Shell, dan Rear-End Head

Tipe-tipe desain dari shell ditunjukkan pada gambar di atas. Tipe E adalah yang paling banyak digunakan karena desainnya yang sederhana serta harga yang relatif murah. Shell tipe F memiliki nilai efisiensi perpindahan panas yang lebih tinggi dari tipe E, karena shell tipe didesain untuk memiliki dua aliran (aliran U). Aliran sisi shell yang dipecah seperti pada tipe G, H, dan J, digunakan pada kondisi-kondisi khusus seperti pada kondenser dan boiler thermosiphon. Shell tipe K digunakan pada pemanas kolam air. Sedangkan shell tipe X biasa digunakan untuk proses penurunan tekanan uap.

**Nozzle.** Titik masuk fluida ke dalam heat exchanger, entah itu sisi shell ataupun sisi tube, dibutuhkan sebuah komponen agar fluida kerja dapat didistribusikan merata di semua titik. Komponen tersebut adalah nozzle. Nozzle ini berbeda dengan nozzle-nozzle pada umumnya yang digunakan pada mesin turbin gas atau pada berbagai alat ukur. Nozzle pada inlet heat exchanger akan membuat aliran fluida yang masuk menjadi lebih merata, sehingga didapatkan efisiensi perpindahan panas yang tinggi.

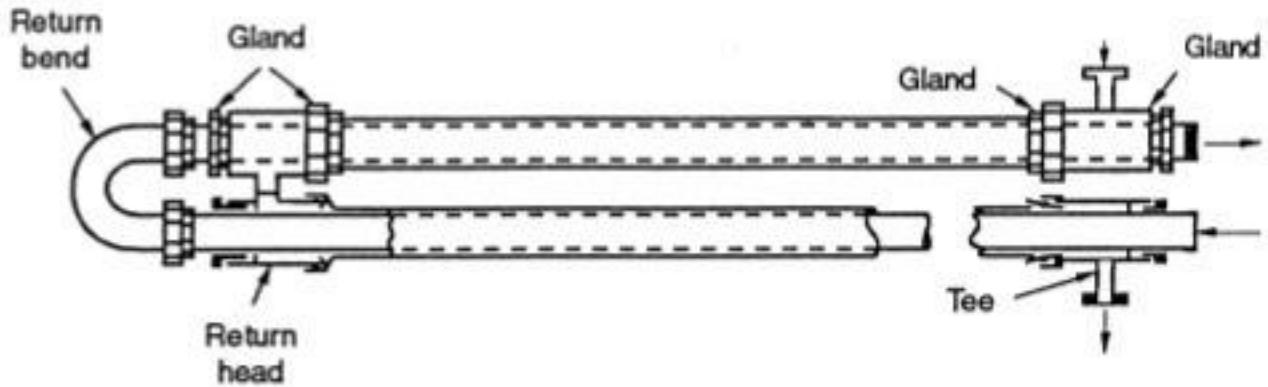
**Front-End dan Rear-End Head.** Bagian ini berfungsi sebagai tempat masuk dan keluar dari fluida sisi pipa tubing. Selain itu bagian ini juga berfungsi untuk menghadapi adanya efek pemuaian. Berbagai tipe front-end dan rear-end head ditunjukkan pada gambar di atas.

**Buffel.** Ada dua jenis buffel yang ada pada heat exchanger tipe shell & tube, yakni tipe longitudinal dan transversal. Keduanya berfungsi sebagai pengatur arah aliran fluida sisi shell. Beberapa contoh desain buffel ditunjukkan pada gambar di samping.

**Tubesheet.** Pipa-pipa tubing yang melintang longitudinal membutuhkan penyangga agar posisinya bisa stabil. Jika sebuah heat exchanger menggunakan buffel transversal, maka ia juga berfungsi ganda sebagai penyangga pipa tubing. Namun jika tidak menggunakan buffel, maka diperlukan penyangga khusus.

### Double-Pipe

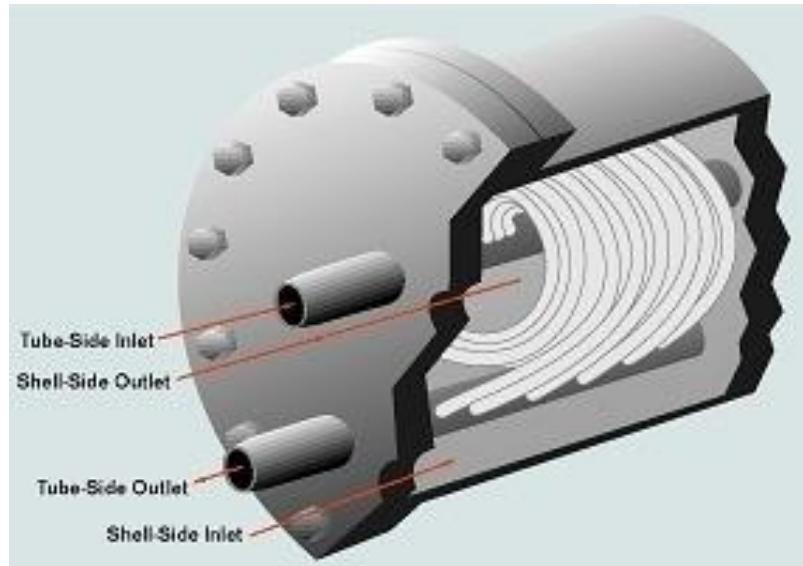
Heat exchanger ini menggunakan dua pipa dengan diameter yang berbeda. Pipa dengan diameter lebih kecil dipasang paralel di dalam pipa berdiameter lebih besar. Perpindahan panas terjadi pada saat fluida kerja yang satu mengalir di dalam pipa diameter kecil, dan fluida kerja lainnya mengalir di luar pipa tersebut. Arah aliran fluida dapat didesain berlawanan arah untuk mendapatkan perubahan temperatur yang tinggi, atau jika diinginkan temperatur yang merata pada semua sisi dinding heat exchanger maka arah aliran fluida dapat didesain searah.



Heat Exchanger Tipe Double-Pipe

### **Spiral Tube**

Heat exchanger tipe ini menggunakan pipa tube yang didesain membentuk spiral di dalam sisi shell. Perpindahan panas pada tipe ini sangat efisien, namun di sisi hampir tidak mungkin untuk melakukan pembersihan sisi dalam tube apabila kotor.

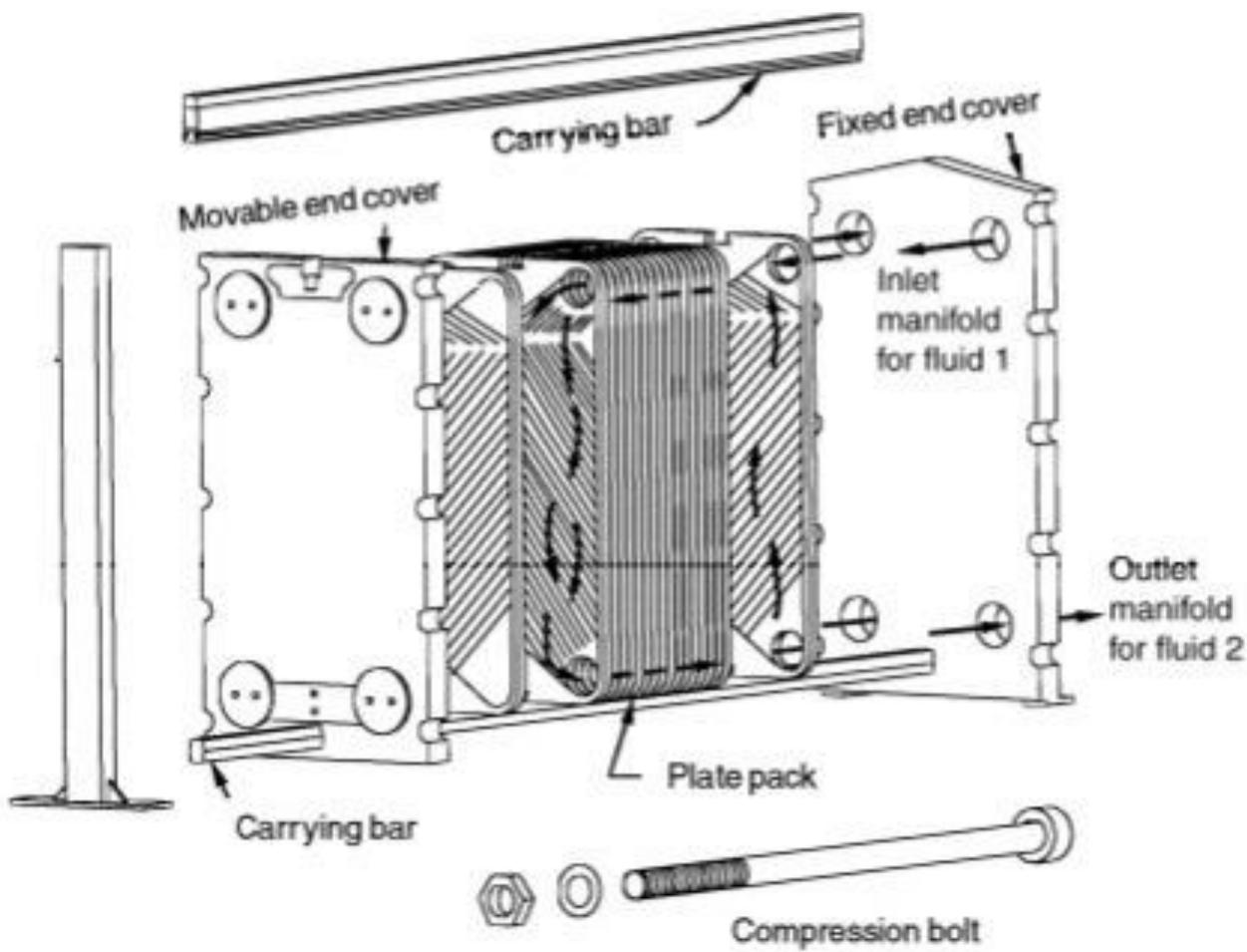


Heat Exchanger Tipe Spiral

### **Heat Exchanger Tipe Plate (Plat)**

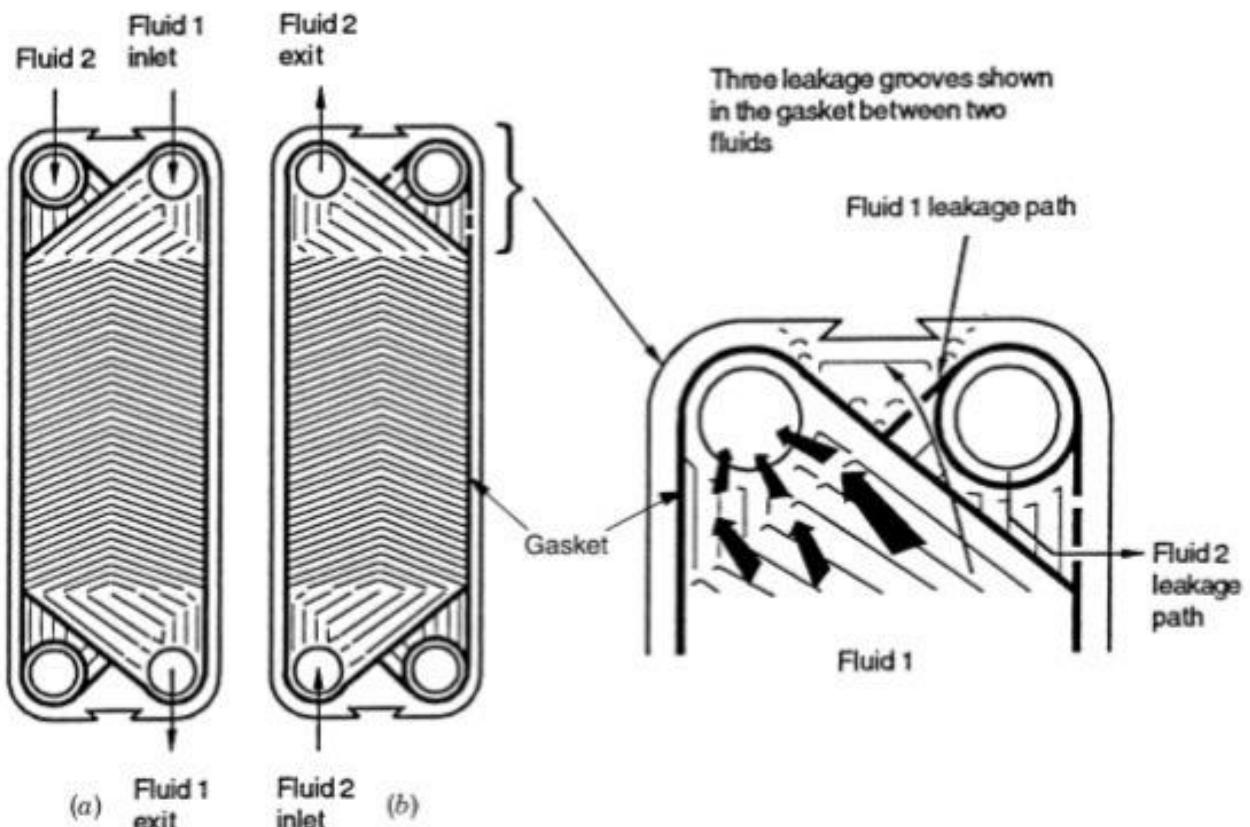
Heat exchanger tipe ini menggunakan plat tipis sebagai komponen utamanya. Plat yang digunakan dapat berbentuk polos ataupun bergelombang sesuai dengan desain yang dikembangkan. Heat exchanger jenis ini tidak cocok untuk digunakan pada tekanan fluida kerja yang tinggi, dan juga pada diferensial temperatur fluida yang tinggi pula. Berikut adalah beberapa jenis heat exchanger tipe plat:

Heat exchanger tipe plat dengan gasket. Heat exchanger tipe ini termasuk tipe yang banyak dipergunakan pada dunia industri, bisa digunakan sebagai pendingin air, pendingin oli, dan sebagainya. Prinsip kerjanya adalah aliran dua atau lebih fluida kerja diatur oleh adanya gasket-gasket yang didesain sedemikian rupa sehingga masing-masing fluida dapat mengalir di plat-plat yang berbeda.



