

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Water and Steam Cycle*

Siklus air dan uap dimulai dari pengambilan air laut dengan menggunakan *Sea Water Pump*. Proses pertama pengolahan air adalah dengan disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran – kotoran atau sampah yang berukuran cukup besar. Setelah itu air diolah di *chlorination plant* untuk membuat mabuk biota – biota laut yang ada di air laut, sehingga biota laut tidak membuat sarang atau berkembang biak di *tube condensor* dan pipa line CWP.

Setelah dari *chlorination plant* air menuju ke *Sea Water Reverse Osmosis*. Prosesnya adalah dengan memompakan air laut untuk masuk kedalam *vessel – vessel* yang didalam terdapat membran *semipermeable*. Pada proses ini molekul garam tidak dapat menembus membran sehingga yang mengalir hanyalah molekul air saja. Kemudian air ditampung pada *fresh water storage tank*. Proses selanjutnya adalah proses penghilangan mineral – mineral yang terkandung di air tawar yang terjadi di *Water Treatment Plant*. Proses yang terjadi di *Water Treatment Plant* adalah pengikatan ion – ion positif dan negatif dari *raw water* dengan menggunakan resin. Resin yang digunakan bermuatan positif dan negatif, jadi ion positif yang terkandung dalam air akan terikat oleh resin bermuatan negatif, sementara ion negatif yang terkandung dalam air akan terikat oleh resin bermuatan positif. Hasil dari air umpan yang berasal dari *Water Treatment Plant* ini akan menjadi *demin water* yang ditampung di *demin tank* dan dipompakan ke *condensate tank*.

Air dari *condensate tank* akan dipompakan oleh *condensate pump* menuju ke *condensate polishing device (CPD)*. Di komponen ini, air akan dihilangkan kadar *impurities* / kotoran dengan menggunakan resin anion dan kation. Kotoran bisa berasal dari jalur air dan kebocoran kondenser. Apabila konduktivitas terlalu tinggi, maka *condensate polishing device* perlu diaktifkan.

Setelah air umpan bebas dari *impurities*, air umpan akan mendinginkan komponen *gland steam condenser* / uap perapat. Hal ini akan menaikkan temperatur air umpan sebelum dialirkan ke unit selanjutnya, dan sebaliknya uap perapat akan dingin dan berubah menjadi air yang dapat dibuang melalui jalur *drain*. Air umpan yang telah digunakan untuk mendinginkan uap perapat akan menuju ke *Low Pressure Heater* untuk dipanaskan awal pada temperatur dan tekanan yang rendah. Media pemanasnya adalah uap ekstraksi yang diambil dari *Low Pressure Turbine*. Pada prinsipnya, proses pertukaran panas antara air umpan dengan uap ekstraksi akan terjadi pada *heat exchanger*. PLTU 3 Jawa Timur Tanjung Awar-Awar memiliki empat unit *Low Pressure Heater*. Air umpan akan masuk ke sisi *tube*, sementara uap ekstraksi akan masuk ke sisi *shell*-nya. Keempat *Low Pressure Heater* memiliki desain *shell and tube heat exchanger* dengan bentuk pipanya adalah pipa-U.

Kemudian, air yang telah melalui keempat *Low Pressure Heater* ini akan dialirkan menuju deaerator untuk dihilangkan kadar oksigennya. Sementara itu, uap ekstraksi yang telah diambil panasnya akan berubah menjadi air dan dialirkan ke kondenser. Pada deaerator terjadi kontak langsung antara air pengisi dan uap. Oleh karena itu proses ini dikategorikan sebagai *open feed water*. Uap akan memisahkan gas dari air pengisi untuk kemudian gas-gas tersebut bergerak

dengan cepat ke bagian-bagian atas deaerator dan selanjutnya dibuang ke atmosfer. Uap yang digunakan berasal dari uap ekstraksi dari *Intermediate Pressure Turbine*.

Air yang telah bebas dari oksigen dialirkan menuju ke *High Pressure Heater* untuk dilakukan pemanasan pada tekanan dan temperatur yang lebih tinggi. Pada kondisi ini, air sudah bisa disebut sebagai *feedwater*. Proses berikutnya adalah proses pemompaan air umpan oleh *boiler feed pump* menuju ke *economizer*. Setelah itu, air umpan akan dialirkan ke *steam drum*, dimana *steam drum* akan memisahkan uap yang telah terbentuk dan air yang belum menjadi uap. Uap basah akan naik, sementara yang masih berwujud air kembali dipanaskan lagi di unit *superheater* agar terbentuk menjadi uap panas lanjut. Setelah terbentuk uap panas lanjut, maka uap ini akan digunakan untuk memutar *High Pressure Turbine*. Setelah *High Pressure Turbine* berputar, uap ini akan dikembalikan ke *reheater* untuk dipanaskan ulang.

