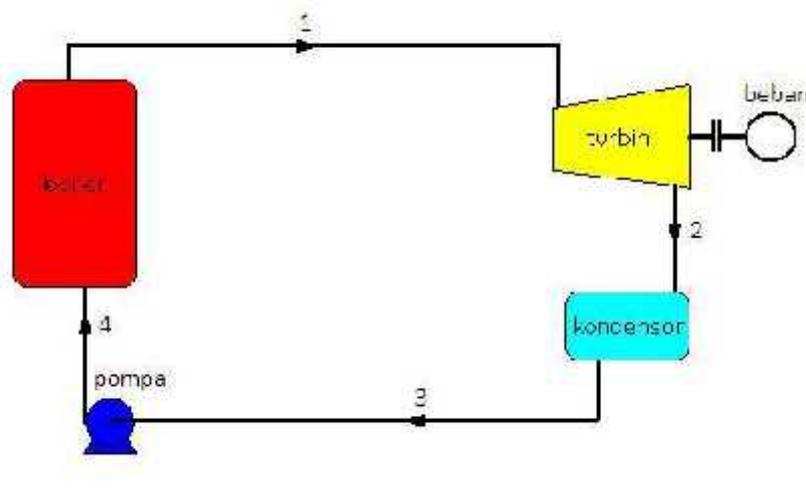


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan uap untuk memutar *turbin* dan *generator*. Secara umum bahan bakar yang digunakan di PLTU adalah batu bara yang menjadi bahan bakar utama. Energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi panas yang ditransfer ke air pengisi kemudian air pengisi berubah fasa menjadi uap dan memutar poros turbin terbentuk energi kinetik, putaran poros turbin menggerakkan *generator* sehingga menghasilkan listrik. Uap yang telah digunakan untuk memutar turbin akan dikondensasikan didalam *condensor* agar menjadi air kondensat dan kemudian disirkulasikan kembali.



Gambar 2.1 Bagan Siklus PLTU

Pada gambar 2.1 menggambarkan bagan siklus PLTU secara umum.

Pembahasan pada laporan Tugas Akhir ini dibahas lebih spesifik mengenai unit *condensor* didalam pembangkit listrik. Pada bab ini berisi tentang dasar teori

<sup>1</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Pressure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 6

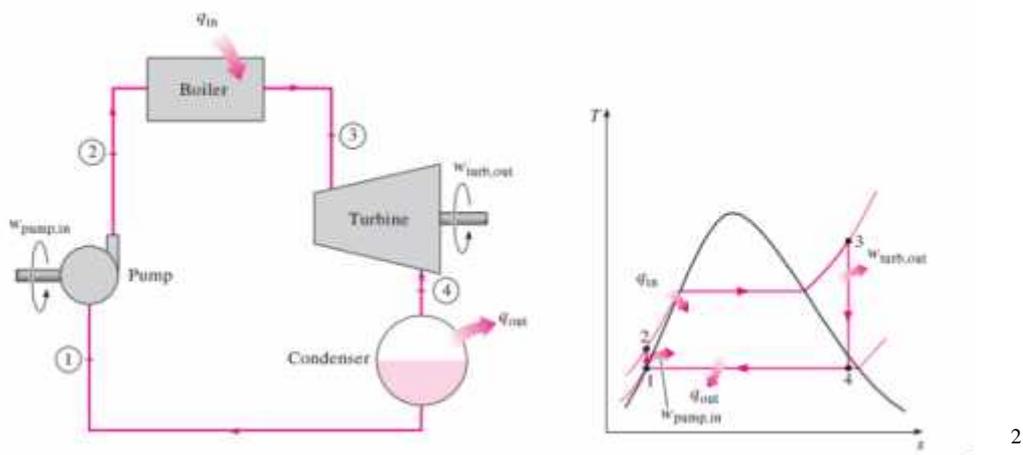
seperti siklus *rankine*, *heat exchanger*, sistem air pendingin, *condensor*, efisiensi dan permasalahan yang dibahas pada laporan.

## 2.1 Siklus Rankine

Siklus *Rankine* merupakan siklus ideal untuk siklus tenaga uap. Seperti halnya pada siklus *Brayton*. Perbedaan antara keduanya terletak pada fluida kerja yang digunakan. Siklus *Rankine* fluida kerjanya adalah dua fase fluida, yaitu cair (*liquid*) dan uap (*vapor*), sedangkan siklus *Brayton* merupakan siklus tenaga gas. Pada siklus tenaga uap *Rankine*, fluida yang umum digunakan adalah air, sedangkan fluida kerja lainnya adalah *potassium*, *sodium*, *rubidium*, *ammonia* dan senyawa karbon *aromatik*. Siklus *Rankine* sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, *boiler*, turbin dan *condensor*. (Nugraha,2012:5)

### 2.1.1 Siklus Rankine Superheat

Pada Gambar 2.1 proses 1-2-3-4 merupakan siklus *Rankine ideal* dengan pemanasan lanjut untuk mendapatkan uap kering.



Gambar 2.2 Siklus Rankine Superheat

Pada gambar 2.2 menggambarkan siklus *rankine superheat* pada PLTU.

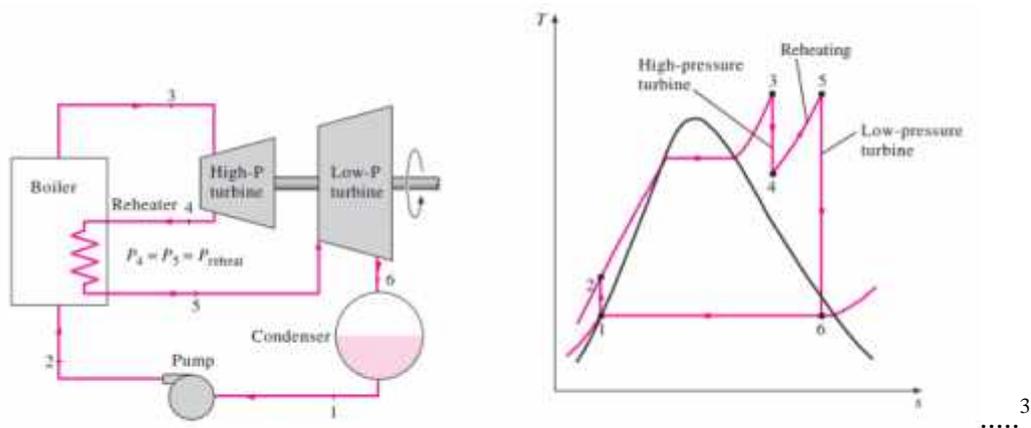
<sup>2</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Preassure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 6

Adapun penjelasan proses tersebut adalah sebagai berikut :

- 1 – 2 Kompresi *isentropis* pada pompa
- 2 – 3 Penambahan kalor dengan tekanan konstan di *boiler*
- 3 – 4 Ekspansi *isentropis* pada turbin
- 4 – 1 Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada *condensor*

### 2.1.2 Siklus *Rankine* dengan Pemanasan Ulang

Untuk meningkatkan efisiensi siklus *Rankine* maka dari siklus *Rankine ideal* dilakukan perubahan dengan memanaskan ulang uap hasil ekspansi turbin pertama ke *reheater* dengan tujuan menaikkan entalpi uap sehingga energi uap naik, selain itu uap yang akan digunakan untuk ekspansi ke turbin tingkat berikutnya tidak terdapat embun yang dapat menyebabkan kerusakan sudu. Berikut merupakan proses siklus *Rankine ideal* dengan pemanasan ulang.