Heat Exchanger Plat Tipe Gasket

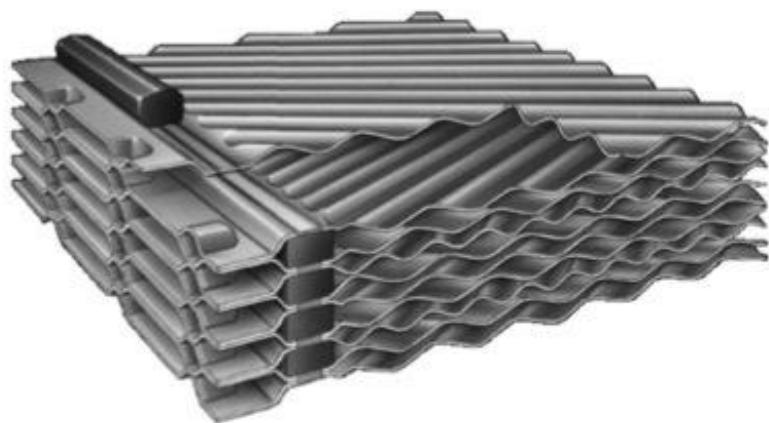
Gasket berfungsi utama sebagai pembagi aliran fluida agar dapat mengalir ke plat-plat secara selang-seling. Gambar di bawah ini menunjukkan desain gasket sehingga di satu sisi plat fluida 1 masuk ke area plat yang (a), sedangkan gasket yang lain mengarahkan fluida 2 agar masuk ke sisi plat (b).



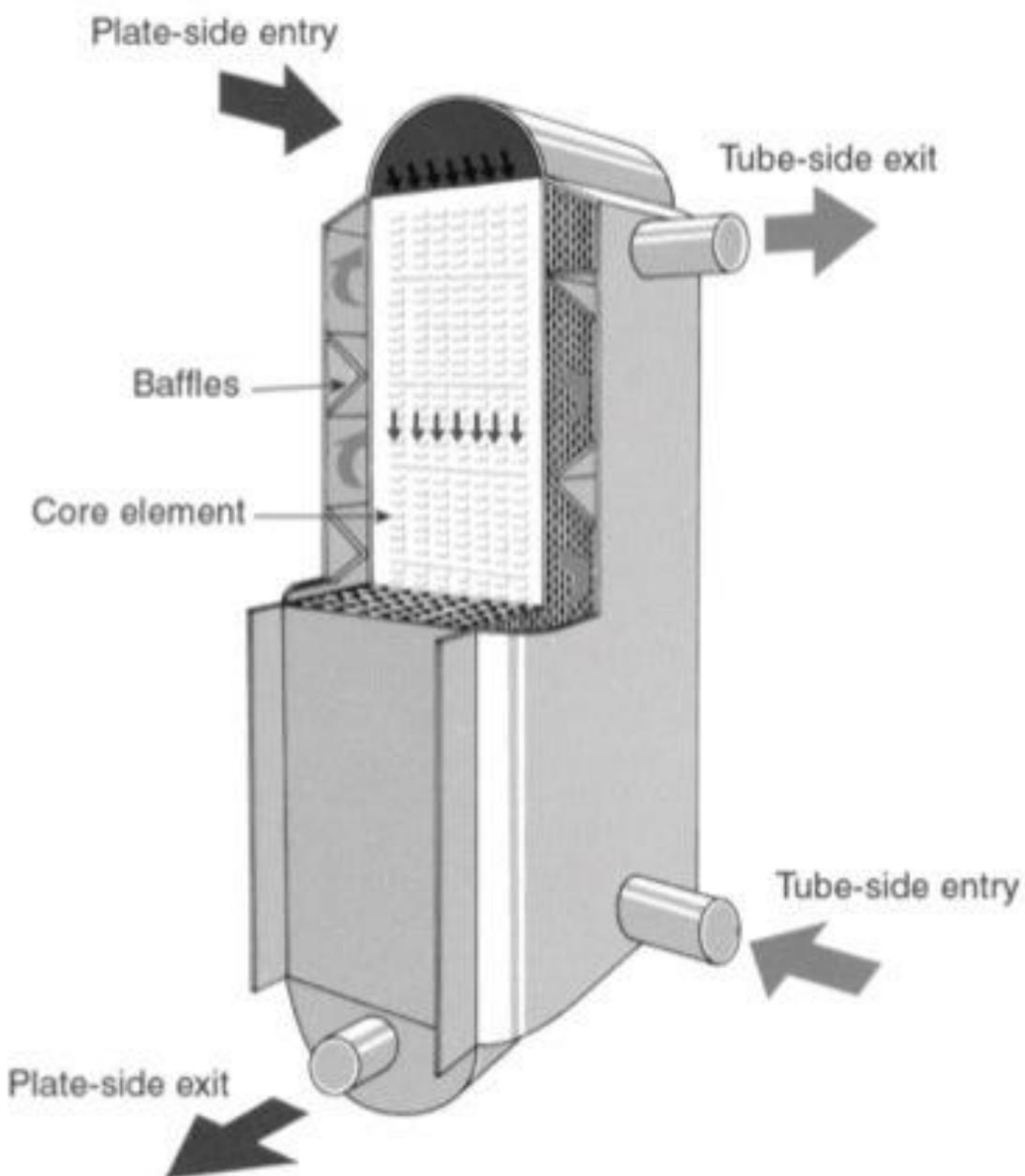
Desain Gasket Untuk Pendistribusian Fluida Kerja

Heat exchanger tipe ini termasuk tipe yang cukup murah dengan koefisien perpindahan panas yang baik. Selain itu tipe ini juga mudah dalam hal perawatannya, karena proses bongkar-pasang yang lebih mudah jika dibandingkan tipe lain seperti shell & tube. Namun di sisi lain, tipe ini tidak cocok jika digunakan pada aliran fluida dengan debit tinggi. Dan seperti yang telah saya singgung di atas bahwa heat exchanger tipe ini tidak cocok digunakan pada tekanan dan temperatur kerja fluida yang tinggi, hal ini berkaitan dengan kekuatan dari material gasket yang digunakan.

**Welded Plate Heat Exchanger (WPHE).** Satu kelemahan yang paling mendasar dari heat exchanger plat dengan gasket, adalah adanya penggunaan gasket tersebut. Hal tersebut membatasi kemampuan heat exchanger sehingga hanya fluida-fluida jenis tertentu yang dapat menggunakan heat exchanger tipe ini. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakanlah heat exchanger tipe plat yang menggunakan sistem pengelasan sebagai pengganti sistem gasket. Sehingga heat exchanger tipe ini lebih aman jika digunakan pada fluida kerja dengan temperatur maupun tekanan kerja tinggi. Hanya saja tentu heat exchanger tipe ini menjadi kehilangan kemampuan fleksibilitasnya dalam hal bongkar-pasang dan perawatan.

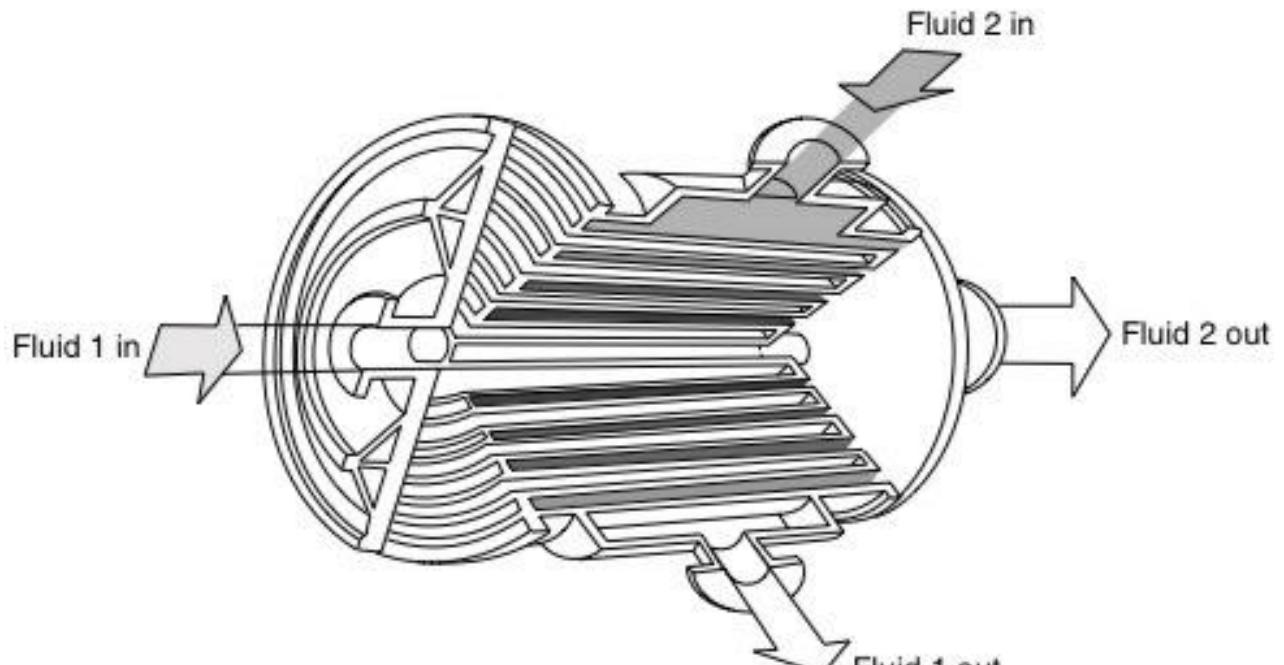


Elemen Plat Pada WPHE



## Salah Satu Desain Welded Plate Heat Exchanger

Spiral Plate Heat Exchanger. Heat exchanger tipe ini menggunakan desain spiral pada susunan platnya, dengan menggunakan sistem sealing las. Aliran dua fluida di dalam heat exchanger tipe ini dapat berbentuk tiga macam yakni (1) dua aliran fluida spiral mengalir berlawanan arah (counterflow), (2) satu fluida mengalir spiral dan yang lainnya bersilangan dengan fluida pertama (crossflow), (3) satu fluida mengalir secara spiral dan yang lainnya mengalir secara kombinasi antara spiral dengan crossflow.

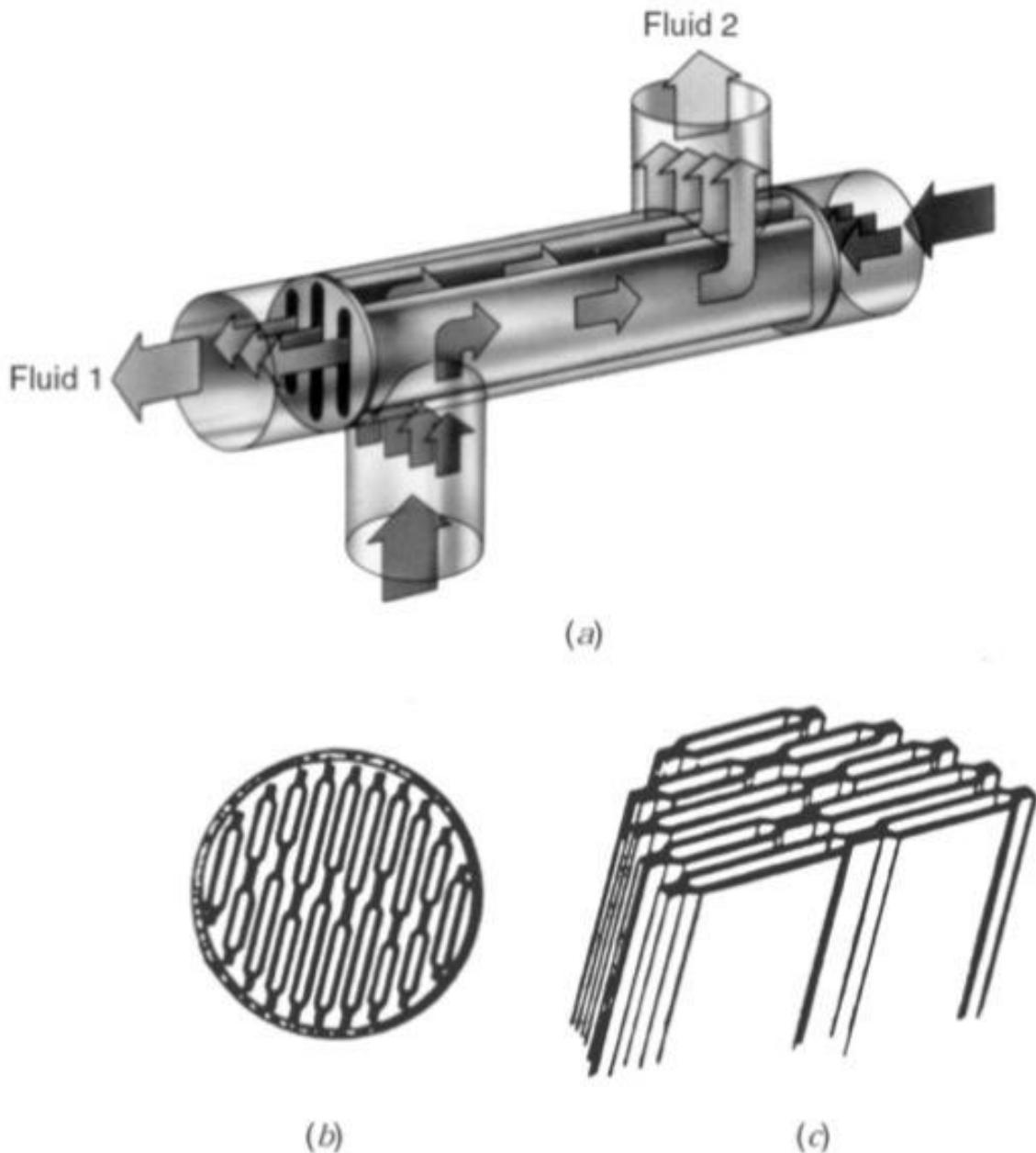


Desain Heat Exchanger Plat Tipe Spiral

Heat exchanger tipe ini sangat cocok digunakan untuk fluida dengan viskositas tinggi atau juga fluida yang mengandung material-material pengotor yang dapat menimbulkan tumpukan kotoran di dalam elemen heat exchanger. Hal ini disebabkan karena desainnya yang satu lintasan, sehingga apabila terjadi penumpukan kotoran di satu titik, maka secara alami kecapatan aliran fluida pada titik tersebut akan meningkat, sehingga kotoran tadi akan terkikis sendiri oleh fluida kerja tersebut. Karena kelebihan inilah sehingga heat exchanger tipe ini sangat cocok untuk digunakan pada fluida kerja dengan viskositas sangat tinggi, fluida slurries (semacam lumpur), air limbah industri, dan sejenisnya.

