

## Analisis Losses Pada Boiler Feed Pump PLTU Muara Karang Unit 5

Vendy Antono

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN  
Email : [vendyantono@gmail.com](mailto:vendyantono@gmail.com)

Adi Gunawan

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

### Abstract

*Center Steam Power (power plant) is a type of power plant that is the most common and most of the electrical energy needs on the island of Java and Bali are supplied by the plant species. Broadly speaking, the system of steam power plant (power plant) is composed of some major equipment and support equipment. One part of the steam power generation equipment that plays a key role is the Boiler Feed Pump (BFP). BFP main function is to pump the fluid from the deaerator heading to Steam Boiler Drum through through High Pressure Heater and economizer. BFP in Muara Karang power plant unit 5 uses an electric motor as a pump drive and media use as transmission fluid coupling of the pump. BFP magnitude greatly affect the efficiency losses (losses) of the component - the component. Therefore, the magnitude of losses (losses) that occur need to be analyzed to gain efficiencies actual Boiler Feed Pump. This research aims to study and analyze the depth of the losses in the system BFP (Boiler Feed Pump). The results are used to determine the value of losses on some components of the system BFP. The results showed that the value of the copper losses and the loss of magnetization of electric motors at 216.051 kJ, losses due to fluid friction in the pump for 1424.8694 kJ, the losses can not be taken into account such as the pump bearings, clutch bearings, motor bearings, radiation and Lubricate the coupling of 262.3645 kJ.*

*Keywords: Muara Karang power plant, BFP, Losses.*

## 1. PENDAHULUAN

Industri merupakan salah satu kegiatan ekonomi yang meliputi kegiatan produksi primer, kegiatan produksi sekunder, kegiatan produksi tersier serta dapat menjadi salah satu tumpuan bagi perekonomian suatu bangsa. Perkembangan industri di Indonesia mulai berkembang pesat sejak tahun 80-an, seiring dengan pesatnya perkembangan industri maka diikuti pula oleh meningkatnya konsumsi energi listrik. Dengan melihat kondisi tersebut maka pemerintah berupaya untuk membangun unit pembangkitan tenaga listrik di Indonesia khususnya di pulau Jawa.

PLTU Muara Karang merupakan unit pembangkitan tenaga listrik yang beroperasi pada tahun 1979 dan terletak di teluk kota Jakarta. PLTU tersebut mempunyai kapasitas daya cukup besar yaitu 3 X 100 MW dan 2 X 200 MW. Unit pembangkitan ini mempunyai peran utama dalam memenuhi kebutuhan listrik di Ibukota Jakarta, terutama daerah-daerah VVIP seperti Istana Presiden, Gedung MPR/DPR dan

bandara Soekarno – Hatta. Selain itu juga PLTU Muara Karang termasuk salah satu Organisasi Unit Pembangkitan PJB yang menyuplai energi listrik melalui transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 atau 150 kV ke sistem interkoneksi Jawa Bali.

Pada dasarnya PLTU digunakan untuk menanggung beban dasar, pusat listrik tenaga uap merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang dapat dibuat dalam kapasitas skala besar, oleh sebab itu jenis pembangkit tersebut banyak dijumpai dan hampir sebagian besar kebutuhan listrik di Jawa dan Bali disuplai dari jenis pembangkit ini.

Prinsip kerja PLTU secara umum adalah energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar dimanfaatkan untuk memanaskan air pada boiler dan mengubah air tersebut menjadi uap yang bertemperatur dan bertekanan tinggi, kemudian uap tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin yang memutar generator dan selanjutnya generator akan menghasilkan tenaga listrik.

Biaya operasi dari suatu PLTU tergantung dari efisiensi PLTU secara keseluruhan atau dengan kata lain biaya operasi dari sebuah PLTU tergantung pada efisiensi dari tiap komponen yang terdapat pada PLTU, efisiensi tiap komponen tergantung pada kerugian (*Losses*) yang terjadi pada tiap komponen seperti boiler, turbin, kondensor, generator, pompa pengisi boiler (BFP) dan lain-lain.

