

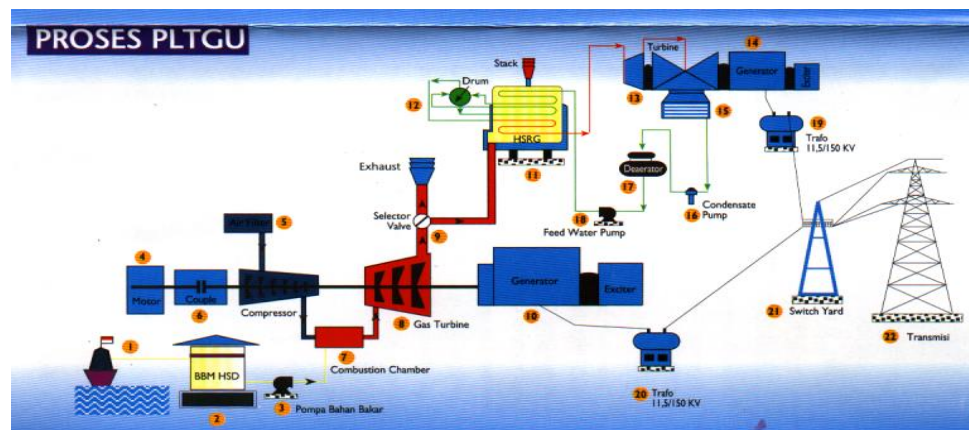
## BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap

PLTGU merupakan kombinasi PLTG dan PLTU. Gas buang dari PLTG yang umumnya mempunyai suhu diatas  $400^{\circ}\text{C}$ , dimanfaatkan (dialirkan) ke dalam ketel uap PLTU untuk menghasilkan uap penggerak turbin uap. Ketel uap yang digunakan untuk memanfaatkan gas buang PLTG mempunyai desain khusus untuk memanfaatkan gas buang disebut *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*.

Pada prinsipnya pengertian memproduksi listrik dengan system pembangkit listrik tenaga gas dan uap adalah dengan udara hasil dari kompresor bersama bahan bakar yang di injeksi pada ruang bakar dan menghasilkan gas yang bertekanan tinggi diekspansikan turbin gas. Energy panas yang terkandung dalam gas bekas dimanfaatkan di *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* untuk memproduksi uap kering. Kemudian uap kering yang bertekanan tinggi di ekspansikan kedalam turbin uap, turbin uap tersebut mengubah energy kinetik menjadi energy mekanis. Karena poros turbin dan poros generator dikopel maka generator akan ikut berputar sehingga menghasilkan listrik.



Gambar 2.1. Siklus PLTGU

## **2.2. Sistem Pendingin**

System pendingin adalah suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya panas yang berlebihan pada mesin agar mesin bisa bekerja secara stabil. Air pendingin adalah air yang berasal dari air aliran yang digunakan untuk menghilangkan suatu panas.

System pendingin merupakan bagian yang terpenting dari proses operasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. Kebanyakan proses produksi pada pembangkit memerlukan air pendingin bertujuan merawat peralatan dan operasi tetap baik. Air pendingin diperlukan untuk memindahkan panas dari suatu komponen. Dan air pendingin juga mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap kinerja mesin serta umur mesin.

Berdasar kan siklusnya terdapat dua jenis system air pendingin yaitu system siklus terbuka dan system siklus tertutup. Pada umumnya system air pendingin utama terdiri dari komponen: *Intake* (siklus terbuka), Saringan (*screen*), Pompa (*Circulating Water Pump*), Katup dan pemipaan (*piping*), Menara pendingin (*cooling tower*).

Untuk system air pendingin siklus terbuka tidak dilengkapi dengan menara pendingin (*cooling tower*), sebaliknya pada siklus tertutup (*resikulasi*) tidak dibutuhkan *intake* yang dipasang saringan-saringan, cukup dengan satu saringan sederhana.

### **2.2.1. Sistem Air Pendingin Terbuka**

Dalam system siklus terbuka, air dipasok secara kontinyu dari sumber tak terbatas seperti sungai, danau atau laut yang dipompakan ke kondesor untuk akhirnya dibuang kembali ke asalnya. Dengan menggunakan pompa, air dari sumber dipompa dan dialirkan ke kondensor dan kemudian dibuang ke saluran pembuangan.