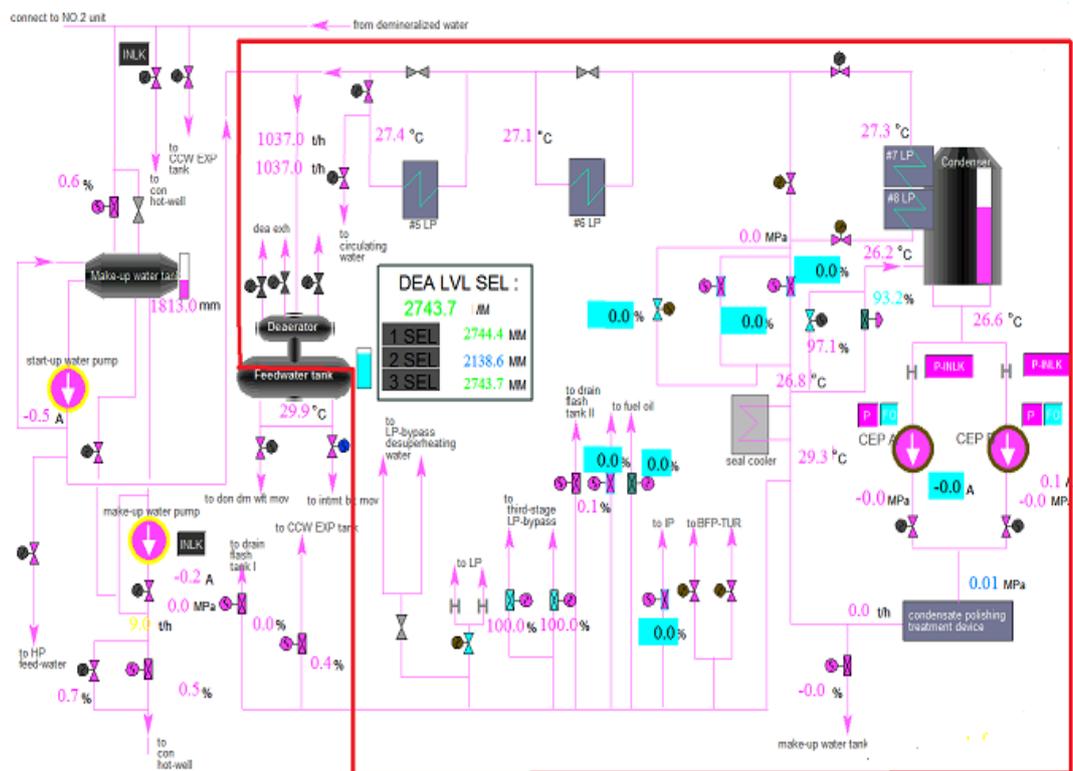
Uap yang dipanaskan ulang di *reheater* akan digunakan untuk memutar sudu-sudu *Intermediate Pressure Turbine*. Sisa uap ini langsung dialirkan untuk memutar sudu-sudu *Low Pressure Turbine*, namun ada sebagian uap sisa ini yang diekstraksi dan digunakan sebagai pemanas di deaerator. Sisa uap yang telah digunakan untuk memutar *Low Pressure Turbine* dialirkan ke jalur kondenser dan ada juga yang digunakan sebagai uap ekstraksi untuk kebutuhan pemanasan awal pada *Low Pressure Heater*. Uap sisa yang dialirkan ke kondenser dikondensasikan terlebih dahulu dengan proses pendinginan dengan menggunakan media air laut yang dipompakan oleh *Circulating Water Pump*. Air kondensat ini kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler dengan proses yang sama.



## 2.2 Prinsip Kerja Sistem Kondensat

Sistem air kondensat pada suatu PLTU berawal dari *hotwell* kondenser, kemudian air kondensat melewati *Condensate Polishing Device (CPD)* untuk dihilangkan *impurities* / kotoran-kotorannya. Setelah itu, air kondensat dialirkan ke *Gland Steam Condenser (GSC)* untuk mendinginkan uap perapat. Baru kemudian, air kondensat dialirkan ke *Low Pressure Heater* untuk pemanasan awal dan *Deaerator* untuk menghilangkan kadar oksigennya. Dalam lingkup ini, air kondensat mengalami tiga proses utama, yaitu Pemurnian, Pemanasan dan Deaerasi.

### CONDENSATE WATER AND MAKE-UP WATER SYSTEM



Gambar 2.2 Condensate Water and Make Up Water System

Gambar di atas adalah diagram alir *Condensate Water and Make Up Water System*. Bagian yang dibatasi garis merah merupakan bagian *Condensate Water System*.

### **2.2.1 Pemurnian**

Proses pemurnian air kondensat termasuk dalam pemurnian di dalam (*internat treatment*) yang dilakukan dengan cara mengalirkan air kondensat ini ke unit penukar ion atau disebut sebagai *Condensate Polishing Device* dengan cara penginjeksian bahan-bahan kimia. Dengan proses pemurnian secara internal ini, maka deposit yang dapat mengakibatkan korosi pada komponen-komponen *Low Pressure Heater* akan dapat dihilangkan sehingga kualitas air kondensat menjadi lebih baik. Tanpa proses pemurnian akan meningkatkan resiko terhambatnya proses perpindahan panas yang disebabkan buruknya kualitas air kondensat. Pada kondisi yang lebih ekstrim lagi, sangat dimungkinkan terjadinya kebocoran pada pipa-pipa yang menunjang *Low Pressure Heater*.

### **2.2.2 Pemanasan**

Sebelum masuk ke *Low Pressure Heater*, air kondensat pun sempat mengalami proses transfer panas di bagian *Gland Steam Condenser*. *Gland Steam Condenser* menyuplai uap yang digunakan sebagai uap perapat pada turbin. Panas dari *Gland Steam Condenser* ternyata masih memiliki cukup energi untuk memanaskan air kondensat. Oleh karena itu, air kondensat yang masuk digunakan untuk mendinginkan uap perapat, dan uap perapat memberikan energi panasnya kepada air kondensat sehingga terjadi pertukaran panas. Meskipun dalam jumlah angka tidak terlalu besar, proses pemanasan ini tetap dapat menghemat bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan air kondensat di boiler nantinya.