**Lamella Heat Exchanger.** Lamella heat exchanger tersusun atas sebuah shell berbentuk silindris dengan elemen berdesain khusus berada di dalamnya. Elemen dengan desain khusus

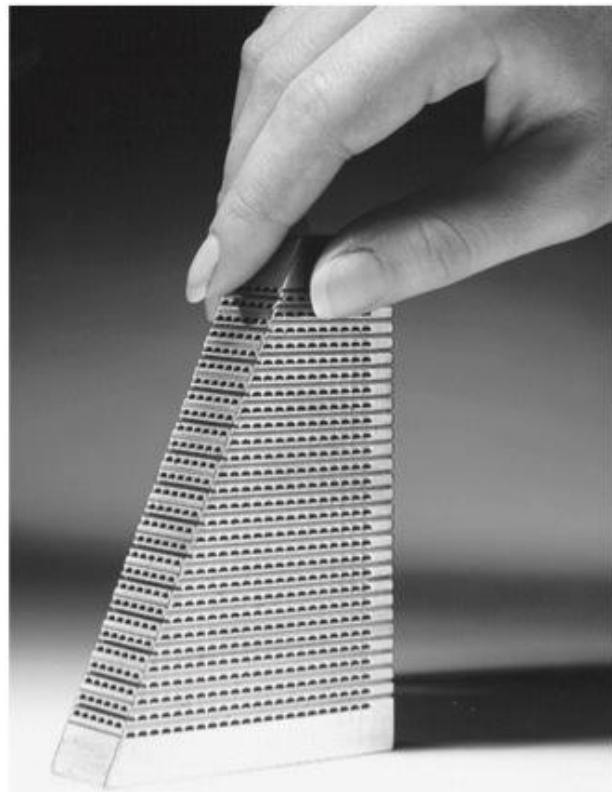
ini disebut dengan Lamella. Di antara elemen lamella dengan sisi shell dibatasi dengan sistem sealing berupa gasket. Untuk lebih memahami desain heat exchanger tipe ini, mari perhatikan gambar berikut.



Lamella Heat Exchanger Beserta Desain Emailnya

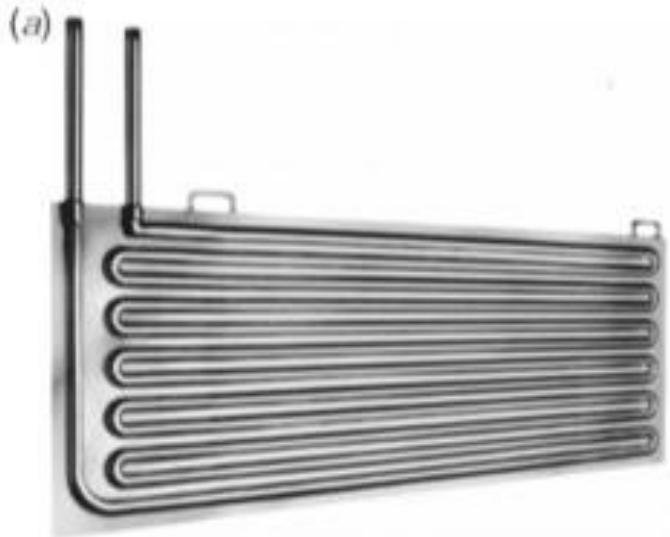
Lamella Heat Exchanger memiliki berat total yang lebih ringan daripada heat exchanger tipe shell & tube dengan beban kerja yang sama. Tipe ini juga dapat bekerja pada temperatur yang tinggi apabila gasket yang digunakan tepat, yakni hingga 500°C jika menggunakan gasket berbahan non-asbestos. Penggunaan heat exchanger tipe ini biasanya ada pada industri kertas, industri kimia, serta industri lain yang sejenisnya.

**Printed-Circuit Heat Exchanger.** Heat exchanger tipe selanjutnya ini berdesain khusus seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Proses pembuatannya menggunakan berbagai jenis plat dari material stainless steel, titanium, tembaga, aluminium, atau yang lainnya, dengan jalan mirip proses kimia pada pembuatan sirkuit PCB rangkaian elektronika. Heat exchanger tipe ini cocok digunakan pada pemrosesan kimia, pemrosesan bahan bakar, mesin pendingin, industri separasi udara, komponen pendingin kompresor, dan lain sebagainya.



Printed-Circuit Heat Exchanger

**Panelcoil Heat Exchanger.** Heat exchanger tipe ini menggunakan semacam pipa yang dipasangkan ke sebidang plat dengan proses pengelasan, stamping, atau proses roll-bond sehingga didapatkan sebuah desain heat exchanger yang diberi istilah panelcoil. Material yang digunakan untuk panelcoil umumnya adalah baja karbon, staenless steel, titanium, nikel, dan monel. Penggunaan heat exchanger tipe ini ada pada industri farmasi, industri fiber, industri kimia, industri makanan, dan juga pada penyerap panas tenaga matahari.



#### Panelcoil Heat Exchanger:

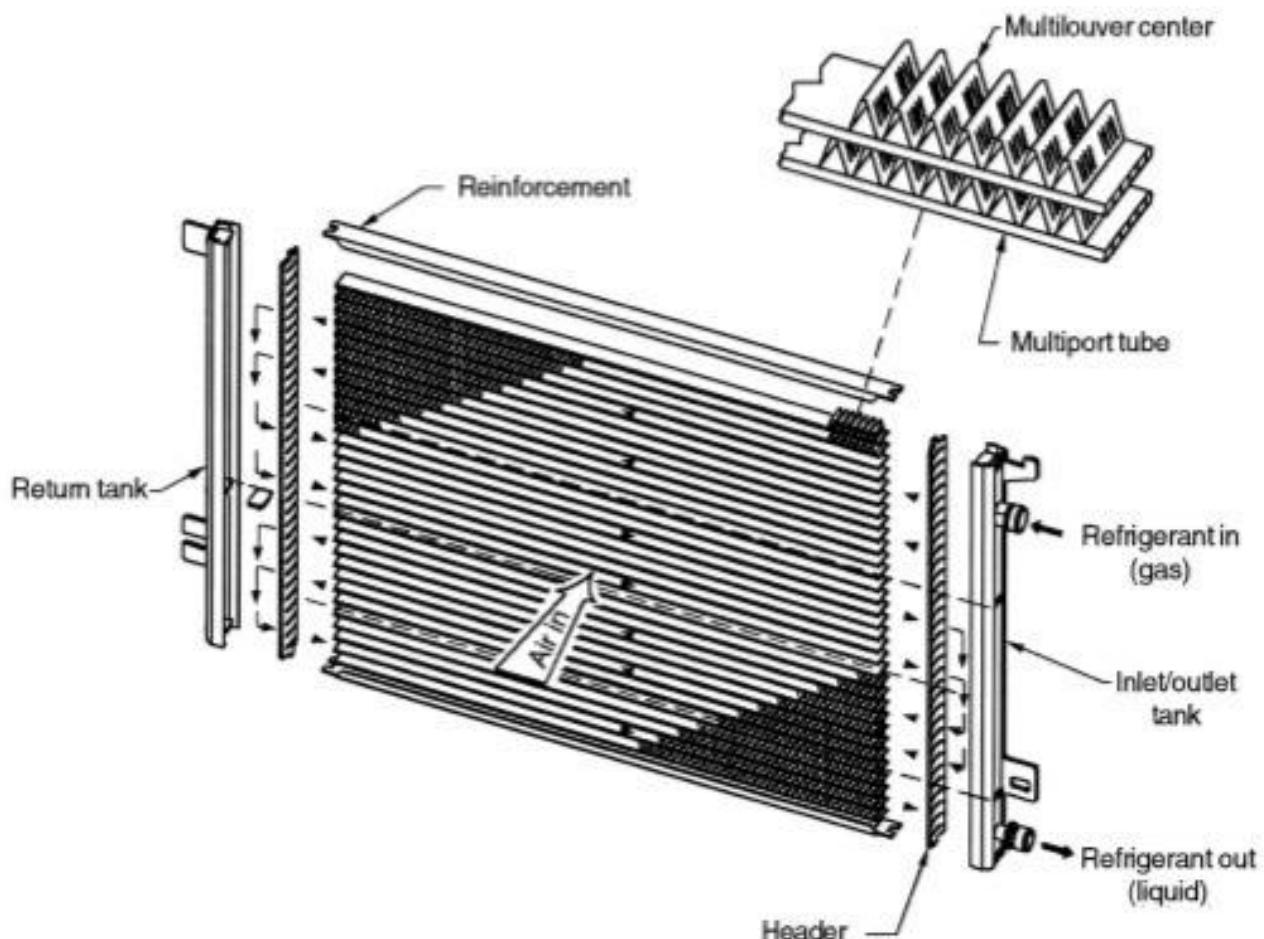
- (a)Satu jalur (single-flow)
- (b)Multiple-flow
- (c)Vessel
- (d)Spot-Welded Econocoil Bank

#### Heat Exchanger Dengan Sirip (Extended Surface)

Satu kelemahan dari heat exchanger tipe tubular dan plat adalah koefisien perpindahan panas yang relatif rendah, yakni hanya mampu mencapai maksimal 60%. Hal ini dikarenakan angka perbandingan luas permukaan perpindahan panas tiap satuan volume yang rendah, yaitu kurang

dari  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Sehingga salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas adalah dengan jalan meningkatkan luas permukaan perpindahan panas, yakni dengan menggunakan sirip. Prinsip dasarnya adalah, (1) dengan adanya sirip ini maka permukaan kontak terjadinya perpindahan panas semakin luas sehingga meningkatkan efisiensi perpindahan panas; (2) pada fluida mengalir, dengan adanya sirip ini maka aliran fluida akan sedikit terhambat sehingga didapatkan waktu untuk transfer panas yang lebih lama dan efektif. Berikut adalah dua macam desain heat exchanger dengan sirip:

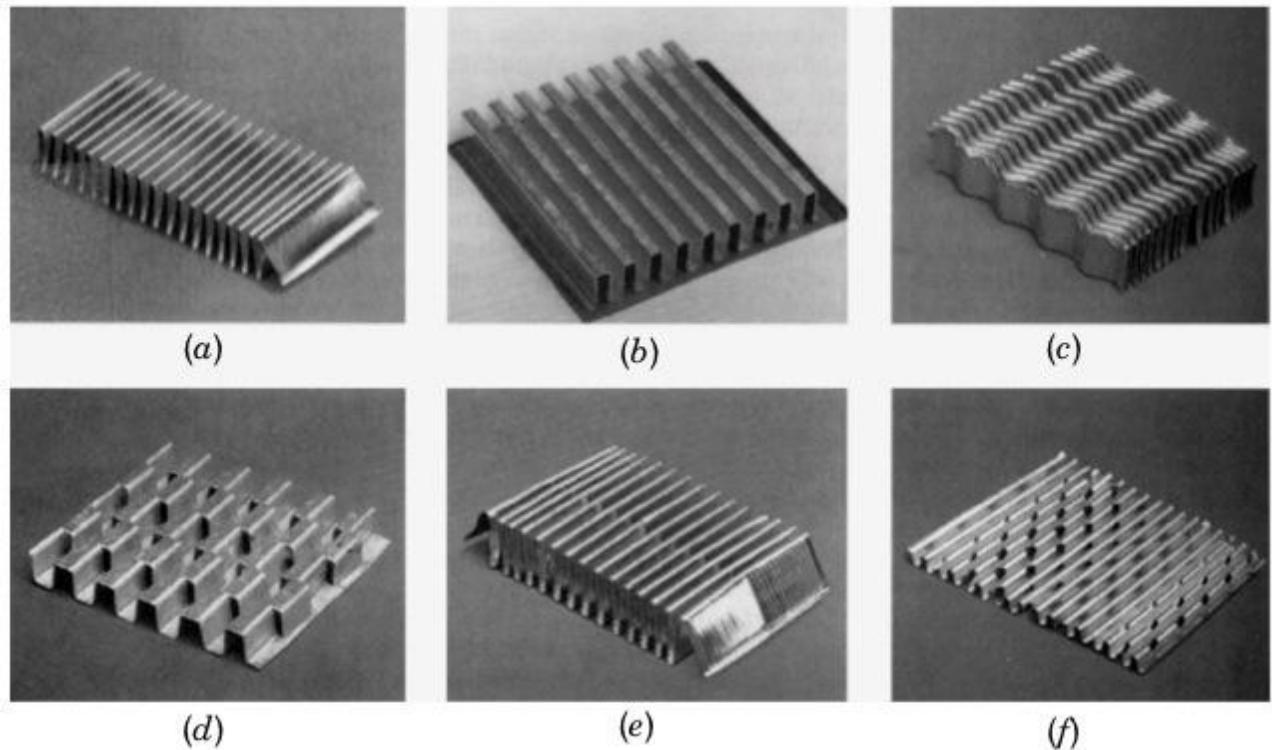
Heat Exchanger Plat Dengan Sirip. Heat exchanger tipe ini merupakan modifikasi dari heat exchanger tipe plat yang diberi tambahan sirip. Prinsip desainnya adalah penggunaan sirip yang berbentuk segitiga ataupun kotak yang dipasangkan di antara dua plat paralel.



Kondensor Refrigerant Pada Kendaraan Bermotor

Salah satu aplikasi heat exchanger plat dengan sirip dapat kita lihat pada gambar di atas, yakni sebuah heat exchanger yang berfungsi untuk merubah gas refrigerant agar kembali ke fase cair dengan media pendingin udara. Pada kondensor ini ada dua bentuk sirip, yang pertama berukuran kecil dan terpasang memanjang sejajar dengan panjang plat. Sisi tersebut menjadi

jalur aliran fluida refrigerant. Sirip yang kedua berukuran lebih besar berbentuk segitiga dan terpasang di antara dua plat yang mengalirkan refrigerant. Udara sebagai fluida pendingin mengalir melewati sirip-sirip segitiga tersebut dan menciptakan aliran yang tegak lurus (cross-flow) dengan aliran refrigerant.