Letak saluran masuk dan saluran pembuangan harus dibuat terpisah sejauh mungkin. Pemisahan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya resirkulasi air dari sisi

pembuangan mengalir ke sisi masuk. Resikulasi akan menyebabkan penurunan efisiensi kondensor karena temperature air menjadi tinggi.

Keuntungan system siklus terbuka:

- a. Biaya modal dan biaya operasi lebih rendah
- b. Peralatan yang dipergunakan lebih sedikit
- c. Kinerja kondensor lebih baik

Kerugian system siklus tertutup:

- a. Kualitas air tidak dapat dikontrol
- b. Memerlukan ijin dari instansi lingkungan
- c. Sumber air harus tersedia dalam jumlah yang besar dan kontinyu

System siklus terbuka digunakan pada unit pembangkitan yang sumber airnya tidak terbatas, seperti air laut atau danau. Temperature air kesisi pembuangan harus dijaga pada batas yang memenuhi syarat, karena air yang panas cenderung menimbulkan bau dan dapat mematikan ikan.

### **2.2.2. Sistem Air Pendingin Tertutup**

Secara prinsip, system air pendingin utama siklus tertutup menggunakan media yang sama secara berulang dalam siklus tertutup. Biaya operasinya system siklus tertutup lebih mahal atau besar karena sistemnya tidak dapat dibuat symphonic effect sehingga memerlukan beberapa fan yang beroperasi terus menerus. Namun system siklus tertutup merupakan solusi terhadap tersediaannya jumlah air yang terbatas, karena air sebagai pendingin dipakai berulang-ulang dan kehilangan air pendingin relatif sedikit.

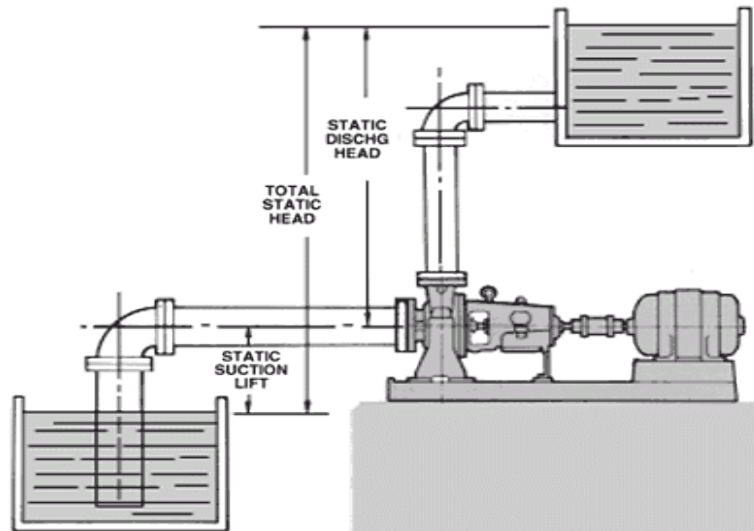
Sirkulasi dari bak penampung menara pendingin (*cooling tower*) dipompakan ke kondensor oleh pompa air pendingin utama untuk mengkondensasikan uap bekas dengan cara menyerap panas dari uap bekas tersebut. Akibat proses dikondensor, temperature air pendingin keluar kondensor akan mengalami kenaikan. Karena air

akan disirkulasikan kembali ke kondensor, maka air pendingin ini harus didinginkan terlebih dahulu.

Prosesnya dilaksanakan pada menara pendingin (*cooling tower*). Didalam menara pendingin, air pendingin didinginkan oleh udara sehingga temperatur kembali turun dan siap untuk disirkulasikan kembali ke dalam kondensor. Dalam contoh aplikasi sistem air pendingin utama siklus tertutup, fungsi sebagian besar komponennya seperti kondensor, *Auxiliary Cooling Water heat Exchanger*, *Travelling Screen* sama seperti dalam sistem air pendingin utama siklus terbuka. Perbedaannya hanya terletak pada menara pendingin (*cooling tower*) yang tidak terdapat pada sistem air pendingin siklus terbuka.