### 2.2.3 Deaerasi

Deaerasi adalah proses pembuangan pencemar gas dari dalam air kondensat. Gas-gas pencemar yang ada pada air kondensat antara lain oksigen ( $O_2$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ) dan gas-gas *non condensable* lainnya. Gas pencemar ini dapat menyebabkan korosi pada saluran dan komponen-komponen yang dilalui air kondensat. Proses deaerasi ini terjadi di dalam deaerator yang merupakan komponen paling hilir dari sistem air kondensat.

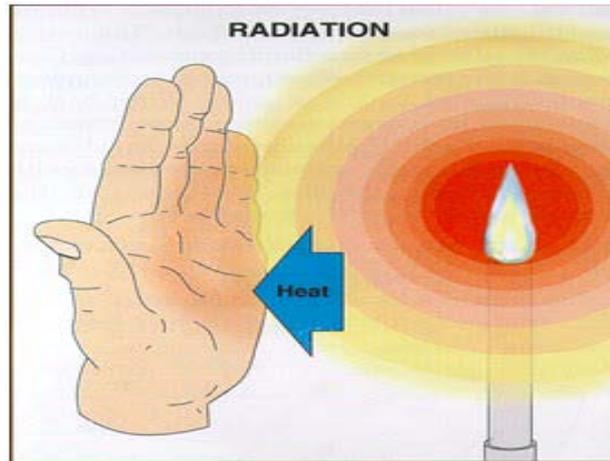
## 2.3 Perpindahan Panas

Panas atau kalor merupakan salah satu bentuk energi. Panas dapat berpindah dari suatu zat ke zat lain. Panas dapat berpindah melalui tiga cara yaitu :

### 2.3.1 Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Jadi, selama memindahkan energi, panas tidak memerlukan apapun. Pada hakekatnya, proses perpindahan panas secara radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnetik. Apabila sejumlah energi panas menimpa suatu permukaan, maka energi panas tersebut akan dipantulkan sebagian, dan sebagian lainnya akan diserap ke dalam dinding dan sebagiannya lagi akan menembus bahan. Contoh peristiwa radiasi antara lain panas matahari yang dapat mengeringkan pakaian yang dijemur. Ciri – ciri dari perpindahan panas secara radiasi yaitu :

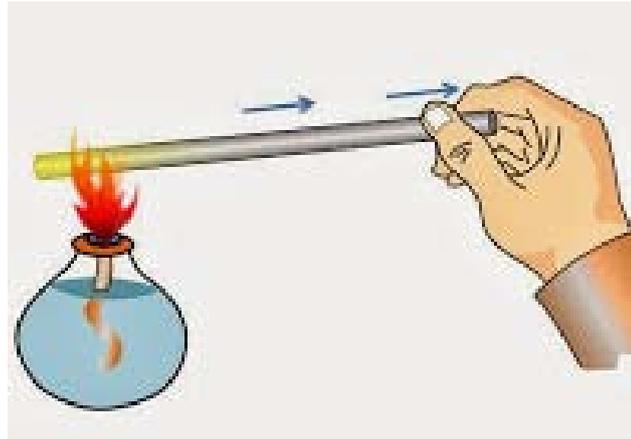
1. Perpindahan panas secara radiasi merambat lurus.
2. Tidak memerlukan media perantara selama memindahkan panas dari suatu zat ke zat lain.



Gambar 2.3 Perpindahan Panas secara Radiasi

### 2.3.2 Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan kalor melalui zat penghantar tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat itu. Perpindahan kalor dengan cara konduksi pada umumnya terjadi pada zat padat. Suatu zat dapat menghantar kalor disebut konduktor, seperti berbagai jenis logam. Sedangkan zat penghantar kalor yang buruk disebut isolator yang pada umumnya benda-benda non logam. Contoh konduksi adalah memanaskan batang besi di atas nyala api. Apabila salah satu ujung besi dipanaskan, kemudian ujung yang lain dipegang, maka semakin lama ujung yang dipegang semakin panas. Hal ini menunjukkan bahwa kalor atau panas berpindah dari ujung besi yang dipanaskan ke ujung besi yang dipegang. Dan dapat diambil kesimpulan pula bahwa berpindahnya kalor berasal dari bagian yang memiliki temperatur tinggi ke bagian yang memiliki temperatur yang rendah. Energi kalor pada ujung batang tersebut akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut.



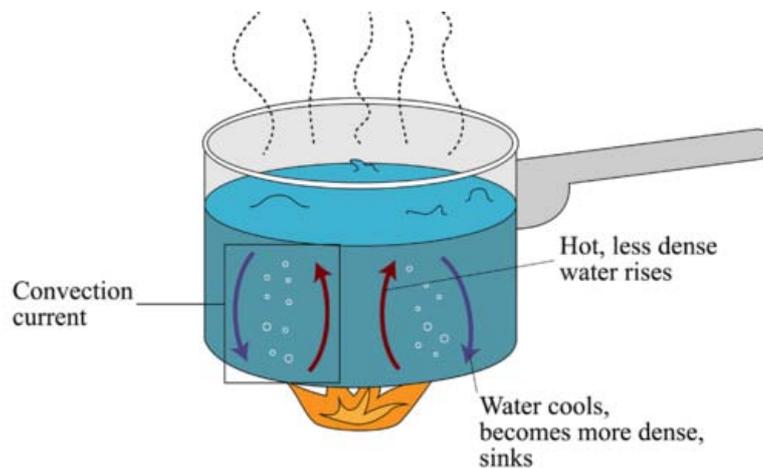
Gambar 2.4 Perpindahan Panas secara Konduksi

Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan konduktor atau isolator ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Sedangkan untuk isolator pasti memiliki nilai koefisien konduktivitas yang kecil. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) adalah penghantar panas yang baik dan sebaliknya apabila bahan tidak dapat menghantarkan listrik maka itu adalah penghantar panas yang buruk.