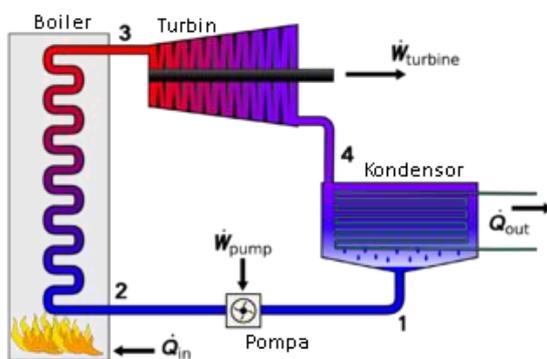
Pompa Pengisi Boiler (BFP) merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam PLTU. BFP berperan utama dalam pengisian air ke dalam boiler, yang selanjutnya air tersebut dipanaskan hingga menjadi uap untuk disalurkan ke dalam turbin. Oleh sebab itu, perlu perhatian khusus terkait spesifikasi yang digunakan dan kerugian yang ditimbulkan dalam operasionalnya. Adapun kemungkinan kerugian yang terkait pada kinerja BFP meliputi kerugian yang terjadi pada pompa, kopling, bantalan dan motor penggerak. Seluruh kerugian tersebut perlu dianalisis terkait efisiensi BFP di dalam sistem PLTU khususnya pada PLTU Muara Karang unit 5.

## 2. KAJIAN LITERATUR

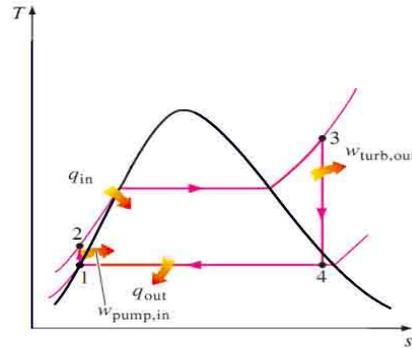
### Siklus PLTU

#### Siklus Rankine Ideal

PLTU mengikuti sebuah proses siklus (proses keliling) yang disebut siklus Rankine. Siklus Rankine adalah siklus cair – uap, yang merupakan dasar dari sistem pembangkit tenaga uap. Diagram sederhana dan siklus PLTU adalah seperti berikut ini:



Gambar 1. Diagram sederhana PLTU



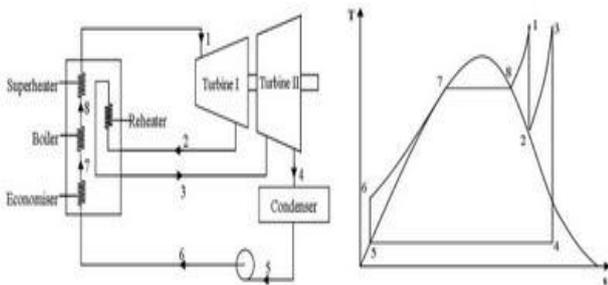
Gambar 2. Diagram T – s siklus Rankine ideal

Keterangan :

- 1 – 2 : Proses kompresi isentropis yaitu pemompaan air masuk ke dalam Boiler. Pada kondisi tersebut tekanan bertambah tinggi dan suhu sedikit naik.
- 2 – 3 : Proses pemberian kalor dengan tekanan yang konstan di dalam Boiler yang menjadikan air berubah menjadi uap panas lanjut. Pada proses tersebut suhu bertambah tinggi dan entropi bertambah besar.
- 3 – 4 : Proses ekspansi isentropis/ adiabatik uap di dalam turbin yang menjadikan turbin berputar guna memutar poros generator untuk menghasilkan listrik. Disini volume uap bertambah besar, tekanan menurun, suhu menurun dan entropi konstan.
- 4 – 1 : Proses pengembunan uap keluar turbin menjadi air kembali di dalam kondensor pada entropi yang konstan.

#### Siklus Rankine Reheat

Pada siklus Rankine reheat, uap tekanan tinggi berekspansi di dalam turbin tekanan tinggi, uap yang keluar dari hasil ekspansi tersebut dikembalikan ke dalam Boiler untuk dipanaskan ulang di dalam Reheater kemudian uap hasil pemanasan ulang tersebut dimasukkan kembali ke dalam turbin tekanan menengah atau turbin tekanan rendah. Tujuan dari siklus Rankine Reheat adalah untuk meningkatkan tenaga dan efisiensi PLTU dengan cara memperluas bidang energi yang dimanfaatkan dalam diagram T – s pada siklus Rankine ideal.