### **2.3. Pengenalan Pompa**

Pompa adalah mesin fluida yang merupakan suatu mekanisme / peralatan dimana tenaga luar diberikan dari poros penggerak (*motor driven*) digunakan untuk memberikan gaya pada cairan yang dipompa dalam bentuk tenaga potensial dan tenaga kinetis, sehingga memungkinkan cairan mengalir dari suatu tempat ke tempat lainnya. Pompa juga dapat diartikan sebagai suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media pemipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan) maupun tenaga potensial, dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran.



**Gambar 2.2. Instalasi Pompa**

### 2.3.1. Pengelompokan Pompa

#### A. *Non Positive Displacement Pump* (Pompa Langkah Non Positif)

Adalah unit pompa yang dalam kerjanya merubah energi kinetik dari aliran cairan kedalam bentuk energi potensial atau dengan kata lain merubah dari dynamic head menjadi static head. Dalam cycle kerjanya, volume liquid yang dikeluarkan tergantung dari pada tahanan yang ada atau ketinggian tekanannya. Aliran cairan yang dikeluarkan adalah kontinyu pada setiap kecepatan. Pompa *Non Positive Displacement* berdasarkan prinsip kerjanya lazim disebut dengan pompa dinamik (dynamic pump).

Yang termasuk pompa langkah non-positif adalah Pompa Sentrifugal yang mempunyai jenis : *Radial Flow*, *Mixed Flow* dan *Axial Flow*.

#### B. *Positive Displacement Pump* (Pompa langkah positif)

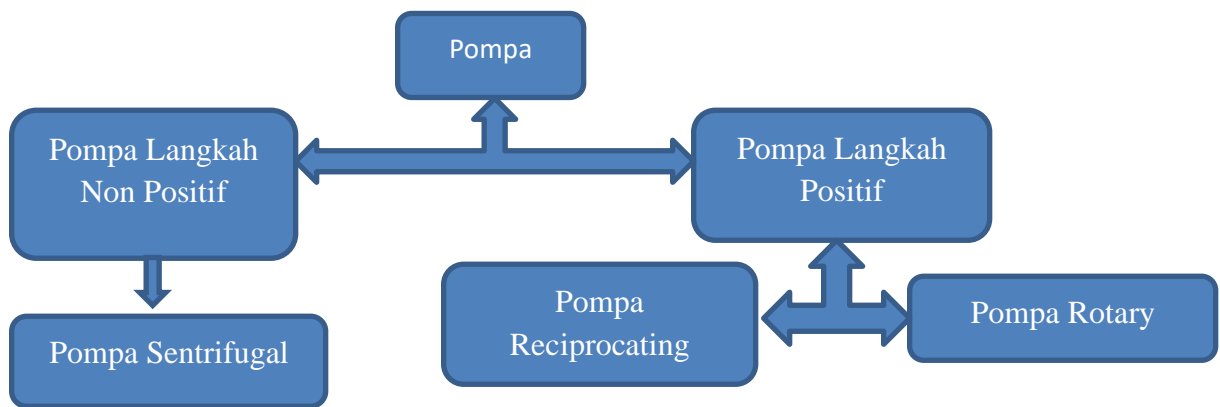
Adalah unit pompa yang dalam kerjanya terutama untuk menghasilkan Static head atau energi potensial dari cairan yang dipompakan.

Dalam tiap cycle kerjanya, memberikan volume liquid tetap tanpa memandang tahanan yang diberikan selama masih memenuhi kapasitas unit dan tenaga penggerak yang tersedia.

Yang termasuk pompa langkah positif:

- Pompa gerak translasi bolak-balik (*reciprocating pump*) memiliki jenis pompa *Thorak*.
- Pompa gerak berputar (*rotary pump*) memiliki jenis rotor tunggal dan banyak.