### 2.3.3 Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas melalui zat penghantar yang disertai dengan perpindahan bagian-bagian zat itu. Pada umumnya zat penghantar yang dipakai berupa zat cair dan gas. Kalor berpindah karena adanya aliran zat yang dipanaskan akibat adanya perbedaan massa jenis (berat jenis). Massa jenis bagian yang dipanaskan lebih kecil daripada massa jenis bagian zat yang tidak dipanaskan. Contoh konveksi adalah memanaskan air dalam panci hingga mendidih. Peristiwa sehari-hari yang berhubungan dengan konveksi kalor adalah terjadinya angin darat dan angin laut.

Proses perpindahan panas secara konveksi hanya terjadi pada permukaan bahannya saja. Keadaan permukaan dan keadaan di sekeliling dari permukaan itulah yang paling utama. Perpindahan panas secara konveksi tentu hanya terjadi pada zat yang mengalir.



Gambar 2.5 Perpindahan Panas secara Konveksi

## 2.4 Alat Penukar Kalor

Ada banyak peralatan penukar kalor pada suatu pembangkit listrik seperti ketel uap (*boiler*), pemanas lanjut (*superheater*), pendingin minyak pelumas (*oil cooler*), unit pemanas air umpan (*heater*), kondenser dsb. Jika dilihat dari fungsinya, semua alat penukar kalor memiliki fungsi yang sama yaitu menukarkan energi yang dimiliki oleh suatu fluida atau zat ke fluida atau zat lainnya. Jenis-jenis alat penukar kalor dapat diklasifikasi sebagai berikut :

### 2.4.1 Alat Penukar Kalor Berdasarkan Proses Perpindahan Panas yang Terjadi

Ada dua macam alat penukar panas berdasarkan proses perpindahan panas yang terjadi, yaitu :

### 1. Tipe kontak langsung

Alat penukar panas tipe kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara dua zat yang dipertukarkan energinya dicampur atau dikontakkan secara langsung. Contohnya adalah *Cooling Tower* untuk mendinginkan air pendingin kondenser pada PLTP maupun PLTU, dimana antara air hangat yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak seperti layaknya air mancur. Dengan demikian ciri khas dari penukar kalor seperti ini (kontak langsung) adalah bahwa kedua zat yang dipertukarkan energinya saling berkontak secara langsung (bercampur) dan biasanya kapasitas energi yang dipindahkan sedikit. Contoh lainnya adalah unit *desuperheater*. *Desuperheater* bekerja untuk mendinginkan uap panas lanjut, dimana pendinginannya menggunakan air agar temperatur uap turun.

### 2. Tipe kontak tidak langsung

Alat penukar panas tipe kontak tidak langsung adalah tipe alat penukar panas dimana antara kedua zat yang ditukarkan energinya dipisahkan oleh permukaan bidang padatan seperti dinding pipa, plat, dan lain sebagainya sehingga antara kedua zat tidak bercampur. Dengan demikian mekanisme perpindahan panas dimulai dari zat yang lebih tinggi temperaturnya memberikan energi panasnya kepada permukaan pemisah, lalu diteruskan ke zat yang berfungsi sebagai pendingin (penerima energi).

Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Contoh dari alat penukar kalor tipe kontak tidak langsung ini antara lain radiator mobil, evaporator AC, pendingin

pelumas pada *gearbox* dengan air, dsb. Dengan bahan pemisah yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi diharapkan tahanan termal bahan tersebut akan rendah sehingga seolah-olah antara kedua zat yang saling dipertukarkan energinya seperti kontak langsung. Perbedaan utama antara alat penukar panas tipe kontak langsung dan tipe kontak tidak langsung adalah pada *heating surface areanya*. Pada jenis kontak langsung, luas permukaan perpindahan panas sangat tergantung pada luas kontak antara kedua zat, sedangkan pada tipe kontak tidak langsung, *heating surface areanya* adalah luas permukaan yang memisahkan kedua zat.

#### **2.4.2 Alat Penukar Kalor Berdasarkan Tingkat Kekompakan Permukaan Pemindah Panas**

Maksud kata kekompakan luas permukaan perpindahan panas disini adalah permukaan efektif yang tersentuh oleh salah satu zat (biasanya diambil yang tertinggi nilainya dalam  $m^2$ ) dibagi dengan volume penukar panas yang menempati ruang dalam  $m^3$ .