Gambar 3. Diagram T – s Siklus *Reheat*

Keterangan :

- 1 – 2 : Proses ekspansi adiabatik/isentropis uap di dalam HP Turbin. Pada proses tersebut suhu berkurang dan entropi konstan.
- 2 – 3 : Uap hasil ekspansi yang keluar HP Turbin dimasukkan ke dalam *Reheater* untuk dipanaskan kembali sebelum masuk ke LP Turbin pada proses tersebut suhu bertambah tinggi dan entropi bertambah besar.
- 3 – 4 : Proses ekspansi adiabatik/isentropis uap di dalam LP Turbin. Pada proses tersebut suhu berkurang dan entropi konstan.
- 4 – 5 : Pengembunan uap di dalam Kondensor. Pada proses tersebut T konstan dan entropi bertambah besar.
- 5 – 6 : Proses kompresi isentropis yaitu pemompaan air masuk ke dalam *Boiler*.
- 6 – 7 : Pemanasan menuju titik didih di dalam *Economizer*. Pada proses tersebut suhu bertambah tinggi dan entropi bertambah besar.
- 7 – 8 : Pendidihan / perubahan fasa di dalam *Evaporator*. Pada proses tersebut suhu konstan dan entropi bertambah besar.
- 8 – 1 : Pemanasan lanjut uap di dalam *Superheater*. Pada proses tersebut suhu bertambah tinggi dan entropi bertambah besar.

**PLTU Muara Karang**  
**Uraian Singkat**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Muara Karang unit 1, 2, 3, 4, dan 5 dibangun di Muara Karang yang berlokasi di teluk Jakarta di atas tanah seluas ± 41,5 hektar, luasan tersebut terdiri dari ± 12 hektar untuk bangunan sentral dan 29,5 hektar untuk sarana penunjang seperti gudang, perumahan operator dan lain – lain. Pembangunan proyek PLTU Muara Karang unit 1, 2, 3, 4 dan 5 tersebut membutuhkan biaya keseluruhan sebesar US\$ 296.030.108,95. Pembangunan tersebut dibagi menjadi 2 tahap

yaitu tahap I unit 1, 2, 3 (3 x 100MW) dan tahap II yaitu unit 4 dan 5 (2 x 200MW).

PLTU Muara Karang menggunakan bahan bakar minyak residu (MFO), bahan bakar tersebut dipasok oleh kapal *tanker* yang berlabuh di pelabuhan minyak PLTU Muara Karang sejauh ± 4 Km dari pantai melalui saluran pipa dasar laut. PLTU muara Karang mempunyai tangki dengan kapasitas 2 x 19.000 kl dan 2 x 23.000 kl yang berfungsi untuk menyimpan bahan bakar tersebut, selain itu terdapat 2 tangki dengan kapasitas 2 x 250 kl yang berfungsi untuk menyimpan bahan bakar yang dipergunakan untuk bahan bakar alat bantu yaitu Hsd (*High Speed Diesel*).

**PLTU Muara Karang unit 4 dan 5**

PLTU Muara Karang unit 4 dan 5 merupakan tahap pembangunan kedua dan terakhir dari 5 unit PLTU Muara Karang yang direncanakan. Kedua unit tersebut dibangun berdampingan dengan unit 1, 2, dan 3, yang telah selesai dibangun masing – masing pada bulan Juli 1979, Nopember 1979 dan Desember 1979, sejak dimulainya pada bulan Nopember 1973.

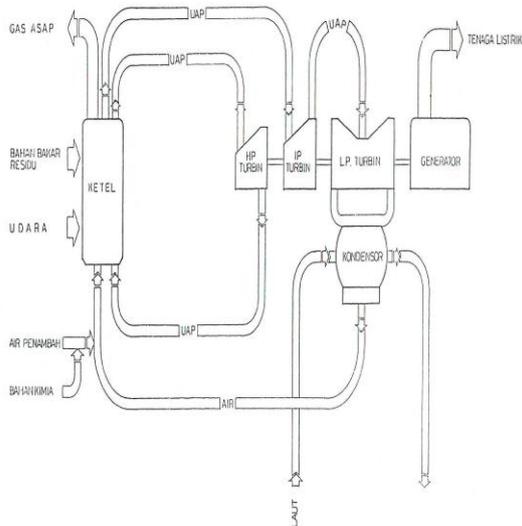
Pembangunan tahap kedua PLTU Muara Karang merupakan realisasi lebih lanjut dari hasil studi kelayakan yang dilakukan oleh konsultan Chass T. Main pada tahun 1972 dan dilengkapi dengan hasil studi lebih lanjut oleh Konsultan Black and Veatch Internasional dalam menetapkan ukuran unit 200 MW untuk setiap unit 4 dan 5, sebagai ukuran yang paling ekonomis. Pembangunan PLTU Muara Karang unit 4 dan 5 memberikan manfaat yaitu :

- 1. Sebagai tambahan daya sebesar 400 MW untuk penyediaan tenaga listrik bagi daerah Jawa barat dan Jakarta Raya.
- 2. Sebagai pemikul beban dasar.
- 3. Persiapan interkoneksi sistem kelistrikan Jawa Tengah dan Jawa Barat melalui transmisi 150 kV.