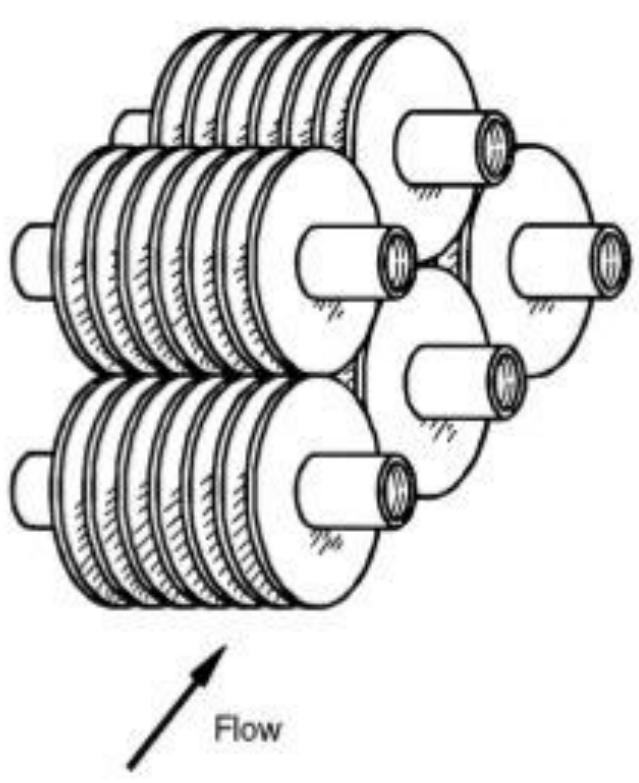


Macam-macam Desain Sirip Heat Exchanger Plat

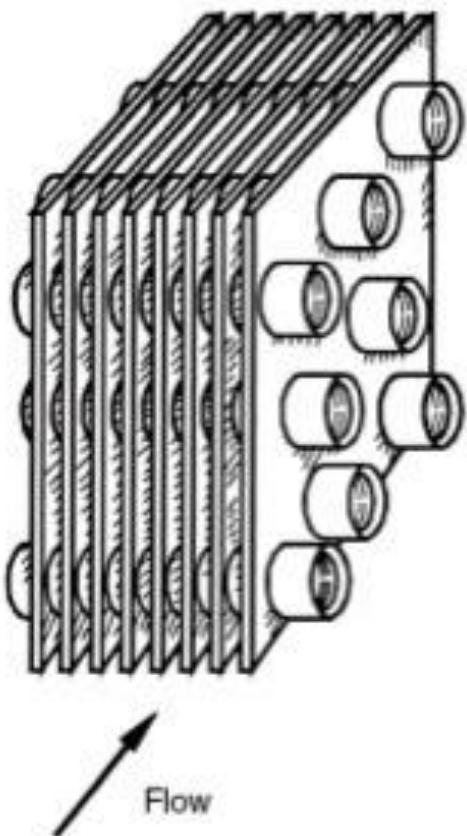
(a) Segitiga (b) Segiempat (c) Gelombang

(d) Offset (e) Multilouver (f) Berlubang

Heat Exchanger Tubular Dengan Sirip. Perluasan permukaan juga dapat diaplikasikan ke pipa tubing heat exchanger. Sirip tersebut dapat terletak pada sisi luar ataupun dalam tubing dengan berbagai bentuk desain yang disesuaikan dengan kebutuhan. Untuk sirip eksternal ada yang didesain secara individual untuk tiap-tiap tubing, dan dapat pula yang secara bersamaan untuk beberapa tube. Untuk lebih jelasnya mari kita perhatikan gambar-gambar berikut.



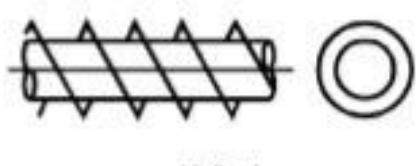
(a)



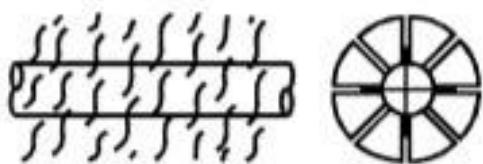
(b)

(a) Tube Dengan Sirip Individual

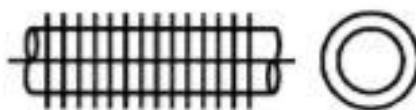
(b) Tube Dengan Sirip Kontinyu



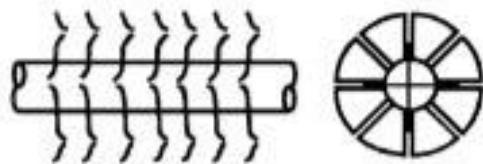
Helical



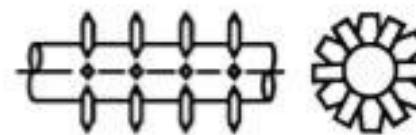
Fully cut on helix



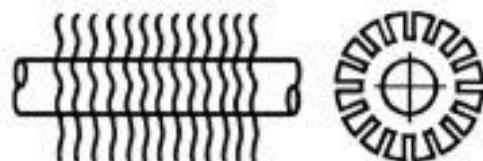
Annular



Fully cut along the axis



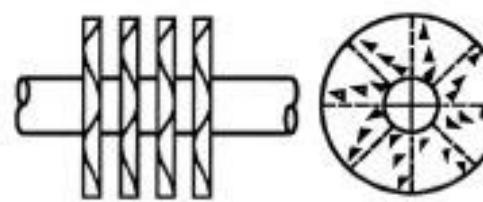
Studded



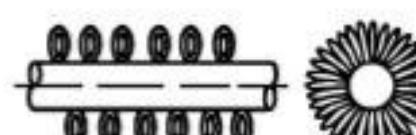
Partially cut on helix



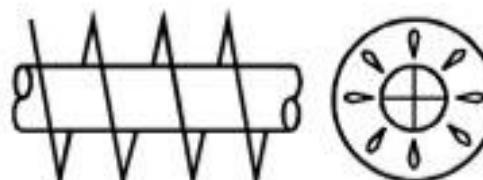
Serrated



Slotted wavy helical

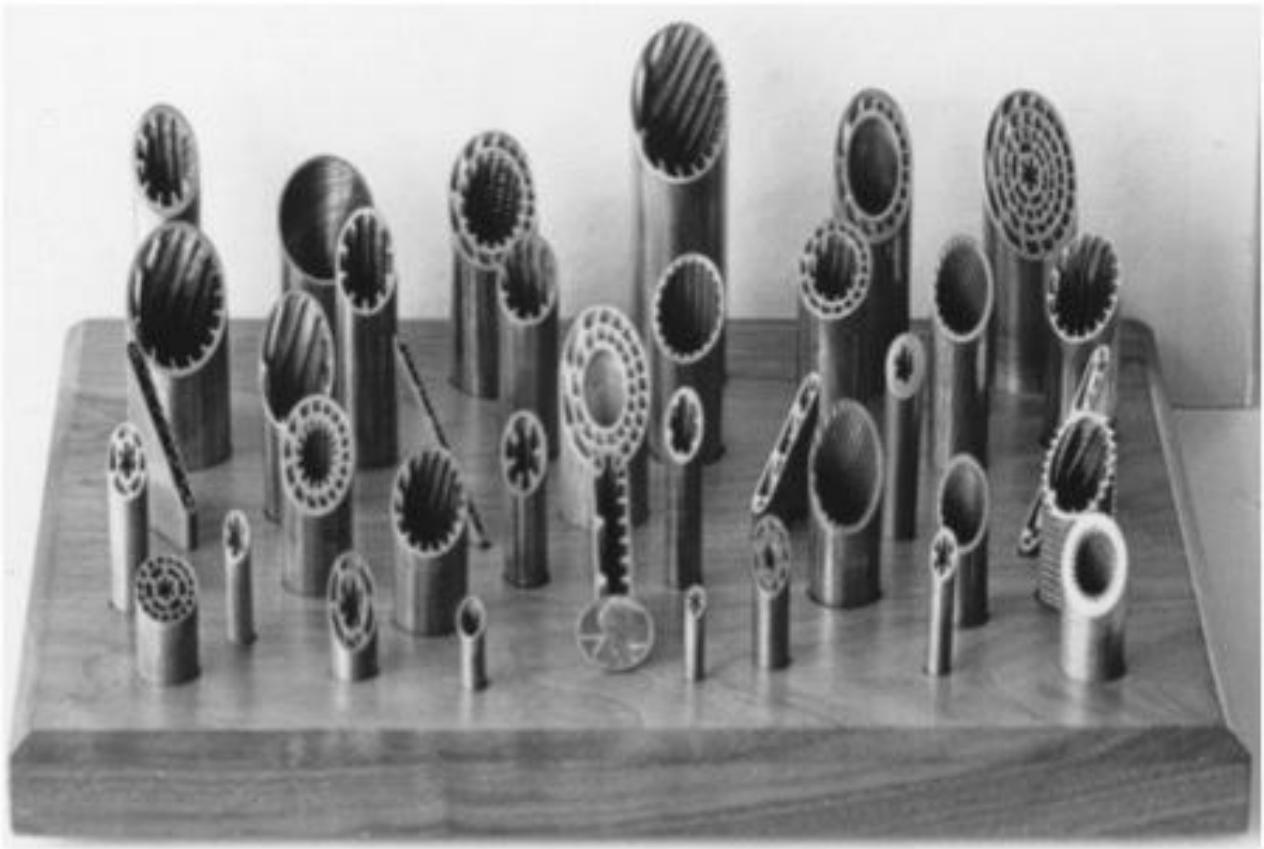


Wire form



Slotted helical

Berbagai Desain Sirip Luar Tubing



Tubing Dengan Sirip di Dalam

Heat exchanger dengan tubing bersirip ini digunakan jika salah satu fluida memiliki tekanan kerja dan temperatur yang lebih tinggi daripada fluida kerja yang lainnya. Sehingga dengan adanya sirip tersebut terjadi perpindahan panas yang efisien. Aplikasi tubing dengan sirip ini digunakan seperti pada kondensor dan evaporator pada mesin pendingin (air conditioning), kondensor pada pembangkit listrik tenaga uap, pendingin oli pada pembangkit listrik, dan lain sebagainya.

### **Regenerator**

Seperti yang telah saya singgung pada artikel sebelumnya, regenerator adalah salah satu desain heat exchanger dengan sistem storage, yang berarti energi panas yang berasal dari fluida pertama tersimpan sementara sebelum panas tersebut ditransfer ke fluida kedua. Sebagai komponen utamanya, regenerator tersusun atas elemen-elemen penyimpan panas yang biasa disebut dengan matriks.

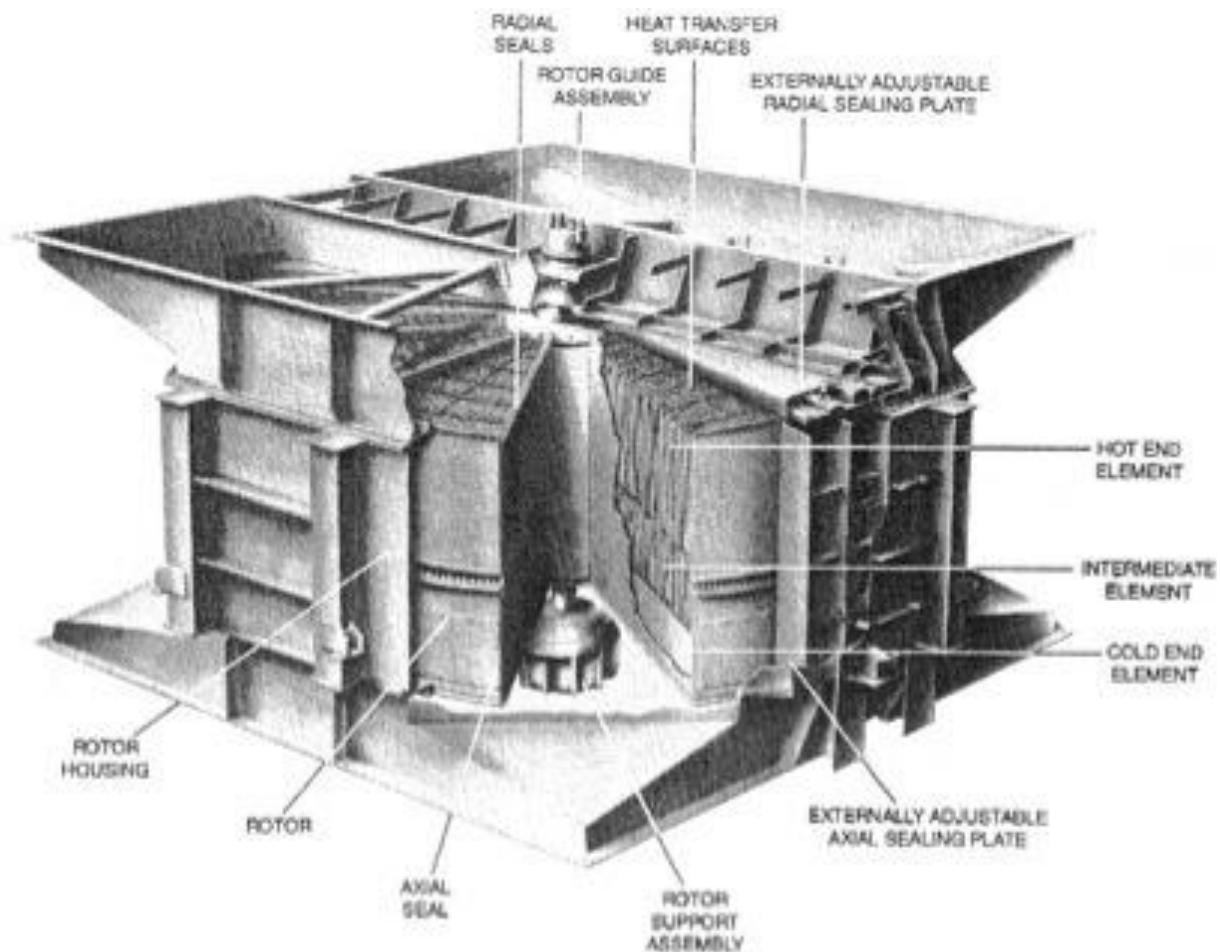
Regenerator memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

- Desain matriks yang compact dibandingkan dengan tipe recuperator, menjadikan tipe ini memiliki volume desain yang lebih kecil, harga yang lebih murah, serta perpindahan panas yang lebih efisien.
- Pressure drop fluida yang mengalir melalui matriks heat exchanger regenerator, relatif rendah.
- Desain heat exchanger ini lebih simpel dalam hal pendistribusian fluida kerja agar dapat mengalir secara merata di semua sisi matriks.
- Sangat cocok digunakan untuk fluida gas-gas dengan efisiensi perpindahan panas yang dapat mencapai 85%.