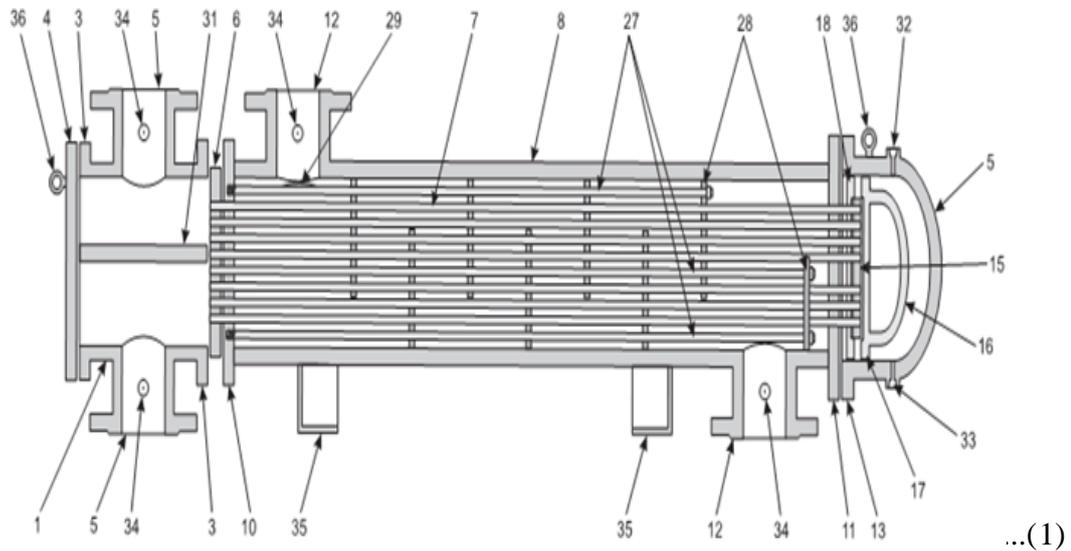
#### **2.4.3 Alat Penukar Kalor Berdasarkan Profil Konstruksi Permukaan**

Berdasarkan profil konstruksi permukaan, alat penukar panas yang digunakan di perindustrian antara lain dengan konstruksi pipa dan tabung (*shell and tube heat exchanger*), pipa bersirip (*tube with extended surface / fins and tube*), dan penukar panas pelat (*plate heat exchanger*).

##### **1. Tipe pipa dan tabung (*shell and tube*)**

Alat penular panas tipe pipa dan tabung merupakan jenis penukar panas yang paling banyak digunakan termasuk di unit-unit pembangkit listrik. Jenis ini terdiri dari suatu tabung dengan diameter cukup besar yang di dalamnya berisi

sekumpulan pipa dengan diameter yang kecil. Salah satu fluida dialirkan ke dalam pipanya, sementara fluida yang lainnya dialirkan ke dalam tabungnya.



Gambar 2.6 *Shell and Tube Heat Exchanger*

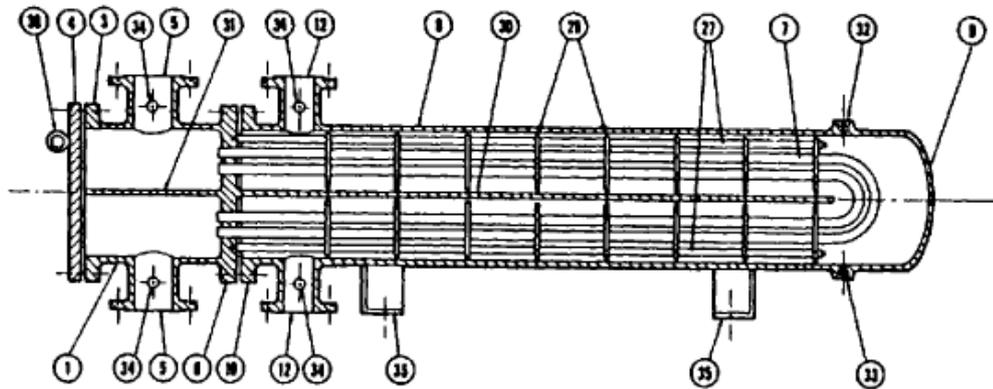
Keterangan :

1. Tabung (*Shell*)
2. Tutup tabung (*Shell Cover*)
3. Flens sisi alur (*shell flange channel end*)
4. Flens sisi tutup tabung (*shell flange cover end*)
5. Nosel (*Shell Nozzle*)
6. Pemegang pipa mengambang (*floating tube sheet*)
7. Penutup tabung mengambang (*floating head cover*)
8. Flens mengambang (*floating head flange*)
9. Peralatan di belakang flens (*floating head backing device*)
10. Pemegang pipa tetap (*stationary tubesheet*)

<sup>1</sup>Byrne, C. Richard, 1988, *Tubular Exchanger Manufacturer Association (TEMA)*, Tubular Exchanger Manufacturer Association, Inc.; New York, hal. 3

11. Kanal atau tutup tetap (*channel or stationary head*)
12. Tutup kanal (*channel cover*)
13. Nosel kanal (*channel nozzle*)
14. Batang penguat dan pemisah (*tie rod and spacers*)
15. *Baffle* pelat pendukung
16. *Impingement baffle*
17. *Pass partition*
18. Penghubung pengeluaran gas (*vent connection*)
19. Penghubung tempat pembuangan (*drain connection*)
20. Tempat alat ukur
21. Penopang (*saddles*)
22. *Lifting lugs*
23. Pipa-pipa (*tubes*)
24. Weir penyambung alat untuk melihat ketinggian cairan (*liquid level connection*)

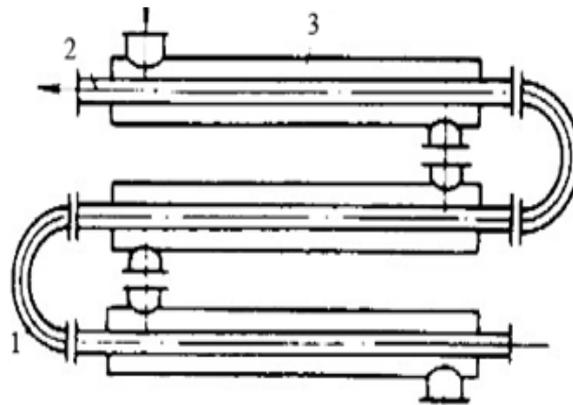
Selain bentuk *shell and tube* seperti gambar di atas, ada juga tipe lainnya yang sering dipakai di pembangkit listrik, yaitu tipe pipa U (*U-tube type*) dan tipe dua pipa (*double pipe type*).