Gambar 2.3 Siklus *Rankine* dengan pemanasan ulang

Pada gambar 2.3 menggambarkan *siklus rankine* dengan *reheat* atau pemanasan ulang pada PLTU.

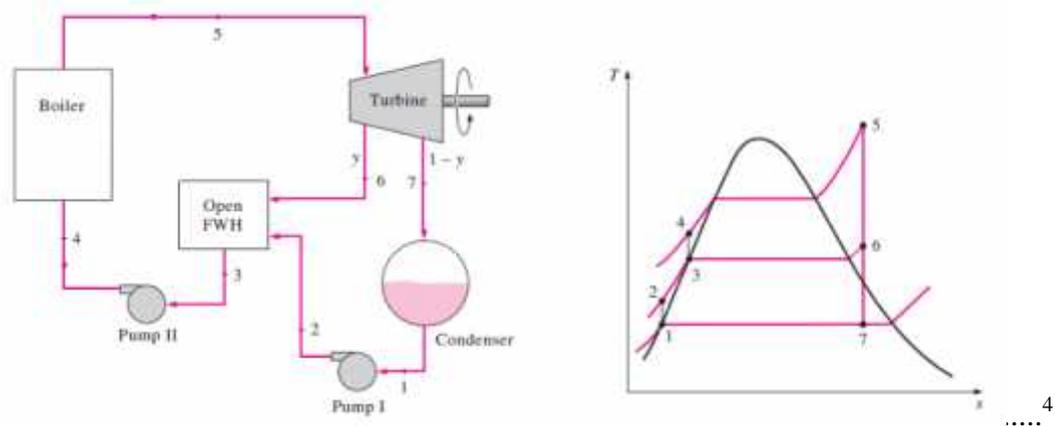
<sup>3</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Preassure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 7

Penjelasan dari gambar diatas adalah sebagai berikut :

- 1 – 2 Kompresi *isentropis* pada pompa
- 2 – 3 Penambahan kalor dengan tekanan konstan di *boiler*
- 3 – 4 Ekspansi *isentropis* pada turbin tingkat pertama
- 4 – 5 Pemanasan ulang uap dari turbin tingkat pertama dengan tekanan konstan
- 5 – 6 Ekspansi *isentropis* pada turbin tingkat kedua
- 6 – 1 Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada *condensor*

### **2.1.3 Siklus Rankine Regeneratif**

Siklus *Rankine regeneratif* adalah modifikasi siklus *Rankine* dimana air sebagai fluida kerja dinaikkan temperaturnya dengan memanfaatkan uap ekstraksi dari turbin sehingga kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan fluida kerja pada *boiler* berkurang. Hal ini tentu saja akan menaikkan efisiensi siklus. Regenerasi tidak hanya meningkatkan efisiensi siklus tetapi juga salah satu cara *deareasi*. Dearasi yaitu menghilangkan kadar oksigen dalam air yang bisa menyebabkan korosi pada jalur perpipaan. Proses regenerasi umumnya dengan menggunakan alat yang biasanya disebut *feed water heater* dengan prinsip kerja seperti *heat exchanger*. *Feed water heater* ada 2 jenis yaitu tipe terbuka dan tertutup. Open *feed water heater* atau bisa disebut juga pemanas kontak langsung secara prinsip adalah sebuah ruangan pencampur antara uap ekstraksi dengan fluida kerja (air).



Gambar 2.4 Siklus Rankine Regeneratif dengan *Open Feedwater Heater*

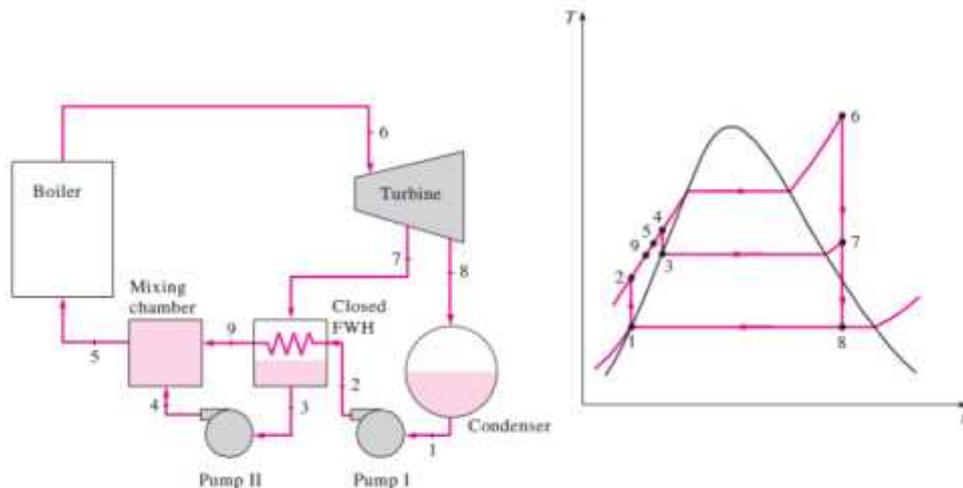
Pada gambar 2.4 menggambarkan siklus rankine regeneratif dengan open feedwater heater pada PLTU.

Proses pada siklus Rankine regeneratif dengan *Open Feedwater Heater* :

- 1 – 2 Air pengisi dari *hotwell* dipompa menuju *Open FWH*
- 2 – 3 Air pengisi bercampur dengan uap ekstraksi dari turbin (proses 6 – 3)
- 3 – 4 Air pengisi yang telah dipanaskan dipompa menuju *boiler*
- 4 – 5 Penambahan kalor ke air pengisi di *boiler*
- 5 – 6 Uap masuk *turbin* sebagian diekstraksi
- 5 – 7 Ekspansi uap di *turbin*
- 7 – 1 Pelepasan kalor di dalam *condensor*

Tipe pemanas awal yang lain adalah *Close Feedwater Heater* atau biasa disebut pemanas sistem tertutup. Prinsip kerjanya adalah panas dari uap ekstraksi dipindahkan ke air pengisi namun tanpa terjadi kontak langsung.

<sup>4</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Pressure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 8



Gambar 2.5 Siklus Rankine Regeneratif dengan *Close Feedwater Heater*

Pada gambar 2.5 menggambarkan siklus rankine regeneratif dengan close feedwater heater pada PLTU.

Dari diatas dapat dijelaskan prosesnya sebagai berikut :

- 1 – 2 Air dari *hotwell* dipompakan menuju ke *Close FWH*.
- 2 – 9 Air dipanaskan dalam *Close FWH* dengan uap ekstraksi (7-3)
- 3 – 4 Uap ekstraksi yang terkondensasi dipompakan menuju *mixing chamber*.  
Di dalam *mixing chamber* air kondensasi ini bercampur dengan air pengisi yang telah dipanaskan.
- 5 – 6 Campuran dari *mixing chamber* dipompakan oleh pompa II ke boiler untuk dipanaskan kemudian dialirkan ke turbin untuk diekspansi