Diagram Pengelompokan Pompa



**Gambar 2.3.** Pengelompokan Pompa

### 2.3.2 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal atau centrifugal pump adalah pompa yang mempunyai elemen utama yakni berupa motor penggerak dengan sudu impeller berputar dengan kecepatan tinggi. Prinsip kerjanya yakni mengubah energy mekanis alat penggerak menjadi energy kinetis fluida (kecepatan) kemudian fluida di arahkan ke saluran buang dengan memakai tekanan (energy kinetis sebagai fluida diubah menjadi energy tekanan) dengan menggunakan impeller yang berputar didalam casing. Casing tersebut dihubungkan dengan saluran hisap (*suction*) dan saluran tekan (*discharge*), untuk menjaga agar didalam casing selalu terisi dengan cairan sehingga saluran hisap harus dilengkapi dengan katup kaki (*foot valve*).

## **Fungsi dan bagian-bagian Umum Pompa Sentrifugal**

### **a. Stuffing Box**

Stuffing box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.

### **b. Packing**

Packing digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari asbes atau teflon.

### **c. Shaft (poros)**

Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selamaberoperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian-bagian berputar lainnya.

### **d. Shaft Sleeve**

Shaft Sleeve berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada stuffing box. Pada pompa multistage dapat sebagai leakage joint, internal bearing dan instage atau distance sleever.

### **e. Vane**

Sudu dari impeller sebagai tempat berlalu nya cairan pada impeller.

### **f. Casing**

Casing merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffusor (*guide vane*), inlet dan out nozzle sertai tempat memberikan arah aliran dari impeller dan mengkonversikan energy kecepatan cairan menjadi energy dinamis (*single stage*).

### **g. Eye of Impeller**

Bagian sisi masuk pada arah isap impeller.

### **h. Impeller**

Impeller berfungsi untuk mengubah energy mekanis dari pompa menjadi energy kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga

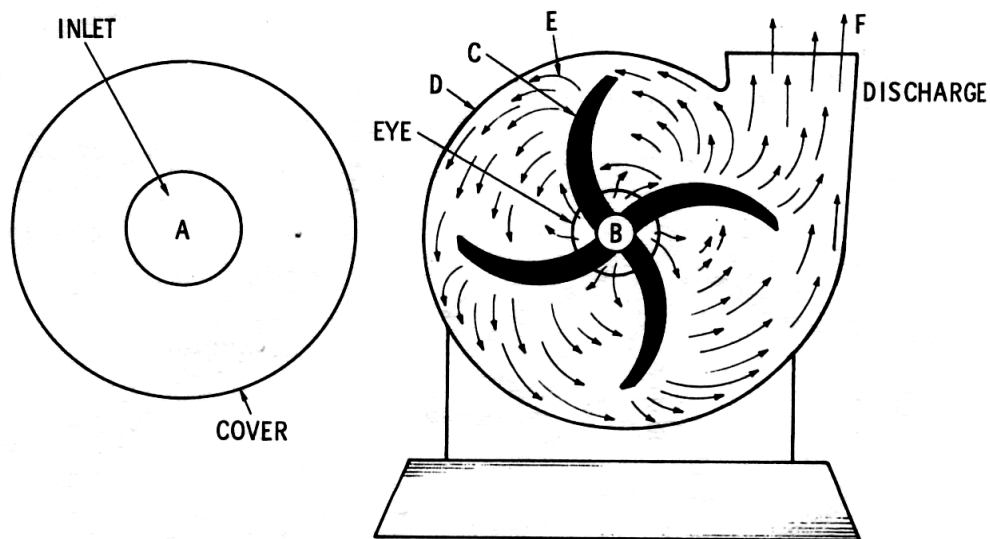
cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

**i. Wearing Ring**

Wearing ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeller maupun bagian belakang impeller, dengan cara memperkecil celah Antara casing dengan impeller.

**j. Bearing**

Bearing berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban axial. Bearing juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil.