... (2)

Gambar 2.7 Alat Penukar Kalor Tabung pipa U

Pada *shell and tube heat exchanger* tipe pipa U memiliki kelebihan yaitu biasanya memiliki *heating surface area* yang lebih besar dengan volume *heat exchanger* yang lebih kecil sehingga memiliki kekompakkan yang baik.



.... (3)

Gambar 2.8 Double Pipe Heat Exchanger

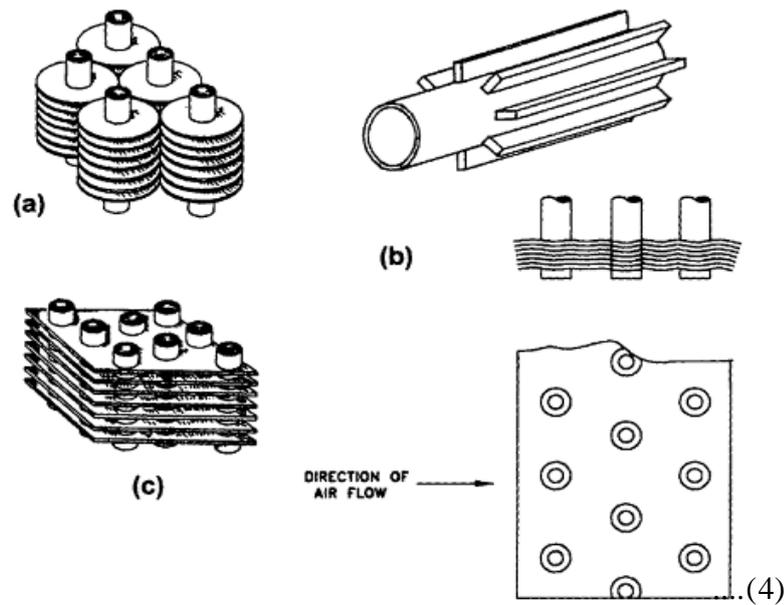
## 2. Tipe pipa bersirip (*fins and tubes*)

Alat penukar kalor tipe pipa bersirip digunakan secara umum untuk fluida cair dan fluida gas, dimana fluida gas dialirkan di luar pipa, yaitu bagian yang bersirip. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan efektivitas transfer energi karena biasanya pada sisi gas (bagian *fins*) memiliki koefisien perpindahan panas

<sup>2</sup>T.Kuppan, *Heat Exchanger Design Handbook*, Hal 253

<sup>3</sup>*Ibid*, Hal.4

yang kecil sehingga sebagai dampaknya, diperlukan luas permukaan perpindahan panas yang relatif tinggi agar laju transfer energinya meningkat. Contoh *heat exchanger* dengan tipe pipa bersirip banyak digunakan pada radiator mobil, kondenser, evaporator mesin pendingin dsb.



Gambar 2.9 Susunan *Fin* dan *Tube* pada Penukar Panas Tipe Pipa Bersirip

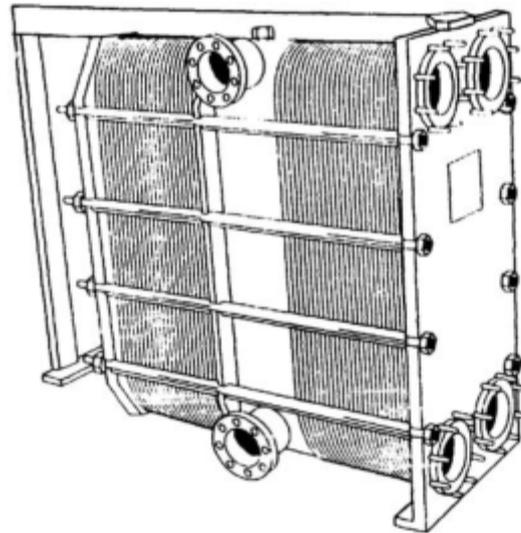
Keterangan :

1. *Elbow Pipe*
2. *Internal pipe*
3. *External Pipe*
3. Tipe pelat (*plate heat exchanger*)

Alat penukar panas tipe pelat memiliki tingkat kekompakan yang tinggi. Alat penukar panas ini terdiri dari pelat-pelat yang sudah dibentuk dan ditumpuk sedemikian rupa sehingga alur aliran untuk suatu fluida akan terpisahkan oleh

<sup>4</sup>T.Kuppan, *Heat Exchanger Design Handbook*, Hal.161

pelat itu sendiri terhadap aliran fluida satunya dipisahkan dengan gasket. Jadi kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya tidak saling bercampur.