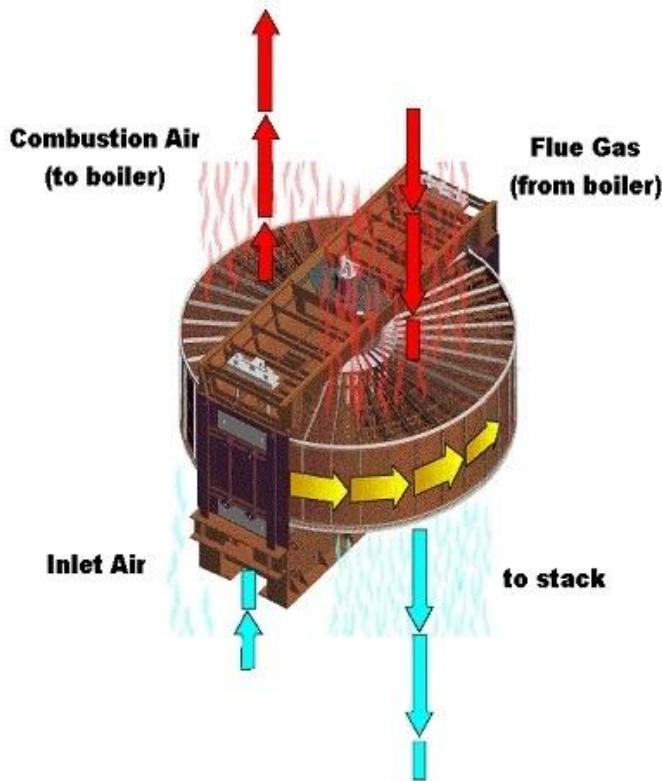
Di sisi lain regenerator juga memiliki kelemahan, salah satunya adalah penggunaannya yang terbatas hanya untuk fluida gas, fluida berfase cair ataupun transisi cair-gas tidak memungkinkan menggunakan regenerator. Kelemahan lainnya adalah adanya kemungkinan tercampurnya dua fluida gas, hal ini terjadi pada regenerator tipe rotari terutama pada area radial seal.

**Regenerator terbagi menjadi dua jenis yaitu:**

Regenerator tipe rotari. Regenerator tipe ini menggunakan matriks yang tersusun membentuk lingkaran dan berfungsi sebagai rotor dari regenerator. Rotor tersebut berputar dengan kecepatan tertentu. Aliran dua atau lebih fluida dipisahkan oleh sistem radial seal. Gas panas melewati matriks untuk diserap panas yang dikandung di dalamnya. Selanjutnya karena gerakan berputar dari rotor tersebut maka matriks yang sudah menyerap panas akan dialiri oleh gas dingin sehingga panas tersebut diserap olehnya.

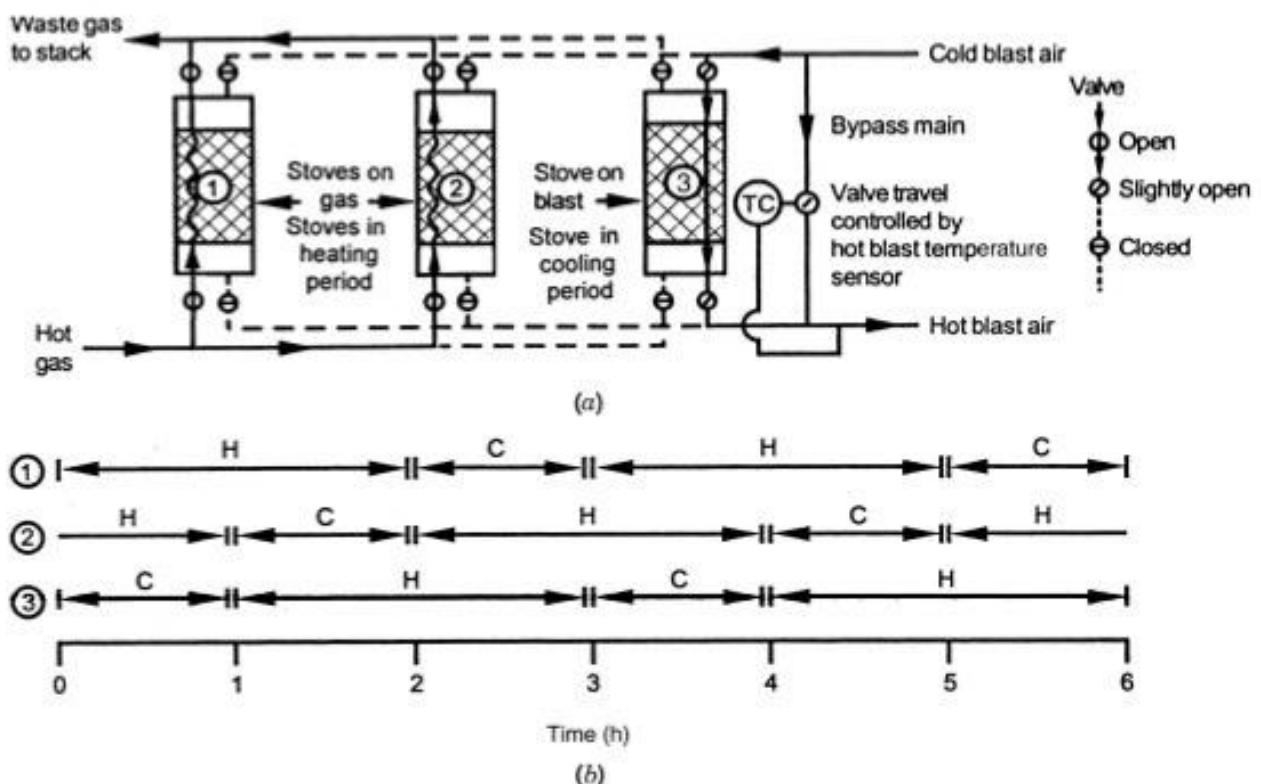


Ljungstrom Air Pre-Heater Pada Boiler Adalah Aplikasi Dari Regenerator Tipe Rotari



Prinsip Kerja Ljungstrom Air Pre-Heater

**Regenerator tipe fiks.** Regenerator tipe ini menggunakan matriks yang diam dan melibatkan katup (valve) yang berfungsi untuk mengatur aliran fluida gas. Heat exchanger ini membutuhkan minimal dua matriks yang terusun paralel. Gas panas masuk ke matriks satu sedangkan gas dingin masuk ke matriks dua, keduanya biasanya memiliki arah masuk matriks yang berlawanan (counterflow). Setelah interval waktu tertentu, katup-katup bekerja untuk merubah arah aliran fluida, sehingga gas panas masuk ke matriks dua dan gas dingin masuk ke matriks satu. Untuk lebih jelasnya mari kita perhatikan gambar di bawah ini.

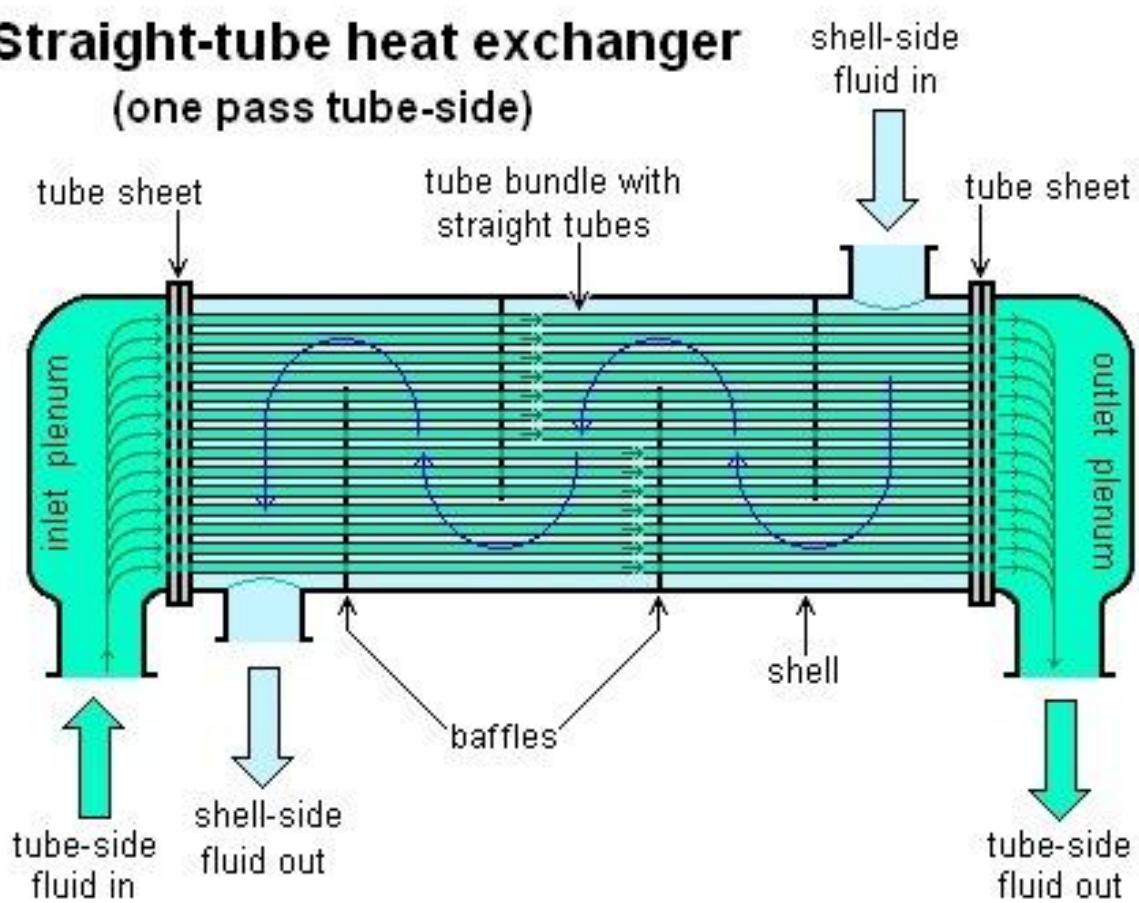


Contoh Sistem Regenerator Dengan Tiga Matriks Fiks Tersusun Secara Paralel

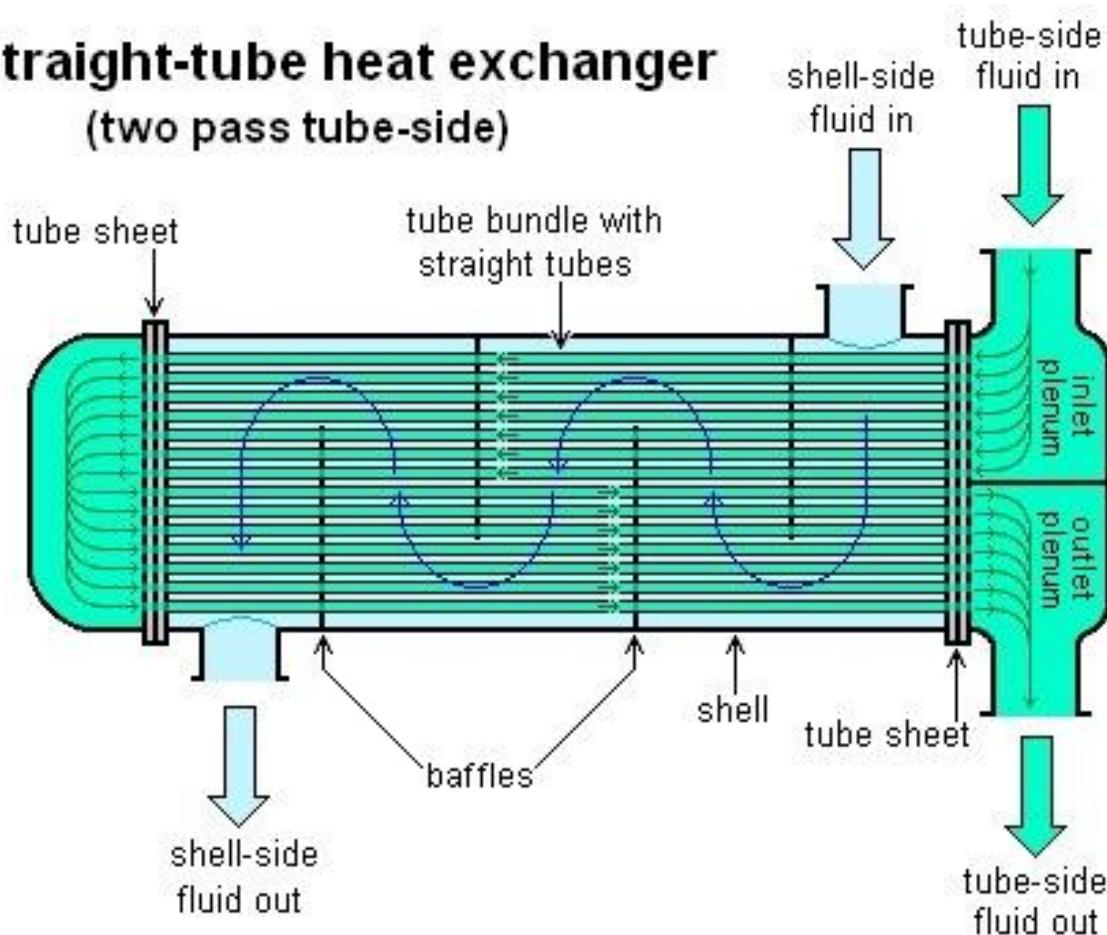
### E. Macam-macam Heat Exchanger Berdasarkan Bentuk Aliran Fluida

Penentuan desain aliran fluida di dalam sebuah heat exchanger tergantung dari kebutuhan tingkat keefektifan perpindahan panas yang diinginkan, penurunan tekanan yang diijinkan, kecepatan aliran fluida minimum dan maksimum yang diperbolehkan, bentuk aliran fluida, desain bentuk heat exchanger, tegangan termal yang diijinkan, perubahan temperatur yang dibutuhkan, desain sistem perpipaan, serta berbagai pertimbangan yang lain. Sebelum lebih jauh membahas jenis-jenis heat exchanger berdasarkan tipe aliran fluidanya, mari kita pahami tentang adanya tipe aliran multipass pada sebuahheat exchanger.