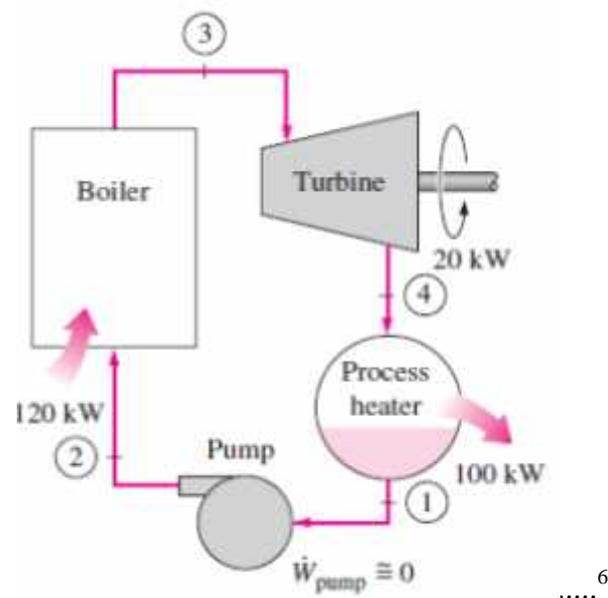
#### 2.1.4 Siklus Rankine dengan Kogenerasi

Siklus Rankine dengan kogenerasi adalah siklus Rankine dimana panas sisa dari proses ekspansi pada turbin digunakan untuk proses lainnya misalkan

<sup>5</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Pressure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 9

pada PLTU, uap ekspansi pada turbin dimanfaatkan sebagai media pemanas pada *heater*. Adapun penjelasan siklus *Rankine Kogenerasi* adalah sebagai berikut :

- 1 – 2 Kompresi *isentropis* pada pompa
- 2 – 3 Penambahan kalor dengan tekanan konstan di *boiler*
- 3 – 4 Ekspansi *isentropis* pada turbin
- 4 – 1 Pelepasan kalor dengan memanfaatkannya untuk proses lainnya



Gambar 2.6 Siklus Rankine Kogenerasi

Pada gambar 2.6 menggambarkan siklus rankine kogenerasi pada PLTU.

## 2.2 Heat Exchanger

### 2.2.1 Definisi Heat Exchanger

*Heat exchanger* atau penukar panas adalah alat yang digunakan untuk mempertukarkan panas secara kontinue dari suatu medium ke medium lainnya dengan membawa energi panas. (Nugraha,2012:11)

<sup>6</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Pressure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 10

### 2.2.2 Perpindahan Kalor

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

#### 1. *Radiasi*

*Radiasi* adalah perpindahan panas melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Jadi, selama memindahkan energi, panas tidak memerlukan perantara apapun. 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 pakain yang dijemur.

(PT.PLN,2006:2) Ciri – ciri dari perpindahan panas secara radiasi yaitu :

- a. Kalor *radiasi* merambat lurus.
- b. Tidak memerlukan media perantara selama memindahkan panas dari suatu zat ke zat lain.

#### 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.

### 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.

#### **2.2.3 Klasifikasi Alat Penukar Kalor**

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) banyak menggunakan peralatan penukar kalor seperti ketel uap (boiler), pemanas lanjut (*superheater*), pendingin minyak pelumas (*oil cooler*), unit pemanas air umpan (*heater*), *condensor* dan sebagainya. 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. (Nugraha,2012:14) Jenis-jenis alat penukar kalor dapat diklasifikasi sebagai berikut :

A. 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 pada *Deaerator*, uap ekstraksi dari turbin dicampurkan langsung dengan air pengumpan didalam *Deaerator*.

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. Salah satu contoh dari alat penukar kalor tipe kontak tidak langsung ini adalah *condensor*.

B. Alat Penukar Kalor Berdasarkan Tingkat Kekompakan Permukaan Pemindah Panas

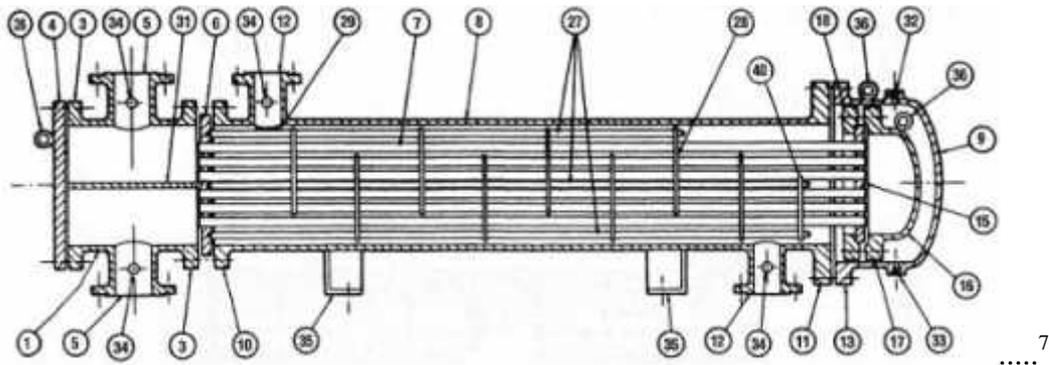
Arti dari kekompakan luas permukaan perpindahan panas adalah permukaan efektif yang tersentuh oleh salah satu zat (biasanya diambil yang tertinggi nilainya dalam  $m^2$ ) dibagi dengan volume penukar panas yang menempati ruang dalam  $m^3$ .

C. 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 penukar 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 2.7 *Shell and Tube Heat Exchanger*

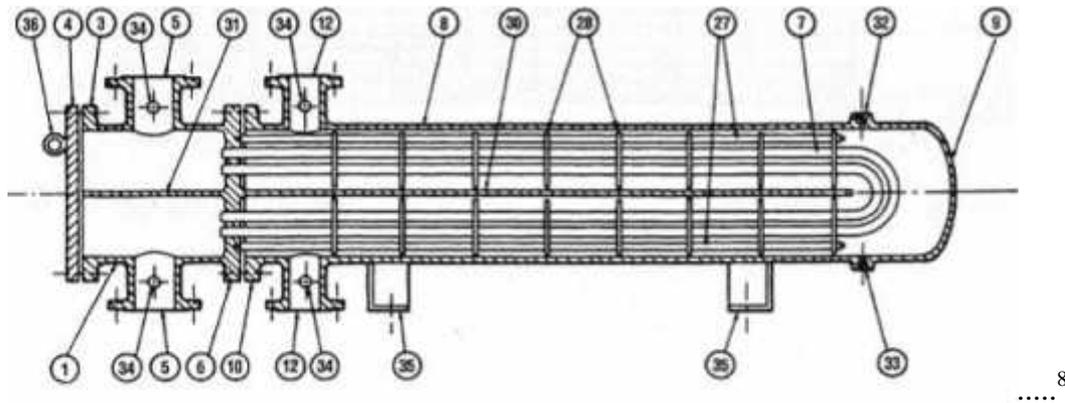
Pada gambar 2.7 menggambarkan penampang *shell and tube heat exchanger*.

Keterangan *Shell and Tube Heat Exchanger* :

1	Stationary Head Channel	16	Floating Head Cover
3	Stationary Head Flange	17	Floating Head Cover Flange
4	Channel Cover	18	Floating Head Backing Device
5	Stationary Head Nozzle	27	Tierods and Spacers
6	Stationary Tubesheet	29	Transverse Baffles
7	Tubes	31	Pass Partition
8	Shell	32	Vent Connection
9	Shell Cover	33	Drain Connection
10	Shell Flange- Stationary Head End	34	Instrument Connection
11	Shell Flange – Rear Head End	35	Support Saddle
12	Shell Nozzle	36	Lifting Lug
13	Shell Cover Flange	38	Weir
15	Floating Tubesheet	40	Floating Head Support

<sup>7</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Pressure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 17

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*).