....(5)

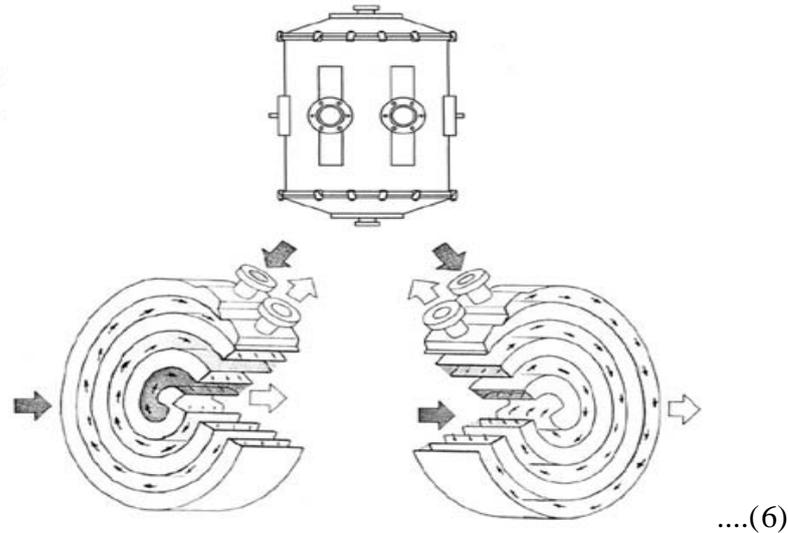
Gambar 2.10 *Plate Heat Exchanger*

#### 4. Tipe Spiral (*Spiral Heat Exchanger*)

Pada *spiral heat exchanger*, arah aliran fluida menelusuri pipa spiral dari luar menuju pusat spiral atau sebaliknya dari pusat spiral menuju keluar. Proses perpindahan panas akan efektif bergantung pada lebar spiral dan diameter serta jumlah spiral yang ada dari pusat hingga diameter terluar.

---

<sup>5</sup>T.Kuppan, *Heat Exchanger Design Handbook*, Hal.6



Gambar 2.11 *Spiral Heat Exchanger*

#### 2.4.4 Alat Penukar Kalor Berdasarkan Susunan Aliran Fluida

Susunan aliran fluida didefinisikan sebagai jumlah berapa kali fluida mengalir sepanjang penukar panas sejak saat masuk hingga meninggalkannya serta jenis arah alirannya juga. Berdasarkan jumlah laluan yang dilakukan fluida melalui alat penukar panas dibedakan menjadi satu laluan dan banyak laluan.

1. Fluida yang mengalir satu kali melalui alat penukar panas.

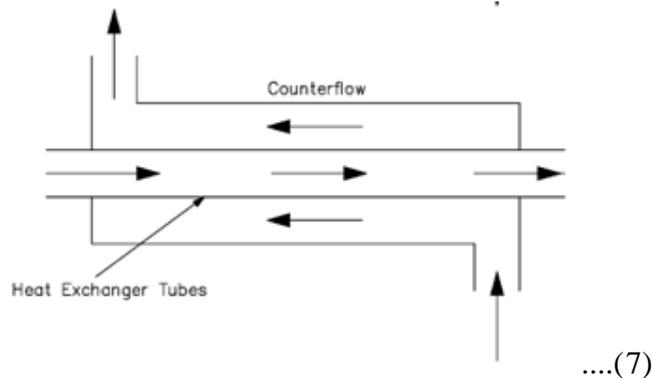
Pada alat penukar panas jenis ini, tipe aliran fluidanya dibedakan menjadi tiga macam, yaitu :

##### 1.1 Penukar Panas Tipe Aliran Berlawanan

Penukar panas jenis ini diartikan bahwa kedua fluida mengalir dengan arah yang berlawanan. Pada tipe ini sangat dimungkinkan terjadinya tingginya temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari alat penukar panas dibandingkan dengan temperatur fluida yang memberikan panas saat meninggalkan alat penukar panas. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan panas adalah tidak terhingga dan tidak terjadi rugi-rugi panas ke

<sup>6</sup>T.Kuppan, *Heat Exchanger Design Handbook*, Hal.7

lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima panas saat keluar dari alat penukar panas bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan panas saat memasuki penukar panas. Dengan teori seperti ini, maka jenis alat penukar panas dengan arah fluida yang berlawanan merupakan alat penukar panas yang paling efektif.

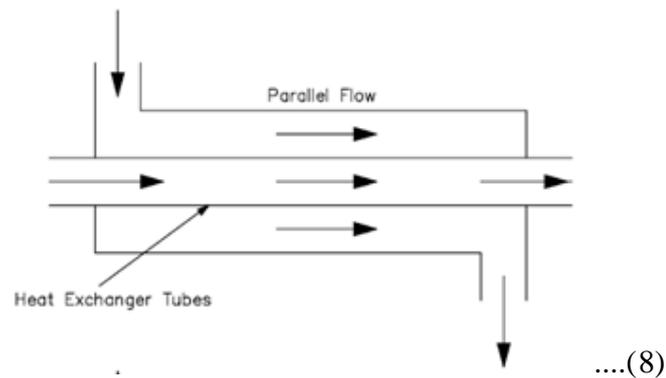


Gambar 2.12 Aliran *Counterflow* pada Penukar Panas

## 1.2 Penukar Panas Tipe Aliran Sejajar

Pada alat penukar panas jenis ini, kedua fluida (baik yang memberikan energi maupun yang menerima energi panas) memiliki satu arah aliran yang sama. Artinya, kedua fluida akan masuk dari arah sisi yang sama dan keluar juga pada sisi yang sama. Pada alat penukar panas jenis ini, temperatur fluida yang memberikan energi panasnya akan senantiasa lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki alat penukar panas hingga keluar. Oleh karena itu, fluida yang dipanaskan tidak akan pernah mencapai temperatur maksimal yang diharapkan sama dengan temperatur fluida yang memberikan energi panasnya semenjak dari sisi masuk alat penukar panas. Dengan demikian, alat penukar panas jenis ini adalah yang paling tidak efektif digunakan untuk transfer panas.