## **Straight-tube heat exchanger (one pass tube-side)**



## **Straight-tube heat exchanger (two pass tube-side)**



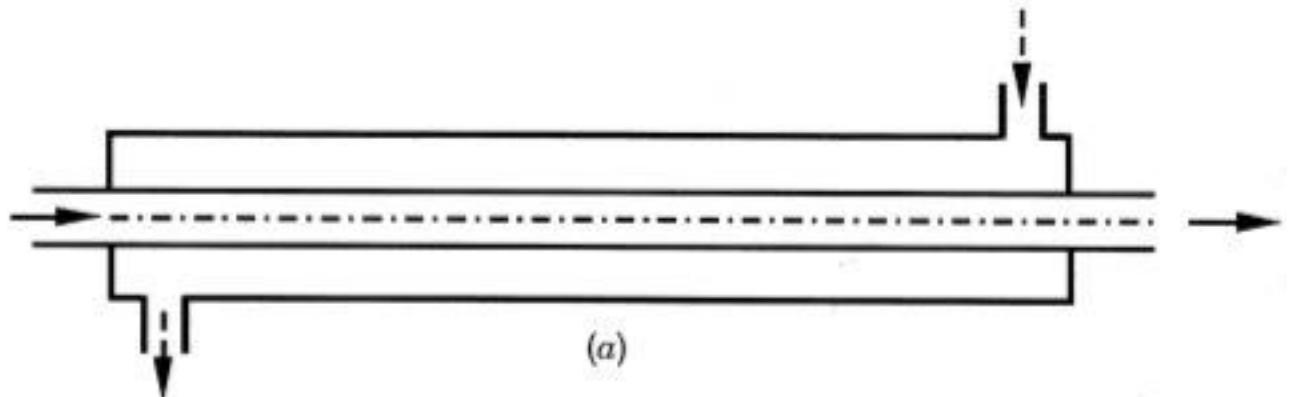
Ilustrasi Aliran Fluida Singlepass & Multipass

Fluida yang mengalir di dalam sebuah heat exchanger bisa berupa single-pass atau juga multi-pass. Dikatakan single-pass yakni apabila fluida mengalir hanya satu kali di dalam heat exchanger. Sedangkan dikatakan multi-pass apabila fluida mengalir lebih dari satu kali di dalam sebuah heat exchanger. Dari konsep multi-pass tersebut, berikut adalah beberapa tipe heat exchanger berdasarkan bentuk aliran fluida:

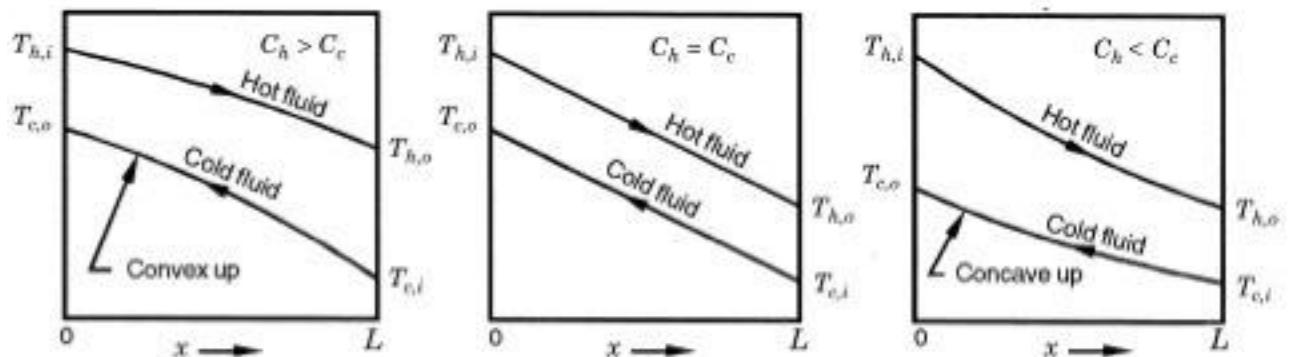
### **Heat Exchanger Tipe Single-Pass**

Counterflow Heat Exchanger. Fluida-fluida yang mengalir pada heat exchanger tipe ini berada saling sejajar, akan tetapi memiliki arah yang saling berlawanan. Desain ini menghasilkan efisiensi perpindahan panas yang paling baik diantara jenis heat exchanger yang lain. Hal ini disebabkan karena fluida dingin yang masuk ke dalam exchanger akan bertemu dangan fluida sumber panas yang akan keluar dari exchanger, dimana fluida ini sudah mengalami penurunan panas. Begitu pula pada sisi outlet fluida yang dipanaskan, ia akan

dipanaskan oleh fluida sumber panas yang baru saja masuk ke exchanger tersebut. Untuk lebih jelasnya, mari kita perhatikan gambar berikut.



Skema Counter Flow Heat Exchanger



Kurva Perubahan Temperatur 2 Fluida Pada Counter Flow Heat Exchanger

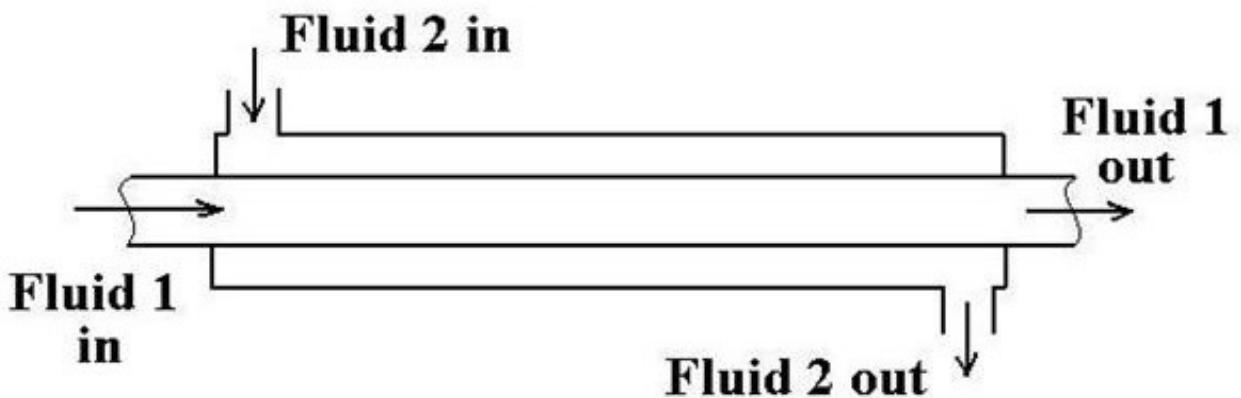
$C$  = Laju kapasitas panas fluida

$T$  = Temperatur

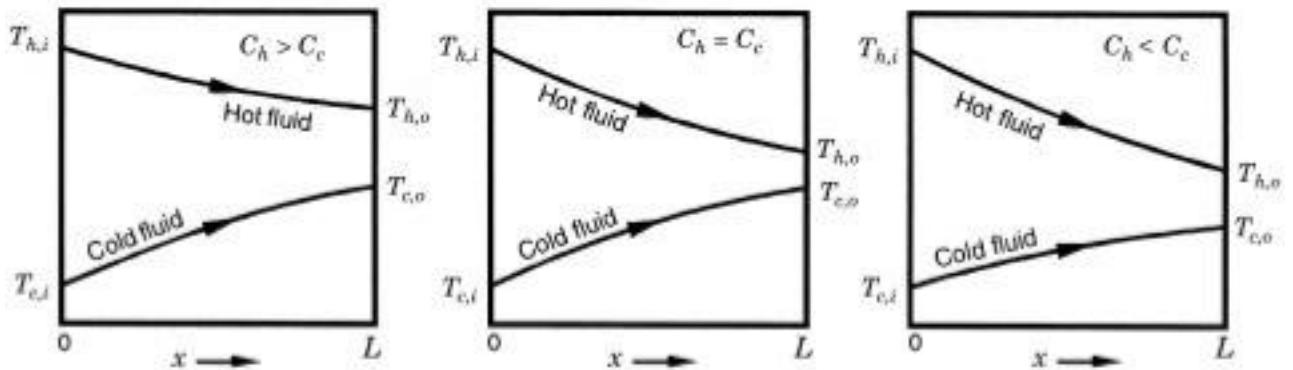
Subscribe "h" dan "c" = masing-masing untuk fluida panas dan dingin

Subscribe "i" dan "o" = masing-masing untuk sisi inlet dan outlet

**Paralelflow Heat Exchanger.** Fluida-fluida kerja pada heat exchanger tipe ini mengalir sejajar dan memiliki arah aliran yang sama antara fluida satu dengan yang lainnya. Fluida-fluida tersebut masuk dan keluar heat exchanger melalui sisi yang sama. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.



Skema Paralel Flow Heat Exchanger



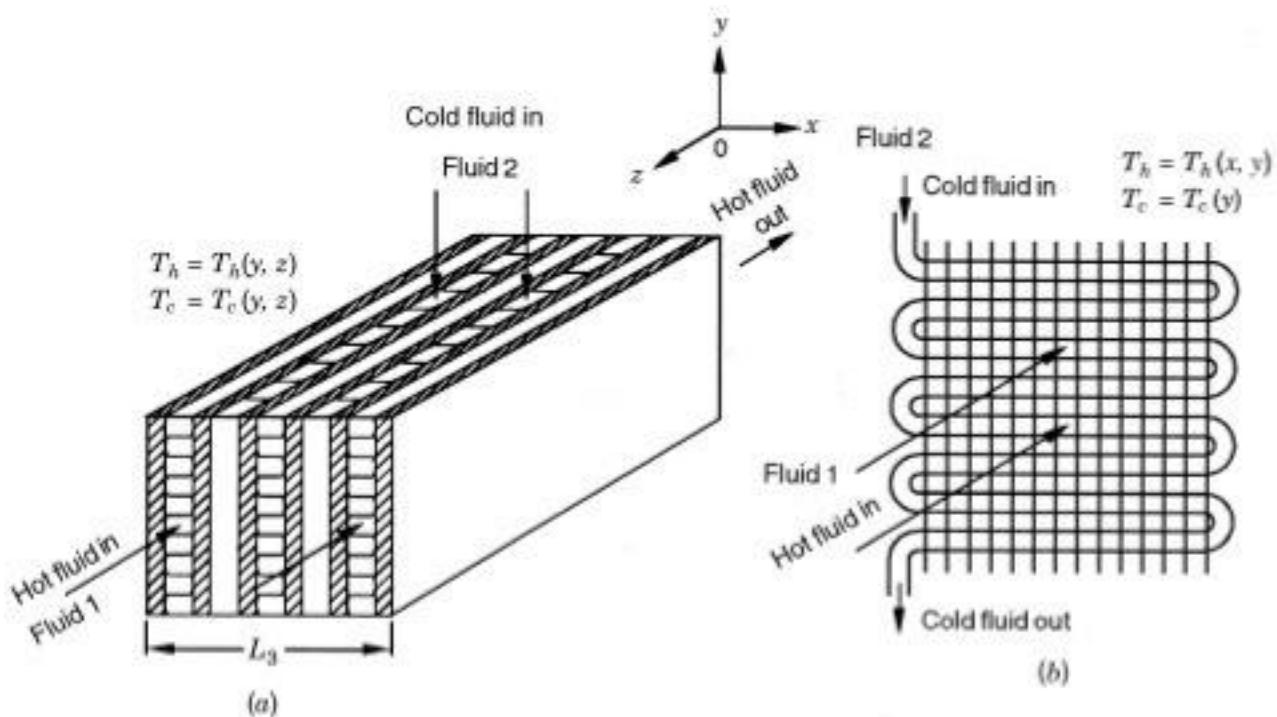
Kurva Perubahan Temperatur 2 Fluida Pada Paralel Flow Heat Exchanger

Desain aliran fluida yang searah pada heat exchanger tipe ini, menghasilkan tingkat efisiensi perpindahan panas yang buruk di antara semua heat exchanger tipe single-pass. Oleh karena itu tipe ini digunakan pada kondisi-kondisi khusus yakni:

- Heat exchanger menggunakan material yang sensitif terhadap temperatur, penggunaan fluida dengan viskositas tinggi, atau temperatur inlet fluida panas yang mencapai 1100°C.
- Jika fluida sumber panas akan mencapai titik beku pada saat didinginkan pada heat exchanger.
- Dibutuhkan kondisi heat exchanger yang lebih bersih, karena temperatur dinding heat exchanger tipe paralel flow yang lebih dingin dibandingkan dengan tipe yang lain menyebabkan lebih sulitnya terbentuk kerak di dalam elemennya.
- Membantu mencapai fase terbentuknya nucleat boiling pada proses pembentukan uap air.
- Jika dibutuhkan efisiensi perpindahan panas yang rendah dan laju perpindahan panas yang stabil di sepanjang permukaan elemen heat exchanger.