**Gambar 2.4 Pompa Sentrifugal**

Keterangan:

A= saluran masuk

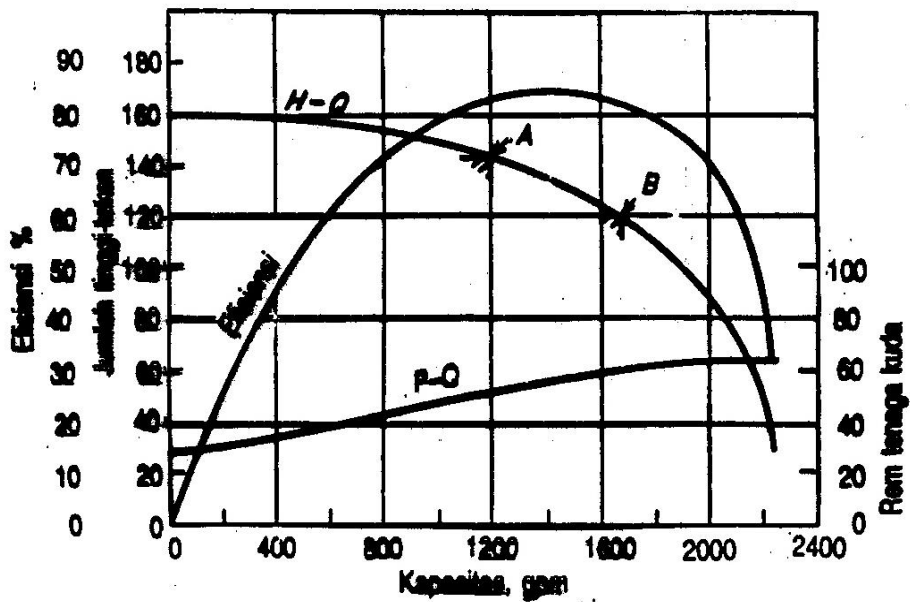
B =Sumbu putaran= sumbu saluran masuk

C=Kipas lengkung/ bagian dari impeller

D= Dinding casing mengantarkan cairan menuju sisi discharge.

E= Rumah keong, mengumpulkan cairan yang keluar dari impeller

### 2.3.3 Karakteristik Pompa



Gambar Kurva karakteristik khusus untuk pompa sentrifugal

Gambar 2.5 Kurva karakteristik khusus pompa sentrifugal

Keterangan:

Head	(H)	satuan meter
Debit	(Q)	satuan ton/jam
Daya	(P)	satuan watt
Effisiensi	( $\eta$ )	satuan %

Pada garis H-Q menunjukkan head dan Debit, artinya semakin rendah Head nya semakin tinggi Debitnya.

Pada garis P-Q menunjukkan Daya dan Debit, artinya semakin tinggi Daya nya semakin tinggi Debitnya.

### Pengertian Head

Head atau tinggi tekan adalah suatu ketinggian kolom cairan pada pipa vertikal yang merupakan tekanan pada bidang horizontal dibagian bawah pipa atau kolom cairan tersebut.

Tekanan ini dinyatakan dalam gaya persatuan luas atau equivalen dalam satuan tinggi dan cairan (meter) atau feet.

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Menurut persamaan Bernauli, ada tiga macam head (energi) fluida dari sistem instalasi aliran, yaitu, energi tekanan, energi kinetik dan energi potensial.

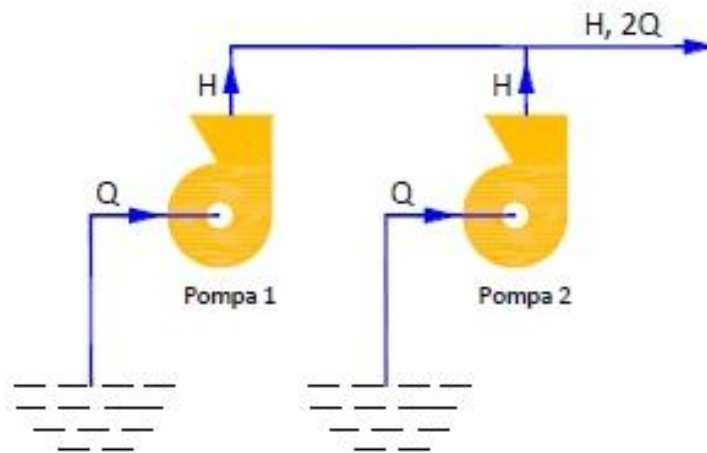
Debit adalah besaran yang menunjukkan volume fluida atau cairan ( $m^3$ ) yang mengalir melalui suatu penampang per satuan waktu (sekon). Untuk fluida atau cairan tidak kompresibel, debit dinyatakan sebagai hasil kali antara laju aliran dengan luas penampang.