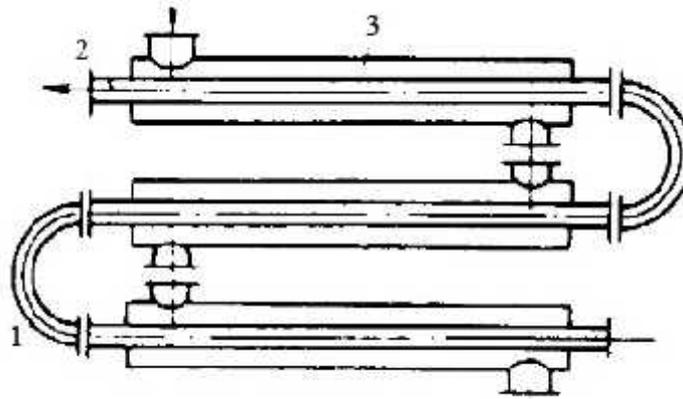
Gambar 2.8 Alat Penukar Kalor Tabung dan Pipa Tipe Pipa U

Pada gambar 2.8 menggambarkan penampang alat penukar kalor tabung dan pipa tipe pipa U.

Keterangan Tipe Pipa U :

- |                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 Stationary Head Channel            | 12 Shell Nozzle          |
| 3 Stationary Head Flange             | 27 Tierods and Spacers   |
| 4 Channel Cover                      | 30 Longitudinal Baffle   |
| 5 Stationary Head Nozzle             | 31 Pass Partition        |
| 6 Stationary Tubesheet               | 32 Vent Connection       |
| 7 Tubes                              | 33 Drain Connection      |
| 8 Shell                              | 34 Instrument Connection |
| 9 Shell Cover                        | 35 Support Saddle        |
| 10 Shell Flange- Stationary Head End | 36 Lifting Lug           |

<sup>8</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Preassure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 18



.....<sup>9</sup>

Gambar 2.9 *Double Pipe Heat Exchanger*

Pada gambar 2.9 menggambarkan penampang *double pipe heat exchanger*.

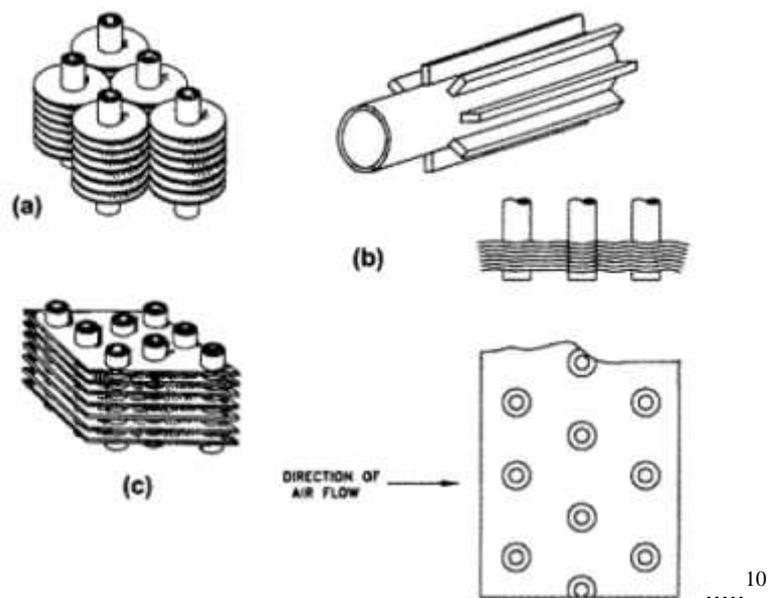
*Keterangan :*

1. *Elbow Pipe*
  2. *Internal pipe*
  3. *External Pipe*
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 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, evaporator mesin pendingin dsb.

---

<sup>9</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Preassure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 19



Gambar 2.10 Tipe pipa bersirip (*fins and tubes*)

Pada gambar 2.10 menggambarkan penampang alat penukar kalor tipe pipa bersirip

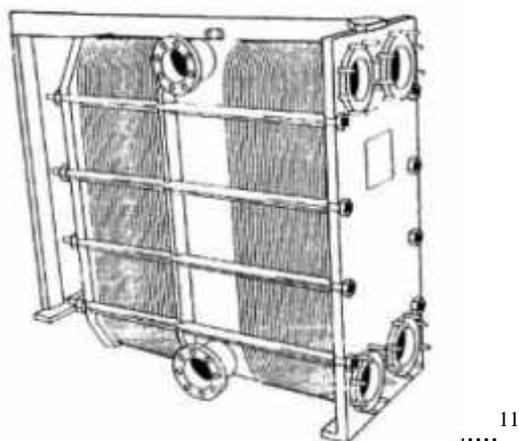
Keterangan :

- a. Normal fin
- b. Longitudinal fin
- c. Continuous fin

### 3. Tipe pelat (*plate heat exchanger*)

Alat penukar panas tipe pelat memiliki tingkat kekompakkan 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 pelat itu sendiri terhadap aliran fluida satunya dipisahkan dengan gasket. Jadi kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya tidak saling bercampur.

<sup>10</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Pressure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 20

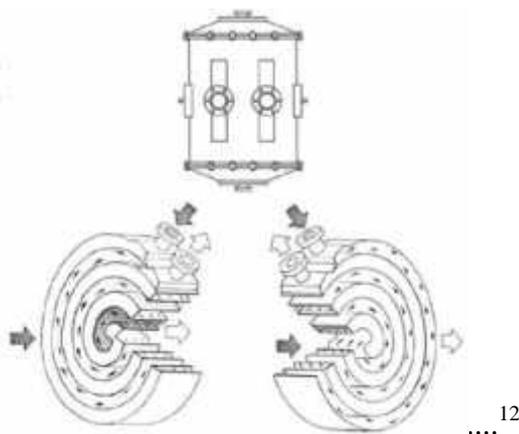


Gambar 2.11 *Plate Heat Exchanger*

Pada gambar 2.11 menggambarkan penampang *plate heat exchanger*.

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

Pada *spiral heat exchanger*, arah aliran fluida menelusuri pipa spiral dari luar menuju pusat 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.



Gambar 2.12 *Spiral Heat Exchanger*

<sup>11</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Pressure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 21

<sup>12</sup> Ibid, hal 21

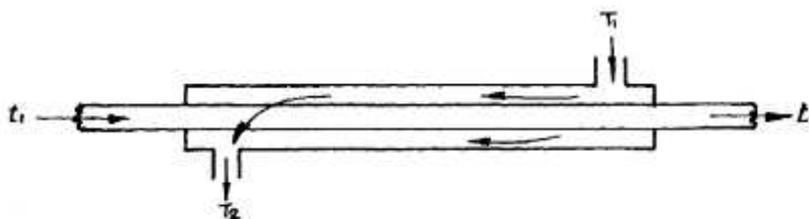
Pada gambar 2.12 menggambarkan penampang *spiral heat exchanger*.

#### D. Alat Penukar Kalor Berdasarkan Tipe Alirannya

Pada alat penukar kalor berdasarkan tipe alirannya dibagi menjadi tiga macam yaitu :

##### 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 lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima panas saat keluar dari alat penukar panas bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan panas saat memasuki penukar panas. Jenis alat penukar panas dengan arah fluida yang berlawanan merupakan alat penukar panas yang paling efektif.