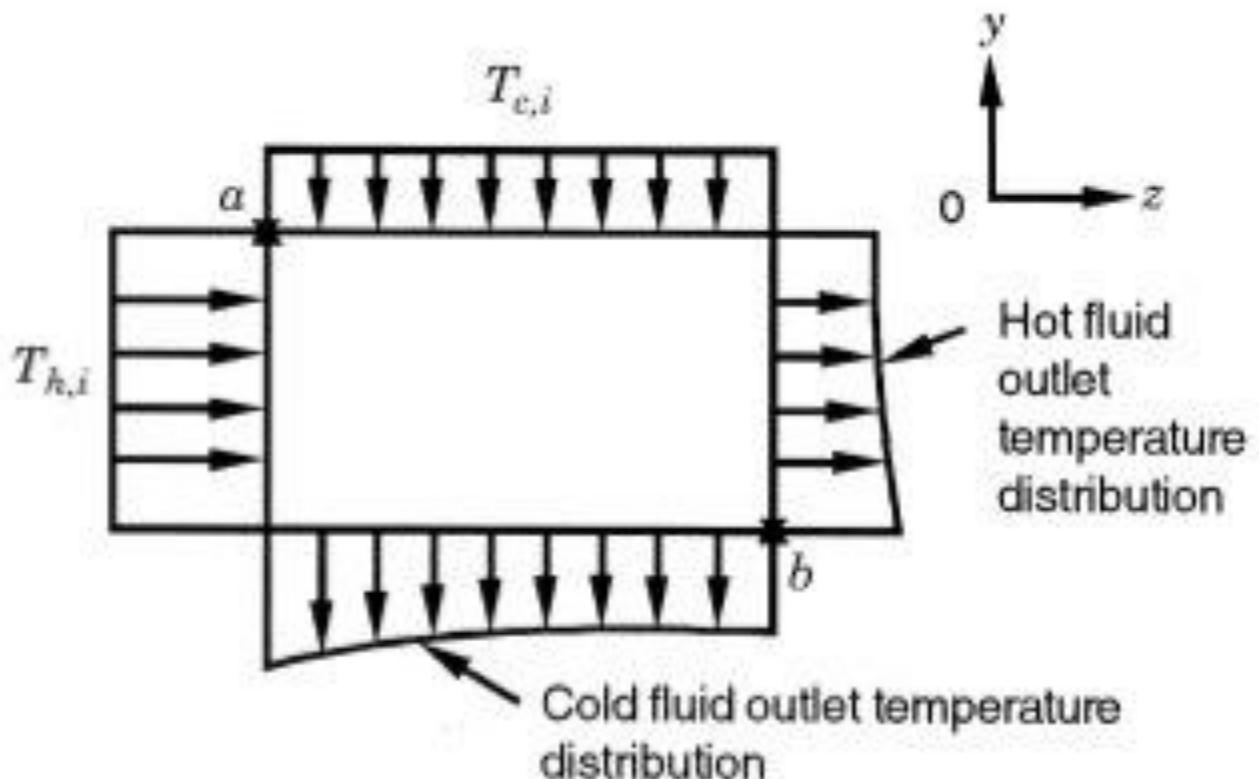
**Crossflow Heat Exchanger.** Dua fluida yang mengalir di heat exchanger tipe ini memiliki arah yang saling tegak lurus atau bersilangan. Secara termodinamik, tipe ini memiliki

efisiensi perpindahan panas yang lebih rendah daripada tipe counterflow tetapi lebih tinggi daripada tipe paralelflow. Perpindahan panas yang paling efisien terjadi pada sudut-sudut aliran. Untuk lebih jelasnya mari kita perhatikan gambar-gambar berikut.



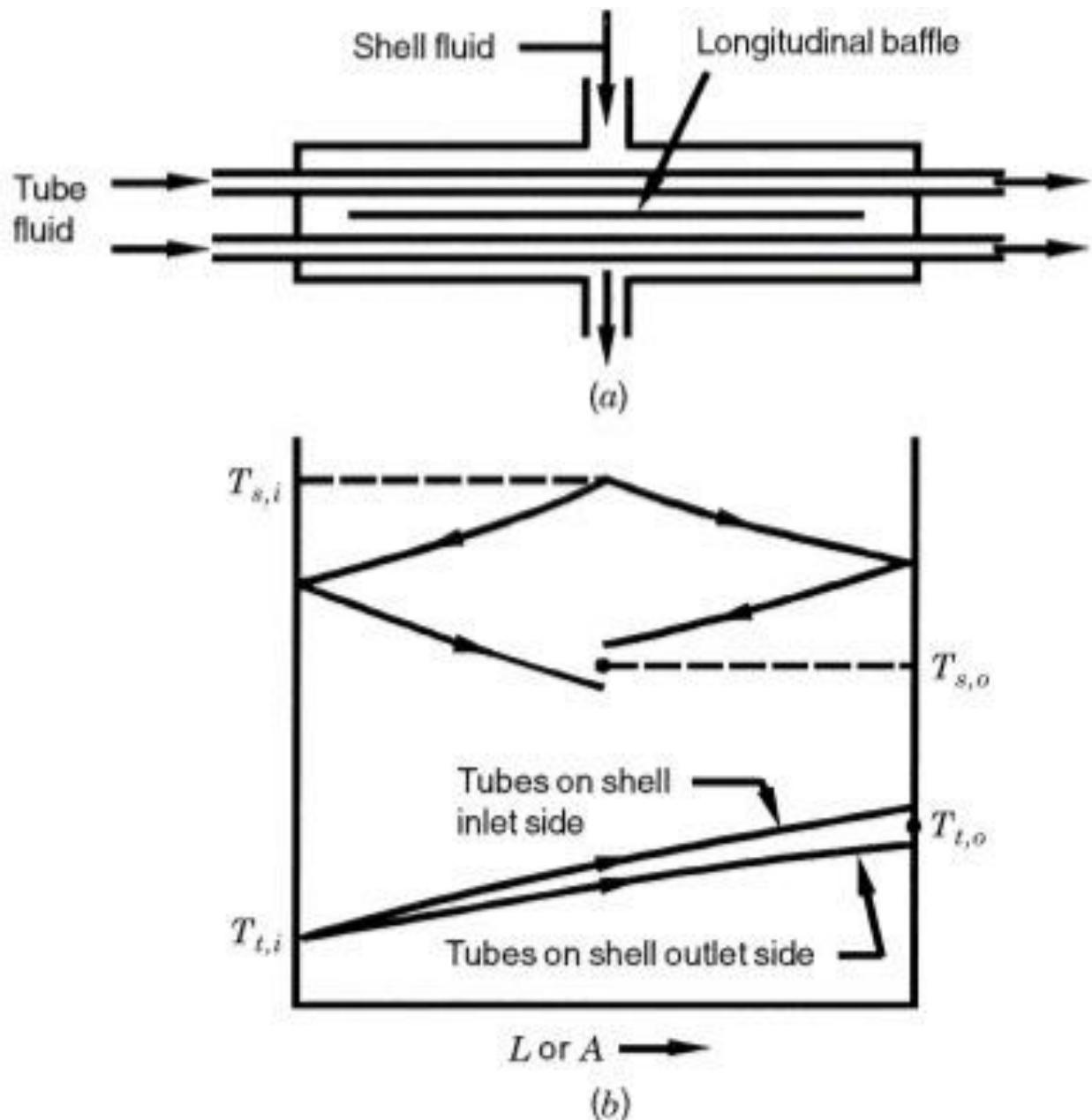
a) Heat exchanger type plat.

b) Heat exchanger type serpentine (single tube)



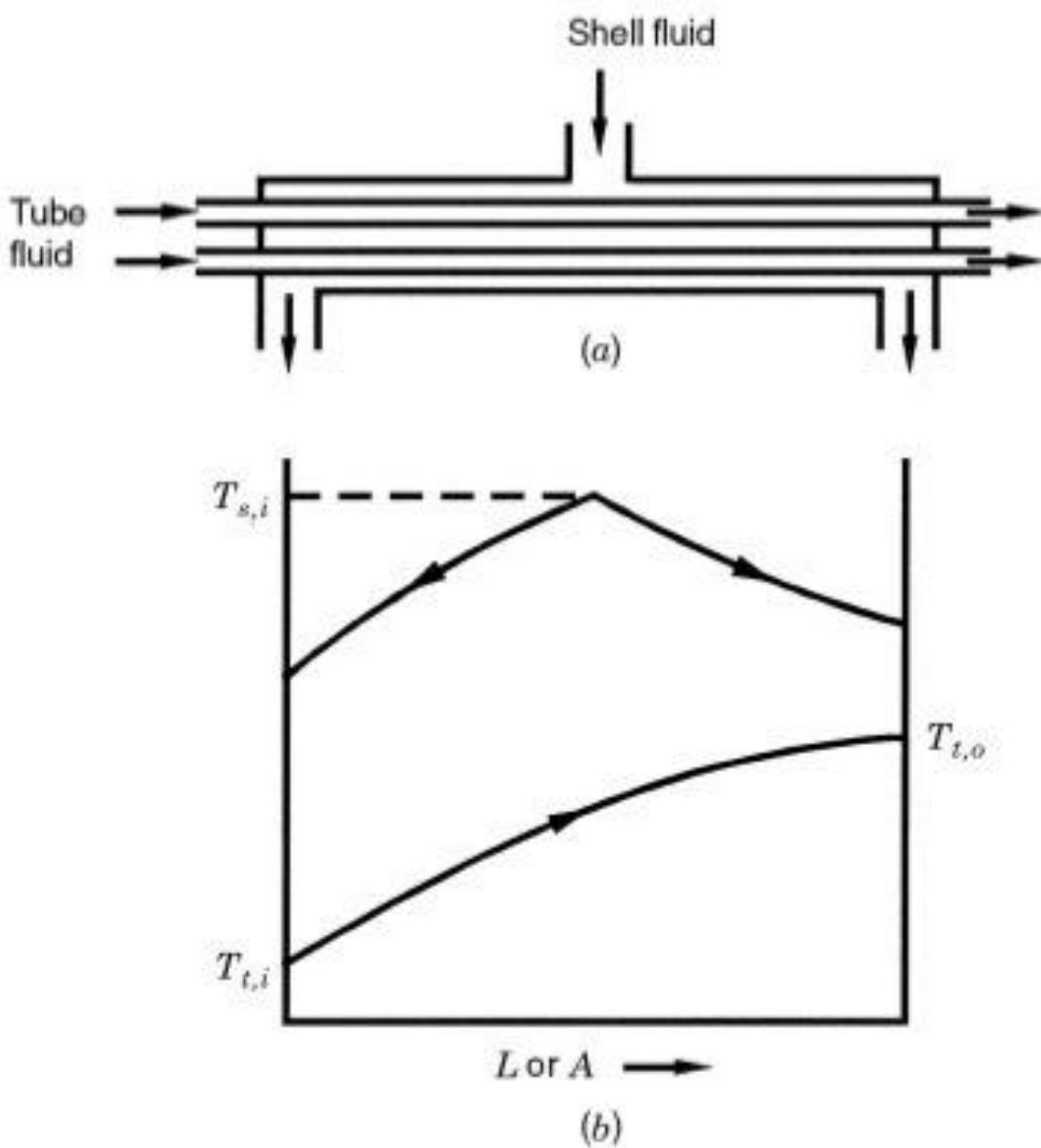
## Distribusi Perpindahan Panas Pada Crossflow Heat Exchanger

Split-flow Heat Exchanger. Heat exchanger ini berdesain shell & tube dengan satu fluida yang masuk ke sisi shell melalui bagian tengah lalu mengalir secara longitudinal ke dua arah, berbelok 180° pada ujung-ujung shell dan berkumpul untuk keluar melalui sisi outlet. Fluida yang lain mengalir lurus dan hanya satu arah melintasi sisi tube. Untuk lebih memahami tipe ini, mari kita perhatikan gambar di bawah ini.



(a) Heat Exchanger Tipe Single-pass Split-Flow  
(b) Distribusi temperatur pada Split-Flow Heat Exchanger

**Divided-flow Heat Exchanger.** Pada tipe ini, salah satu fluida masuk ke sisi shell melalui inlet yang terletak pada tengah-tengah heat exchanger. Di dalam sisi shell, fluida ini mengalir ke dua arah dan keluar melalui dua outlet. Fluida yang lain mengalir lurus pada sisi tube. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada gambar berikut.

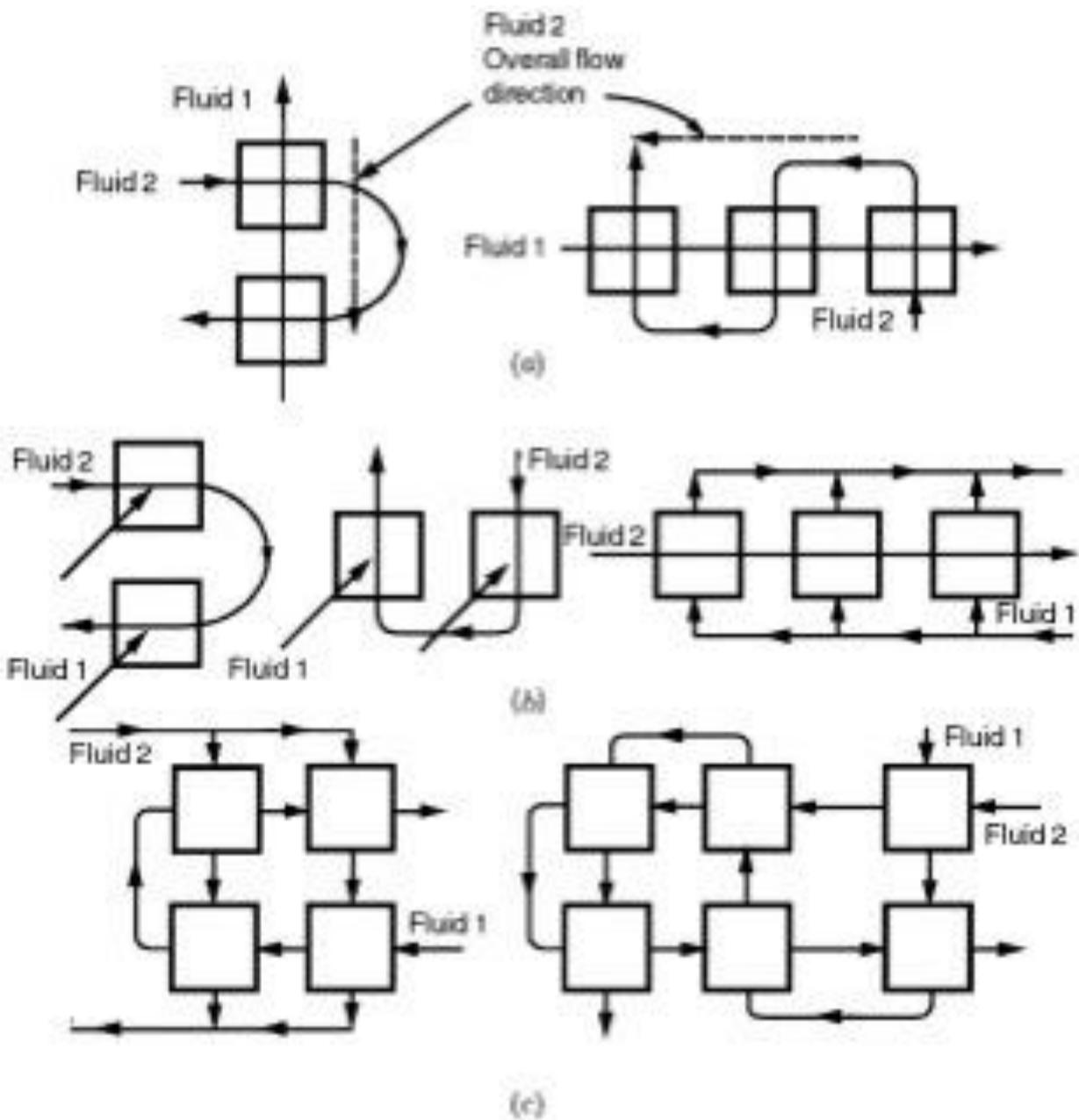


- (a) Heat Exchanger Tipe Single-pass Divided-Flow
- (b) Distribusi temperatur pada Divided-Flow Heat Exchanger

### Heat Exchanger Tipe Multipass

Jika pada sebuah desain heat exchanger membutuhkan panjang lintasan fluida yang teramat panjang, kecepatan aliran yang terlalu kecil, ataupun efektifitas perpindahan panas yang rendah, maka dipergunakan heat exchanger tipe multipass atau bisa juga dengan menggunakan beberapa heat exchanger tipe singlepass yang disusun secara seri. Salah satu keuntungan dari tipe multipass adalah dengan meningkatnya nilai efisiensi perpindahan panas lebih dari tipe singlepass, namun memiliki kerugian yakni meningkatnya pressure drop.