## **2.3.4. Pompa Paralel dan Seri**

### **2.3.4.1. Pompa Paralel**

Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas yang besar yang tidak dapat dihandle oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cad

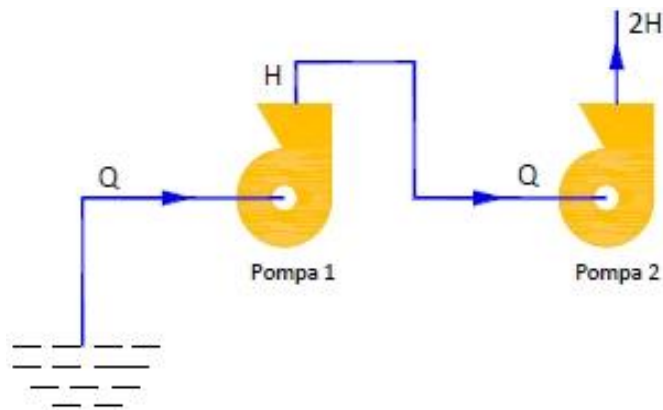
a-ngan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak/diperbaiki. Penyusunan pompa secara paralel dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.6.** Susunan Pompa Secara paralel

#### 2.3.4.2. Pompa Seri

Susunan Seri Bila head yang diperlukan besar dan tidak dapat dilayani oleh satu pompa, maka dapat digunakan lebih dari satu pompa yang disusun secara seri. Penyusunan pompa secara seri dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.7.** Susunan Pompa Secara Seri

## 2.4. Circulating Water Pump

*Circulating Water Pump* merupakan pompa bertipe *vertical centrifugal* aliran *axial mixed* yang memiliki fungsi utama memompa air laut menuju tube-tube kondensor yang digunakan untuk mengkondensasikan uap keluaran *Low Pressure* turbin. Selain fungsi utama diatas *Circulating Water Pump* juga berfungsi untuk menyalurkan air laut ke *suction* pompa *Sea Water Booster Pump* (SWBP).

Prinsip kerja *Circulating Water Pump* adalah air laut masuk melalui *water intake* melalui proses *filtering* terlebih dahulu pada *Front Screen*, *Bar Screen* kemudian menuju filter yang ketiga yaitu *Travelling Band Screen* dimana filter ketiga ini filternya dapat berputar dan putarnya oleh motor. *Travelling Band Screen* yang mendapat kotoran atau biota laut akan dibersihkan oleh *Screen Wash Pump*. Setelah proses *filtering* air akan masuk ke intake *Circulating Water Pump*, air laut akan dipompa oleh *Circulating Water Pump* dari bagian bawah menuju ke bagian *Discharge* disisi atas, karena merupakan pompa *centrifugal* dengan arah *axial mixed* maka yang dihasilkan pada sisi *discharge* adalah aliran yang besar dan tekanan yang tidak begitu besar. Saat *Circulating Water Pump* beroperasi dibutuhkan *sealing* pada journal bearingnya, dimana *sealing* tersebut diambil dari *Screen Wash Pump*. Pada bagian motor pendinginnya diambil dari pompa *Motor Cooling Water*. Air laut dari discharge *Circulating Water Pump* masuk menuju *water box* di kedua sisi dengan terlebih dahulu difiltrasi oleh *debris filter*.

Faktor yang mempengaruhi kinerja *Circulating Water Pump* antara lain:

1. Vakum pada kondensor tinggi.
2. Pressure rendah ( lebih kecil dari 0,5 bar).
3. Vibrasi tinggi (lebih besar dari 7 mm/s).

Dari tiga faktor diatas disebabkan oleh:

1. Impeller aus.
2. Rumah impeller aus.
3. Bearing rusak.

#### 4. Gland packing rusak.

Beberapa bagian utama *Circulating Water Pump*, antara lain:

a. *Bowl section*

Bagian bowl terdiri dari *suction bell*, *impeller* dan *discharge bowl*. Air terangkat oleh adanya energy yang diberikan pada air oleh putaran dari impeller. Suction bell mengarahkan air menuju impeller, dan baling-baling panduan discharge bowl berfungsi untuk memperbaiki aliran air dari impeller.

b. *Intermediate section*

Bagian intermediate terdiri dari column pipe, dengan fungsi untuk mengarahkan aliran pompa menuju elbow.

c. *Discharge elbow*

Discharge elbow digunakan untuk membelokan arah aliran air yang dipompa dari lantai instalasi pompa. Poros pompa menembus bagian elbow yang dipasang packing box untuk mencegah adanya kebocoran air.

d. Motor

Motor terdiri dari shaft pompa untuk mentransmisikan penggerak untuk impeller, dan kopling digunakan untuk menggabungkan shaft motor dengan shaft pompa.