..... 13

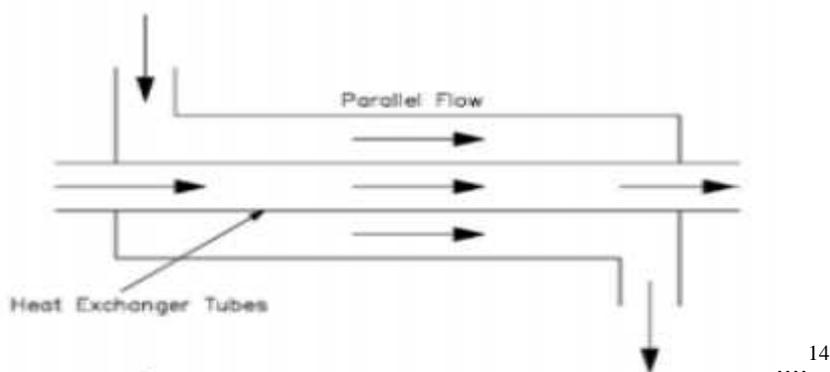
Gambar 2.13 Aliran *Counterflow* pada Penukar Panas

Pada gambar 2.13 menggambarkan aliran *counterflow* pada penukar panas.

<sup>13</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Preassure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 23

## 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. Alat penukar panas jenis ini adalah yang paling tidak efektif digunakan untuk transfer panas.



Gambar 2.14 Aliran *Parallel* pada Alat Penukar Panas

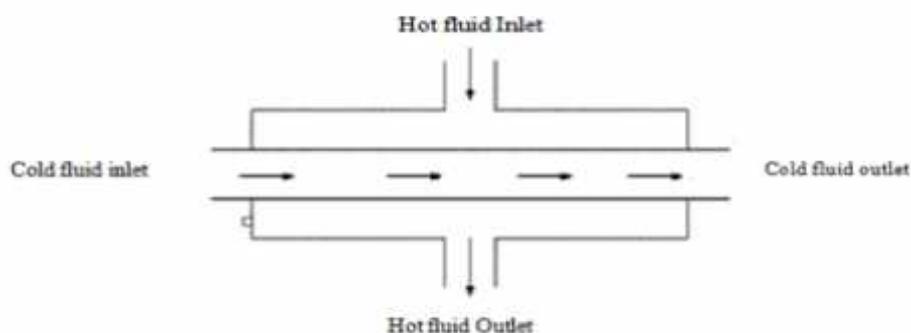
Pada gambar 2.14 menggambarkan aliran *parallel* pada alat penukar panas.

## 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

<sup>14</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Preassure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 23

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.



.... 15

Gambar 2.15 Aliran *Crossflow* pada Alat Penukar Panas

Pada gambar 2.15 menggambarkan atipe aliran *crossflow* pada alat penukar panas.

### 2.3 *Condensor*

*Condensor* merupakan alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) yang berfungsi mengkondensasikan uap bekas dari turbin menjadi titik-titik air (air kondensat) dan air yang terkondensasi menjadi air ditampung pada *Hotwell*. Selanjutnya air tersebut disirkulasikan kembali ke *boiler* untuk diproses kembali menjadi uap.

<sup>15</sup> Nugraha, Linggar Setiawan, *Analisa Pengaruh High Preassure Heater 1 Inservice dan Outservice terhadap Efisiensi Termal PLTU 1 Jawa Timur Pacitan*, hal. 24

Proses pada *condensor* yang terjadi adalah proses perpindahan panas. Panas dari uap bekas diteruskan ke massa fluida pendingin melalui media pemisah yaitu permukaan perpindahan panas yang dibuat dengan pipa-pipa dengan ketebalan yang tipis dalam jumlah banyak.

PLTU 1 Jawa Barat Indramayu memakai jenis *condensor shell and tube* dan *surface condensor*, dimana air laut mengalir didalam *tube* untuk mendinginkan uap bekas yang berasal dari turbin, pada proses kondensasi ini mengakibatkan sisi uap *condensor* (termasuk hotwell) berada dalam kondisi vakum. Bila air pendingin berkurang maka vakum akan turun dan pada kondisi ekstrim dapat mengakibatkan *deaerating* dan bila vakum terus turun akan mengakibatkan unit *trip*, karena itu air pendingin utama merupakan unsur yang vital pada sebuah PLTU.



16

*Dokumentasi PLTU 1 Jawa Barat Indramayu*  
Gambar 2.16 *Condensor*

---

<sup>16</sup> *Dokumentasi PLTU 1 Jawa Barat Indramayu*

Pada gambar 2.16 merupakan gambar *condensor* di PLTU 1 Jawa Barat Indramayu dengan jenis *shell and tube condensor* dan *surface condensor*.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Condensor* PLTU 1 Jawa Barat Indramayu

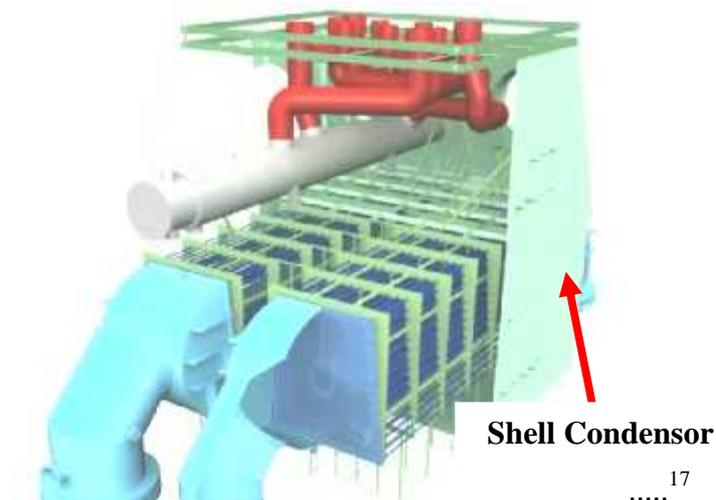
<b>Technical Specification</b>	<b>Unit</b>	<b>Specification</b>
Cooling Area Condensor	m <sup>2</sup>	17500
Preassure	Mpa	0.0085
Condensing Mass Flow	t/h	651.3
Cooling Water Inlet Temperature	°C	30
Cooling Speed		61
Cooling Water Flow	t/h	39730
Flow Path		1
Cooling Tube Quantity		24348
Cooling Tube Length	mm	12410
Circulating Water Inlet Pipe Diameter	mm	1820
Circulating Water Outlet Pipe Diameter	mm	1820
Tube Water Diameter	mm	18
Exhaust Steam Pipe Outlet Diameter	mm	273
Condensate Outlet Pipe Diameter	mm	630
Designed Cooling Water Flow	t/h	43650
Designed Cooling Water Temperature	°C	30
Cooling Medium		Seawater
Hot Well Effective Volume	m <sup>3</sup>	70
Condenser Pipe Material Clean		Titanium Pipe
Coefficient	µg/liter	0.9
Condensate Outlet Oxygen Content	m/s	20
Pipe Inner Flowrate	m/s	2.5
Condenser Water Resistance	kPa	40

### 2.3.1 Konstruksi *Condensor*

*Condensor* secara umum terdiri dari *shell*, *water box*, *tube plat*, *hotwell* dan sebagainya, (Satria,2014:41) berikut merupakan komponen utama *condensor* :

a. Selongsong (*Shell*)

*Shell* pada *condensor* merupakan tempat masuknya uap yang keluar dari *LP turbine* dan tempat terjadinya proses kondensasi.