**Multipass Crossflow Exchanger.** Heat exchanger tipe ini menyederhanakan desain seri atau paralel dari beberapa heat exchanger menjadi lebih compact dan tidak memakan banyak ruang. Tersusun atas dua atau lebih fluida kerja yang mengalir dengan arah aliran yang saling tegak lurus. Untuk lebih memahami konsep heat exchanger mari kita perhatikan gambar berikut.

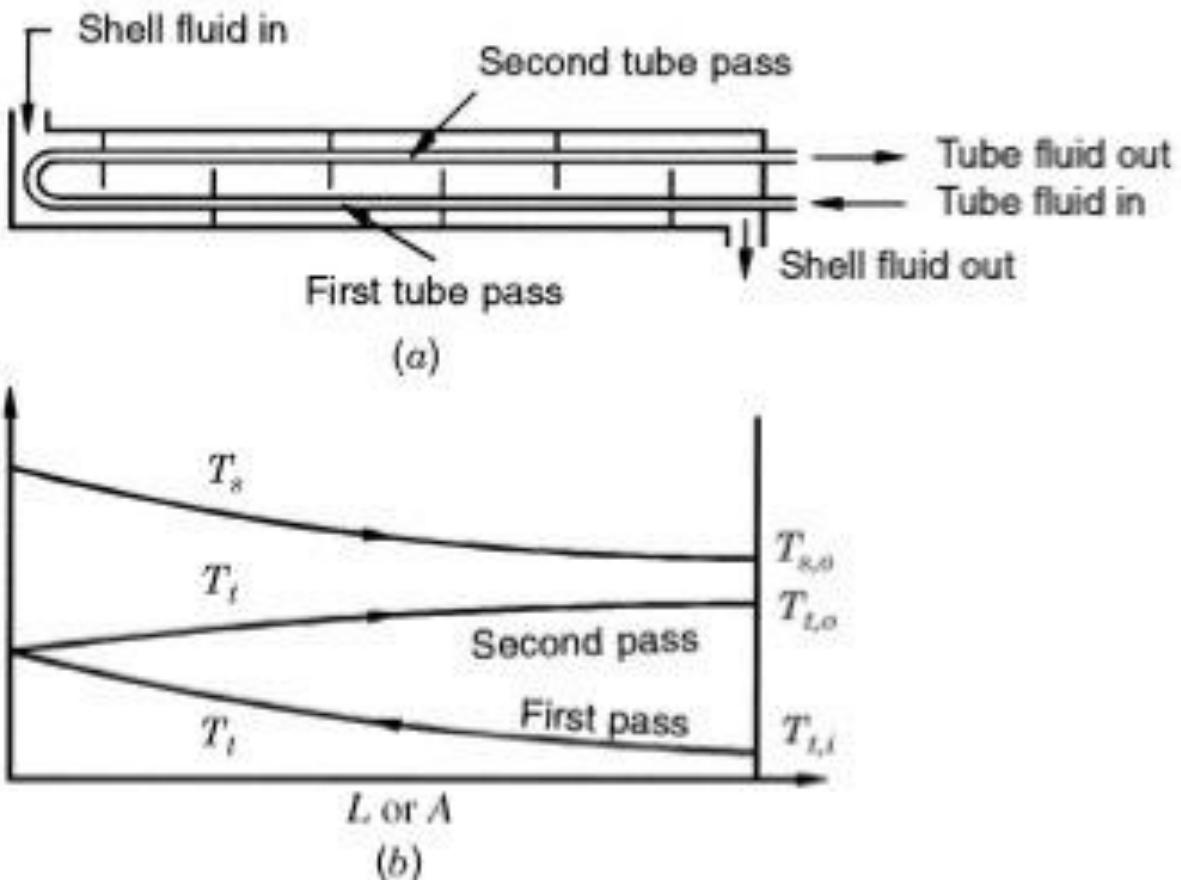


Skema Heat Exchanger Tipe Multipass

- Multipass dengan susunan seri
- Multipass dengan susunan paralel
- Multipass dengan susunan kombinasi

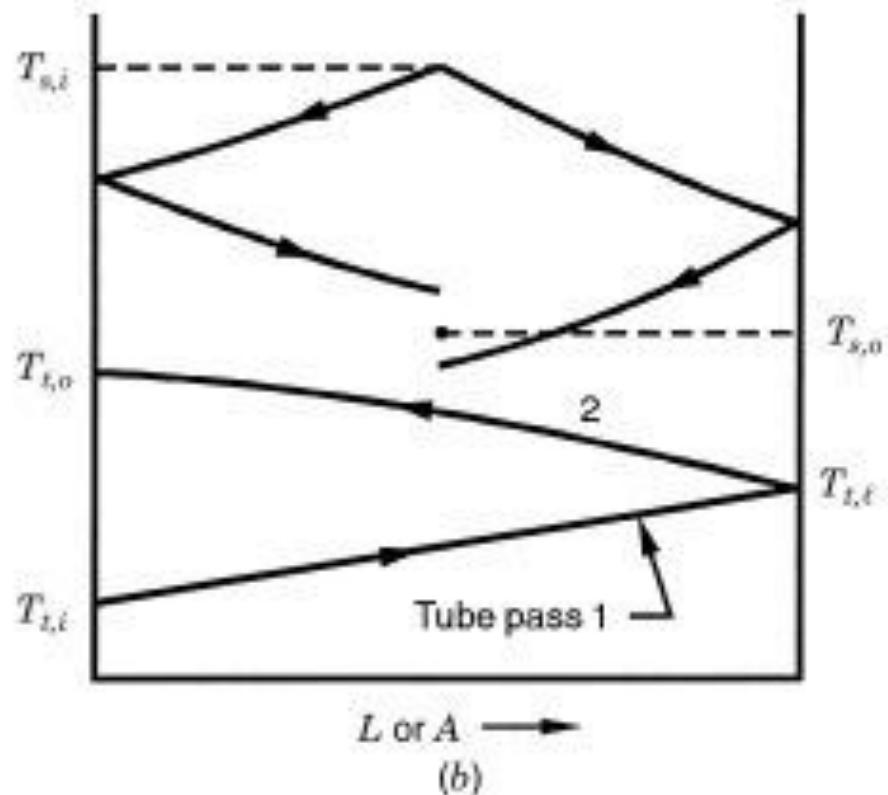
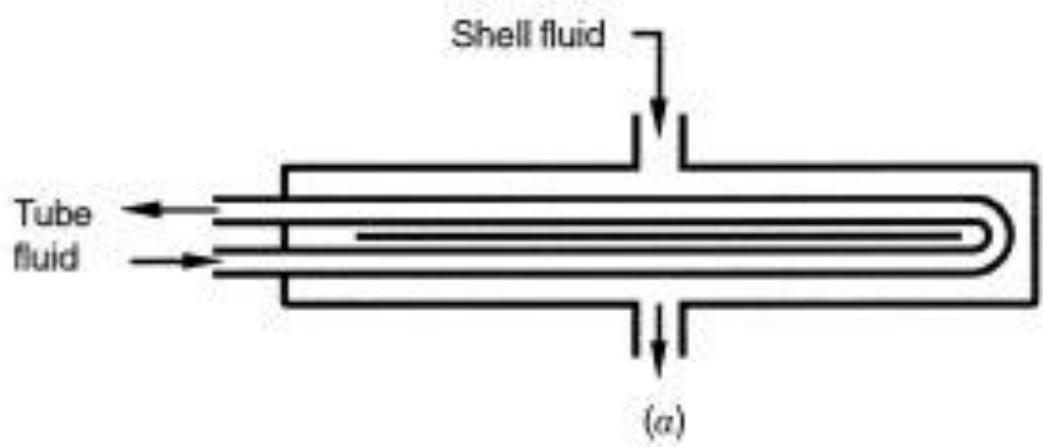
**Multipass Shell & Tube Exchanger.** Heat exchanger tipe shell & tube yang memiliki lintasan tube lebih dari satu kali maka ia termasuk ke dalam tipe multipass. Secara umum ada tiga bentuk desain shell & tube heat exchanger yang dikenal, yaitu:

**Parallel Counter Flow Exchanger.** Tipe ini dapat menggunakan dua aliran tube atau bahkan lebih. Desain aliran fluida pada sisi shell berkelak-kelok untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas.



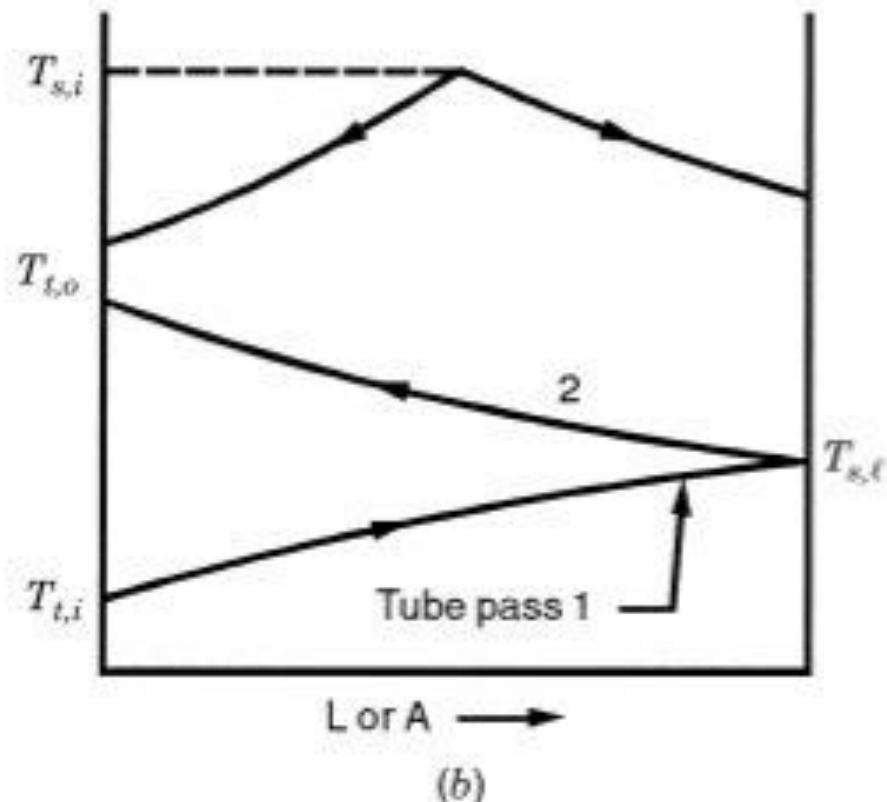
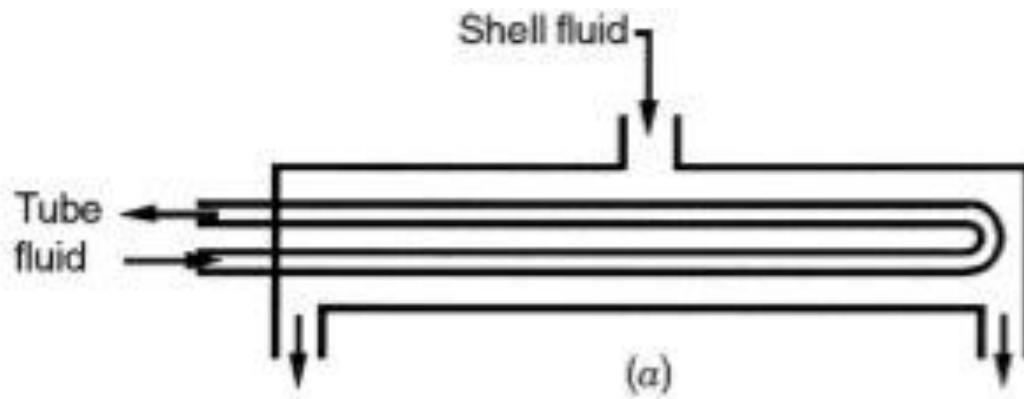
Heat Exchanger Shell & Tube Multipass Beserta Distribusi Perpindahan Panas

**Parallel Split-Flow Exchanger.** Tipe ini memecah aliran fluida yang mengalir pada sisi shell menjadi dua arah yang berbeda namun tetap keluar melalui sisi outlet yang sama.



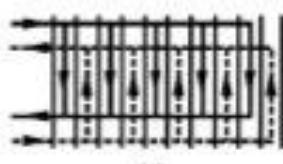
Shell & Tube Heat Exchanger Parallel Split-Flow

**Devided Flow Exchanger.** Fluida sisi shell pada heat exchanger tipe ini mengalir masuk melalui satu inlet, namun keluar melalui dua sisi outlet yang berbeda.



Shell & Tube Heat Exchanger Devided Flow

**Multipass Plate Exchanger.** Heat exchanger plate tipe multipass sangat banyak digunakan pada dunia industri. Jumlah lapisan plat menentukan jumlah jalur aliran yang digunakan. Semakin banyak jumlah plat, maka akan semakin banyak jalur aliran fluida, sehingga efektifitas perpindahan panas pun ikut meningkat. Selain itu pula tipe ini tidak membutuhkan ruang yang besar untuk penggunaan plat yang berlapis-lapis.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Skema Multipass Plate Heat Exchanger