## 2.5. Kavitas

Kavitas adalah Peristiwa menguapnya zat cair yang sedang mengalir sehingga membentuk gelembung-gelembung uap disebabkan karena berkurangnya tekanan cairan tersebut sampai dibawah titik jenuh uapnya. Misalnya, air pada tekanan 1 atm akan mendidih dan menjadi uap pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . Tetapi jika tekanan direndahkan maka air akan bisa mendidih pada temperatur yang lebih rendah bahkan jika tekanannya cukup rendah maka air bisa mendidih pada suhu kamar. Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal

ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa maupun didalam pipa. Tempat-tempat yang bertekanan rendah dan yang berkecepatan tinggi di dalam aliran, maka akan sangat rawan mengalami kavitasi. Misalnya pada pompa maka bagian yang akan mudah mengalami kavitasi adalah pada sisi isapnya.

Kavitasi pada bagian ini disebabkan karena tekanan isap terlalu rendah. Knapp (Karassik dkk, 1976) menemukan bahwa mulai terbentuknya gelembung sampai gelembung pecah hanya memerlukan waktu sekitar 0,003 detik. Gelembung ini akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan lebih besar dari pada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung tersebut akan pecah dan akan menyebabkan *shock* pada dinding di dekatnya. Cairan akan masuk secara tiba-tiba ke ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tadi sehingga mengakibatkan tumbukan. Peristiwa ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan mekanis pada pompa sehingga bisa menyebabkan dinding akan berlubang atau bopeng.

Peristiwa ini disebut dengan erosi kavitasi sebagai akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus menerus. Selain itu kavitasi juga menyebabkan suara yang berisik, getaran, korosi yang disebabkan karena adanya reaksi kimia gas-gas dan logam, dan juga dapat menyebabkan kemampuan pompa akan menurun secara tiba-tiba sehingga pompa tidak bekerja dengan baik.

## **2.6. Vibrasi**

*Vibrasi / Getaran* adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.

## **2.7. NET POSITIVE SUCTION HEAD (NPSH)**

*Net Positive Suction Head* (NPSH) adalah tinggi hisap maksimum yang bisa dicapai.

*Net Positive Suction Head* (NPSH) dibagi dua jenis yaitu:

1. NPSH tersedia ( *NPSH available*) adalah tinggi hisap maksimum yang bisa dicapai oleh karena tekanan penguapan zat cair (pada instalasi yang dibuat). Head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa, dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair ditempat tersebut.
2. NPSH dibutuhkan (*NPSH required*) adalah tinggi hisap yang dibutuhkan pompa yang diberikan/di desain pabrik untuk menghindari kavitasi.

## **2.8. Root Cause Failure Analysis (RCFA)**

RCFA (*Root Cause Failure Analysis*) adalah sebuah rangkaian langkah logika yang menuntun pengamat melalui proses yang memisahkan fakta fakta yang mencakup sebuah kegiatan atau kegagalan. Ketika sebuah masalah sudah terdefinisi, analisis ini secara sistematis akan menentukan hal yang paling tepat untuk dilakukan yang akan mengatasi sebuah masalah dan menjamin masalah itu tidak akan terulang kembali.

Berikut adalah langkah langkah yang dilakukan dalam RCFA

1. Melaporkan Sebuah Kejadian atau Masalah
2. Klasifikasi Kejadian
3. Pengumpulan Data
4. Meninjau Desain
5. Meninjau penggunaan dan pemeliharaan
6. Pengamatan dan Pengukuran
7. Menentukan Akar Masalah
8. Mengevaluasi Kegiatan untuk Perbaikan