Gambar 2.17 *Shell Condensor*

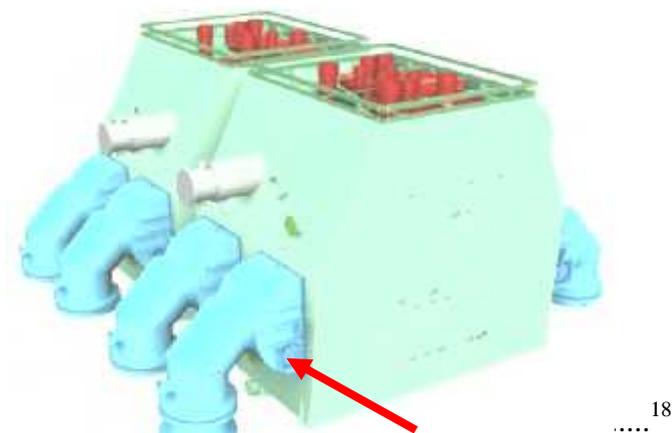
Pada gambar 2.17 menggambarkan penampang *condensor* dengan menunjukkan *shell condensor*.

b. Ruang air (*Water Box*)

*Water box* terletak pada sisi masuk dan keluar berfungsi sebagai ruang penampungan air yang terbuat dari baja karbon dan masing-masing mempunyai *man hole*.

---

<sup>17</sup> Satria, Dimas Yudha, *Pengoperasian dan Pemeliharaan Kondensor PLTU 1 Jawa Timur Pacita*, hal. 41

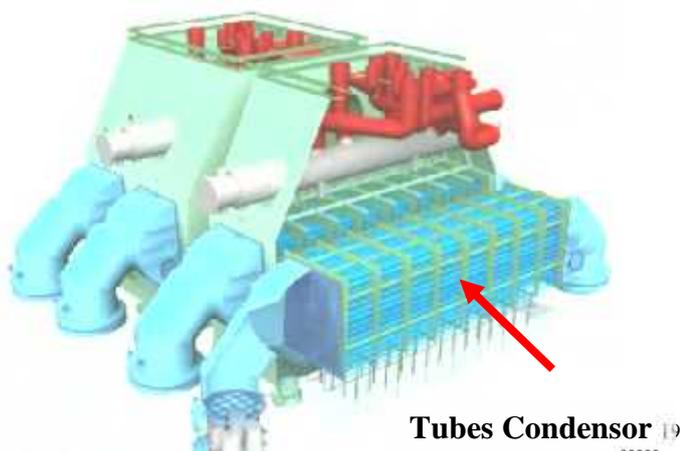


**Water Box**  
Gambar 2.18 *Water box*

Pada gambar 2.18 menggambarkan penampang *condensor* dengan menunjukkan *water box condensor*.

c. *Pipa Condensor (Tubes)* dan Pemegang Pipa

*Tubes condensor* ini merupakan pipa yang dilewati air laut sebagai pendingin dalam *condensor*. Pemegang pipa adalah plat untuk menyangga pipa-pipa *condensor* yang berfungsi agar pipa-pipa tersebut tidak melengkung.



**Tubes Condensor**  
Gambar 2.19 *Tubes Condensor*

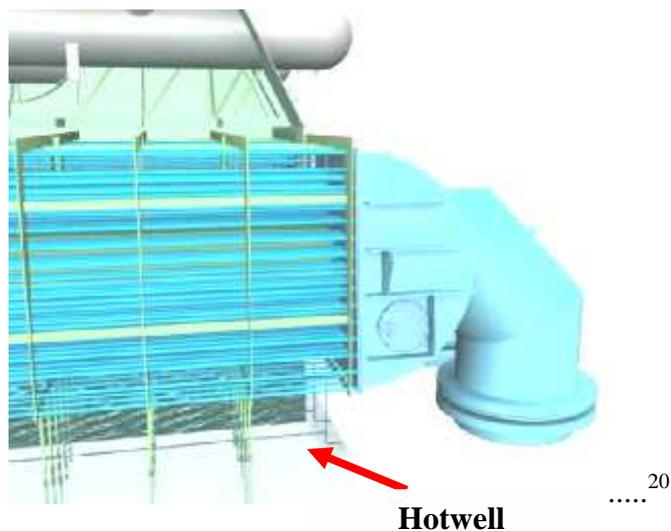
<sup>18</sup> Satria, Dimas Yudha, *Pengoperasian dan Pemeliharaan Kondensor PLTU 1 Jawa Timur Pacita*, hal. 41

<sup>19</sup> Satria, Dimas Yudha, *Pengoperasian dan Pemeliharaan Kondensor PLTU 1 Jawa Timur Pacita*, hal. 43

Pada gambar 2.19 menggambarkan penampang *condensor* dengan menunjukkan *tubes condensor*.

d. Ruang Kondensat (*Hotwell*)

*Hotwell* merupakan ruang pempungan air kondensat yang telah terkondensasi dan dilengkapi dengan gelas penduga *dan man hole*.



Gambar 2.20 *Hotwell*

Pada gambar 2.20 menggambarkan penampang *condensor* dengan menunjukkan *hotwell condensor*.

### 2.3.2 Sistem Pendingin *Condensor*

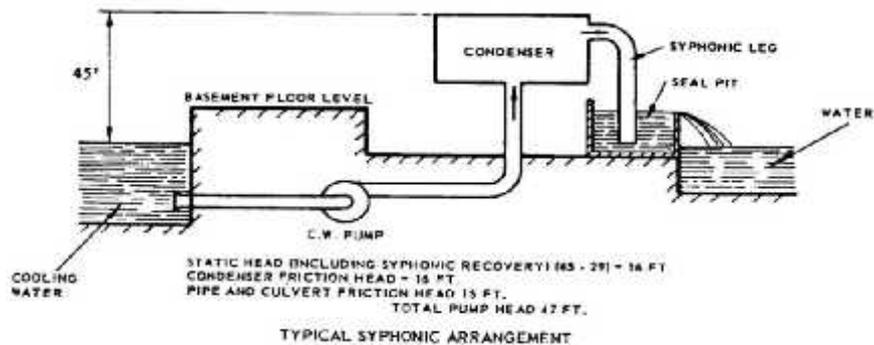
Sistem air pendingin utama berfungsi sebagai penyedia dan pemasok air pendingin yang diperlukan untuk mengkondensasikan uap bekas dan drain uap didalam *condensor*. Secara umum sistem pendingin utama dibagi menjadi 2 macam yaitu :

---

<sup>20</sup> Satria, Dimas Yudha, *Pengoperasian dan Pemeliharaan Kondensor PLTU 1 Jawa Timur Pacita*, hal. 43

a. Sistem pendingin siklus terbuka (*Once Through*)

Sistem siklus terbuka, air pendingin dipasok secara kontinyu dari sumber tak terbatas seperti laut yang dipompakan ke *condensor* dan akhirnya dibuang kembali keasalnya.



21

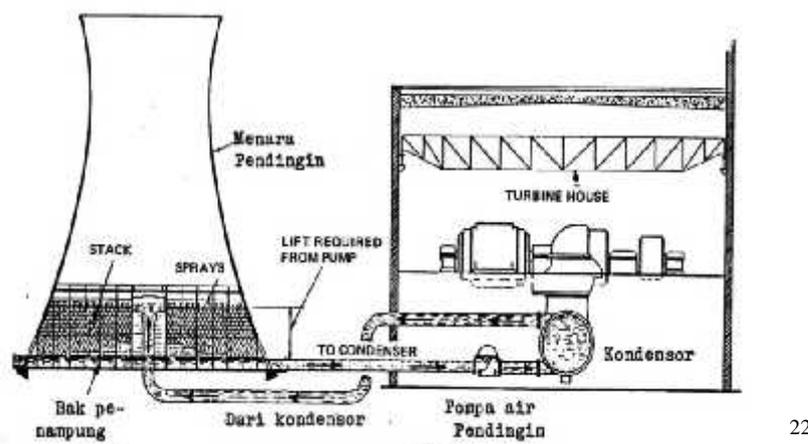
Gambar 2.21 Sistem Pendingin Siklus Terbuka

Pada gambar 2.21 menggambarkan sistem pendingin siklus terbuka PLTU.

b. Sistem pendingin siklus tertutup (*Recirculation – Cooling Tower*)

Secara prinsip, sistem air pendingin utama siklus tertutup menggunakan media air pendingin yang sama secara berulang dalam sirkulasi tertutup. Sistem ini membutuhkan biaya investasi yang lebih besar dibanding sistem siklus terbuka. Hal ini karena menggunakan menara pendingin (*Cooling Tower*) yang mahal.