<sup>7</sup>T.Kuppan, *Heat Exchanger Design Handbook*, Hal.4



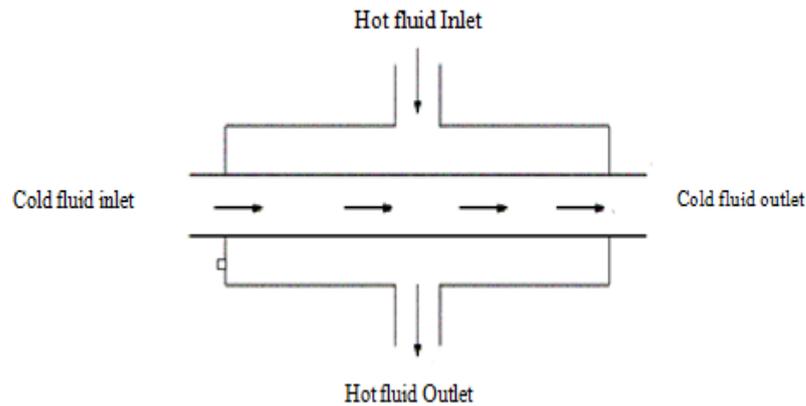
Gambar 2.13 Aliran *Parallel* pada Alat Penukar Panas

### 1.3 Alat Penukar Panas Tipe Aliran Silang

Alat penukar panas dengan tipe aliran bersilangan biasa dipakai pada radiator mobil. Arah aliran air pendingin mesin yang memberikan energi panasnya ke udara memiliki arah yang saling bersilangan dengan udara. Jenis ini memiliki tingkat keefektifan diantara alat penukar panas tipe aliran berlawanan dan searah. Pada kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh panas dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.

---

<sup>8</sup>T,Kuppan,*Heat Exchanger Design Handbook*,Hal.16



....(9)

Gambar 2.14 Aliran *Crossflow* pada Alat Penukar Panas

## 2. Fluida yang mengalir beberapa kali melalui alat penukar panas

Pada alat penukar panas untuk multi laluan, terbagi ke dalam beberapa tipe sesuai dengan arah aliran kedua fluida yang saling bertukaran energinya, antara lain :

- 2.1 Tipe gabungan antara aliran berlawanan dan bersilangan, misal pada tipe tabung dan pipa,
- 2.2 Tipe gabungan antara aliran sejajar dan bersilangan
- 2.3 Tipe gabungan antara aliran berlawanan, sejajar dan bersilangan
- 2.4 Tipe aliran fluida terbagi dan fluida bercampur, misal pada kondenser AC.

### 2.4.5 Alat Penukar Kalor Berdasarkan Jumlah Fluida yang Saling Dittransfer Energinya

Pada umumnya, alat penukar panas beroperasi menggunakan dua fluida (keduanya dapat merupakan zat yang sama). Namun, ada pula penukar panas yang menggunakan tiga jenis fluida, seperti pada instalasi pemisah udara yang terdiri

<sup>9</sup>T.Kuppan, *Heat Exchanger Design Handbook*, Hal.18

dari refrigeran, oksigen dan nitrogen. Pada unit pemisah antara helium dan udara terdiri dari oksigen dan nitrogen serta penukar panas yang digunakan dalam proses sistesa gas amonia pada pabrik pupuk. Dengan demikian, berdasarkan jumlah fluida yang digunakan, ada dua kategori alat penukar panas, yaitu alat penukar panas dengan dua fluida dan alat penukar panas dengan lebih dari dua fluida kerja.

## 2.5 *Low Pressure Heater*

*Low Pressure Heater* merupakan salah satu *heat exchanger* yang berfungsi untuk memanaskan air umpan (*feed water*) dari tangki kondenser dimana media pemanasnya adalah uap ekstraksi yang diambil dari turbin tekanan rendah. *Low Pressure Heater* pada umumnya disusun oleh manufaktur secara bertingkat dengan arah *feedwater* dengan uap ekstraksinya selalu berlawanan (*counterflow*). Jenis *Low Pressure Heater* yang digunakan di suatu PLTU batubara menggunakan jenis *Shell and Tube Heat Exchanger*. Air umpan akan dilalukan ke dalam *tubes* sedangkan uap ekstraksi akan diletakan di luar *tube* (atau di bagian *shell*). Jika seperti itu, maka akan terjadi transfer panas dari uap ekstraksi ke air umpan. Kemudian, karena uap ekstraksi sudah kehilangan sebagian besar energi panasnya maka akan berubah menjadi uap basah bahkan menjadi air sehingga bisa segera didinginkan lagi pada kondenser.

Karena disusun secara bertingkat, maka air umpan yang dipanasi sebelum masuk ke *deaerator* akan mengalami pemanasan bertingkat pula. Namun, tidak demikian dengan uap ekstraksinya. Uap ekstraksi yang telah digunakan pada

masing-masing *Low Pressure Heater* akan langsung dikembalikan ke kondenser untuk segera dikondensasikan.



Gambar 2.15 *Low Pressure Heater 6*



Gambar 2.16 *Low Pressure Heater 5*