<sup>21</sup> PT.PLN (Persero) JASA DIKLAT UNIT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SURALAYA, Sistem Pendingin Utama, hal 3



Gambar 2.22 Sistem Pendingin Siklus Tertutup

Pada gambar 2.22 menggambarkan sistem pendingin siklus terbuka PLTU.

PLTU 1 Jawa Barat Indramayu menggunakan jenis sistem pendingin siklus terbuka (*Once Through*), dimana air laut sebagai media pendinginnya yang dipasok secara kontinyu dan dibuang kembali ke asalnya. Pada sistem air pendingin utama sebelum air laut masuk ke *condensor*, terdapat saringan putar halus (*Debris Filter*) yang digunakan untuk menyaring air pendingin untuk menjaga proses kondensasi yang baik dan menjaga tekanan vakum di dalam *condensor*. Apabila terjadi *fouling* dan penyumbatan didalam *Debris Filter* akan berpengaruh terhadap proses kondensasi didalam *condensor* karena temperatur pada *condensor* naik dan mengakibatkan tekanan vakum didalam *condensor* menjadi rendah sehingga dapat menimbulkan *back pressure*.

<sup>22</sup> PT.PLN (Persero) JASA DIKLAT UNIT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SURALAYA, Sistem Pendingin Utama, hal 3

### Debris A



23

*Dokumentasi PLTU 1 Jawa Barat Indramayu*  
Gambar 2.23 Debris Filter A

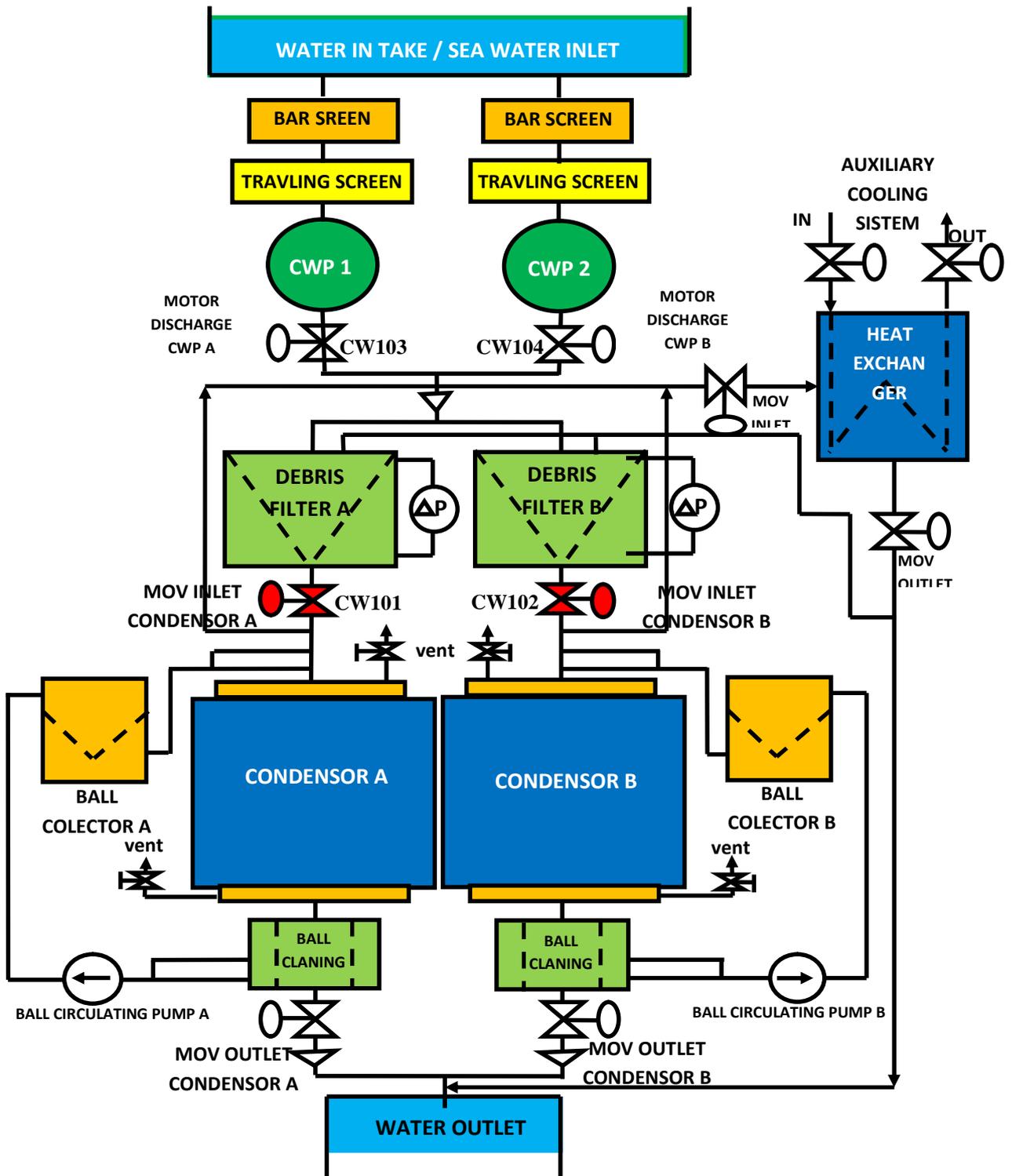
Pada gambar 2.23 merupakan gambar *debris filter* di PLTU 1 Jawa Barat Indramayu

### **2.3.3 Permasalahan *Debris Filter Condensor***

Salah satu permasalahan yang terjadi pada PLTU 1 Jawa Barat Indramayu adalah kesalahan *design Motorized Operating Valve* pada *Debris Filter* yang terletak setelah *debris filter*.

---

<sup>23</sup> *Dokumentasi PLTU 1 Jawa Barat Indramayu*



Gambar 2.24 Design awal *Motorized Operating Valve (MOV) debris filter condensor*

Pada gambar 2.24 menunjukkan *design awal Motorized Operating Valve (MOV) debris filter condensor*

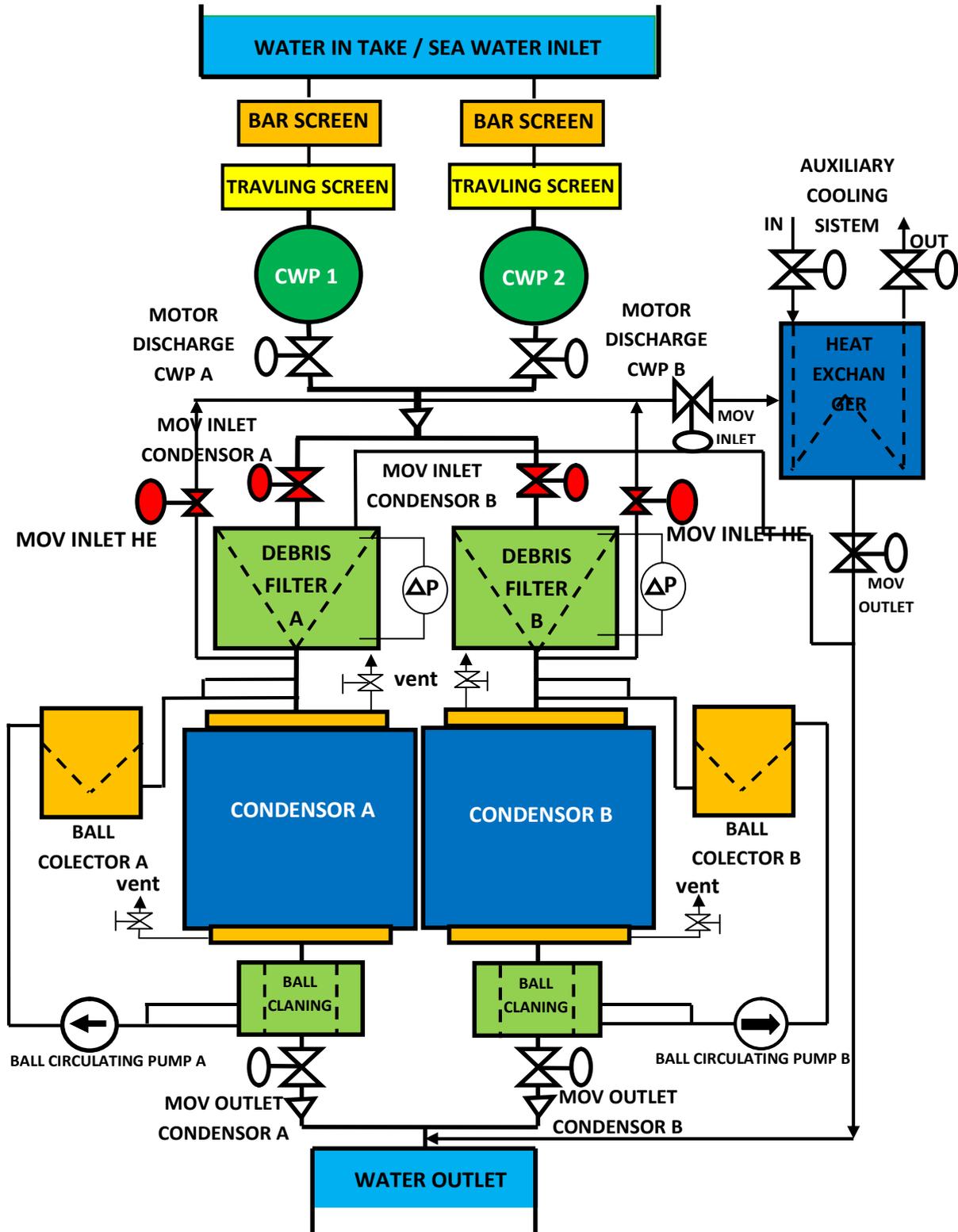
Kondisi sistem pendingin utama PLTU 1 Jawa Barat Indramayu pada bulan Mei 2011 mengalami satu permasalahan, yaitu menurunnya *flow* debit air pendingin yang menuju ke *condensor* maupun *heat exchanger* yang diakibatkan oleh *debris filter* yang sudah mulai ada pengotoran dan penyumbatan.

Pembersihan secara auto tidak dapat dilakukan, dampaknya beban menjadi *dearating* akibat dari menurunnya tekanan yang menuju *condensor* dan *heat exchanger* karena debit / *flow* menjadi berkurang, *vacuum condensor* juga mengalami penurunan karena temperature *condensor* cenderung naik terus dan dapat mempengaruhi efisiensi panas didalam *condensor*. Hal ini dapat mengakibatkan *back preassure* dan trip.

Pada design ini dapat menimbulkan kerugian sebagai berikut :

1. Ketika terjadi pengotoran pada *Debris Filter* dan harus dilakukan *out of service* secara manual, harus mematikan Unit dan harus stop *Circulating Water Pump*.
2. Menimbulkan kerugian Financial yang sangat besar.

Design debris filter awal di PLTU 1 Jawa Barat Indramayu dinilai tidak handal dan tidak efisien, maka untuk mengatasi dampak design tersebut dilakukan *redesign* pada *Motorized Operating Valve* pada sisi *inlet condensor* agar pada saat terjadi *fouling* pada salah satu *Debris Filter* tidak harus stop unit dan stop *Circulating Water Pump* (CWP). Pada saat dilakukan *Out of Service* pada *Debris Filter*, unit tetap dapat beroperasi dengan satu sisi *condensor*.



Gambar 2.25 Redesign Motorized Operating Valve (MOV) debris filter condensor  
 Pada gambar 2.25 menunjukkan redesign Motorized Operating Valve (MOV)  
 debris filter untuk mengatasi permasalahan pada PLTU 1 Jawa Barat Indramayu.

*Redesign debris filter* ini dilakukan pemindahkan *Motor Operating Valve* di depan *Debris Filter* dan menambahkan *valve* di sisi *inlet Heat Exchanger*.

**Keuntungan:**

- Memudahkan mengisolasi *debris filter* maupun *condensor* ketika dilakukan *out of service* dengan menutup *Motor Operating Valve* (MOV) inlet, *Motor Operating Valve* (MOV) outlet dan *Motor Operating Valve* (MOV) inlet *Heat Exchanger*.
- Tidak harus stop unit maupun stop *Circulating Water Pump* (CWP).
- Unit tetap beroperasi dengan satu sisi *condensor*.
- *Derating* beban akan lebih cepat.
- *Heat Exchanger* lebih terjaga dan aman dari pengotoran karena di *cover* dua *filter*.

**Kekurangan:**

- Harus menambah 1 *Motor Operating Valve* (MOV) inlet *Heat Exchanger*.
- Ketika ke dua *debris filter* mengalami pengotoran, *flow* / debit aliran menuju *Heat Exchanger* akan berkurang, *auxiliary cooling* akan terganggu.

## 2.4 Efisiensi

Efisiensi merupakan istilah yang banyak digunakan diberbagai bidang. Pengertian efisiensi adalah khusus mengenai efisiensi unit PLTU atau bagian dari sistem dalam unit PLTU. (Nugraha,2012:30)

Efisiensi akan menyatakan hubungan antara INPUT dan OUTPUT. Karena adanya LOSSES yang tidak dapat dihindarkan dalam proses perubahan energi di PLTU, maka :

$$\text{OUTPUT} = \text{INPUT} - \text{LOSSES}$$

$$\text{EFISIENSI} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}}$$

Pernyataan matematis tersebut diatas menyatakan bahwa efisiensi merupakan perbandingan antara OUTPUT dengan INPUT. Dalam kondisi ideal, yaitu apabila LOSSES = 0, maka besarnya efisiensi adalah 1 (satu) atau 100%.

#### 2.4.1 Efisiensi Panas Condensor

Pengertian Efisiensi panas *condensor* adalah rasio antara kenaikan suhu air pendingin dengan selisih suhu masuk air pendingin bertekanan vakum *condensor*, dimana :

$$\eta_{\text{c ds}} = \frac{t_{\text{out}} - t_{\text{in}}}{t_u - t_{\text{in}}} \times 100\%$$

Keterangan :

$\eta_{\text{c ds}}$  = Efisiensi panas *condensor* (%)

$t_{\text{out}}$  = Suhu keluar air pendingin (°C)

$t_{\text{in}}$  = Suhu masuk air pendingin (°C)

$t_u$  = Suhu uap didalam *condensor* (°C)