Unit tersebut menghasilkan daya sebesar 400 MW dan daya tersebut disalurkan ke gardu Induk Angke, Gandul, dan Duri Kosambi.

**Flow Diagram PLTU Muara Karang**  
**Unit 4 & 5**

PLTU Muara Karang unit 4 dan 5 menggunakan siklus *Rankine* dengan *Reheater* (pemanas ulang).



Gambar 4. Flow diagram PLTU Muara Karang unit 4 & 5.

Secara sederhana proses kerja dari sistem PLTU Muara Karang unit 4 & 5 adalah sebagai berikut:

- Air laut dipompa masuk ke dalam sistem water treatment untuk mendapatkan air tawar melalui proses penyulingan (*Desalination*) dan *Demineralisasi*, kemudian dipompakan masuk ke dalam *Boiler*.
- Bahan bakar utama bercampur udara dibakar di dalam boiler untuk memanasi pipa-pipa *Boiler*, sehingga air di dalamnya berubah menjadi uap.
- Gas buang hasil pembakaran tersebut masih mempunyai suhu yang tinggi, yang selanjutnya dimanfaatkan energinya untuk :
  - Menaikkan suhu uap pada *Superheater* (SH).
  - Menaikkan suhu uap pada *Reheater* (RH).
  - Menaikkan suhu air pengisi masuk *Boiler* pada *Economizer*.
  - Menaikkan suhu udara pembakaran yang masuk ke ruang bakar pada *Air Heater* (AH).
- Uap dari *Boiler* setelah dinaikkan suhunya pada *Superheater* kemudian uap tersebut dimasukkan ke dalam turbin tekanan tinggi.
- Uap hasil ekstraksi yang keluar dari HP turbin, dimasukkan ke *Reheater* (RH) untuk dipanaskan kembali hingga mencapai suhu tertentu, kemudian uap hasil pemanasan ulang dimasukkan ke dalam turbin tekanan menengah.

- Kemudian uap hasil ekstraksi dari turbin tekanan menengah dimasukkan ke dalam turbin tekanan rendah untuk dimanfaatkan energinya.
- Di dalam turbin – turbin inilah energi uap dikonversikan menjadi energi mekanik yang memutar rotor generator.
- Generator menghasilkan tenaga listrik.

**Komponen PLTU Muara Karang unit 4 dan 5**

1. Ketel uap (*Boiler*)

*Boiler* adalah alat untuk memanaskan dan menguapkan air atau biasa disebut pembangkit uap. Proses ideal yang terjadi pada ketel uap adalah isobarik atau proses berlangsung pada tekanan konstan.

Data teknis ketel uap PLTU Muara Karang unit 4 dan 5

Pabrik pembuat :	Mitsubishi CE Combustion Engineering
Tipe :	Natural Circulation Boiler RRRPF
Tekanan kerja :	143,3 kg/cm <sup>2</sup>
Tekanan air pengisi :	153 kg/cm <sup>2</sup>
Suhu uap keluar <i>Superheater</i> :	540° C
Tekanan keluar <i>Superheater</i> :	138,5 kg/cm <sup>2</sup> G
Tekanan <i>Reheat outlet</i> :	38,7 kg/cm <sup>2</sup> G
Kapasitas produksi uap :	680 ton/jam
Luas permukaan efektif :	1.650 m <sup>2</sup>
Ruang bakar	
Penyalan mula :	Light Oil
<i>Burner</i>	: 16 buah

2. Turbin uap

Turbin berfungsi untuk mengubah energi thermal uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin, dengan cara mengekspansikan uap di dalam turbin. Prosesnya terjadi secara adiabatik yang berlangsung pada entropi konstan.

Data teknis turbin uap PLTU Muara Karang unit 4 dan 5

Pabrik pembuat :	Mitsubishi Heavy Industries, Ltd
Tipe :	Condensing Reheat Turbin, Tandem Coumpound Two Cylinder Double Flow
Daya pada terminal generator :	200 MW
Tekanan uap masuk :	126,5 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatur uap masuk/reheat :	537,8° C
Jumlah pengambilan uap :	6
Putaran turbin :	3.000 rpm
Tekanan uap keluar :	75 mmHg abs
Jumlah tingkat sudu :	HP, IP, LP : 13, 12, 16

- Katup utama : 2  
Turning gear : 3 rpm
3. Generator  
Generator adalah alat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik dari poros turbin menjadi energi listrik pada output keluarannya.  
Data teknis generator PLTU Muara Karang unit 4 dan 5  
Pabrik pembuat : Mitsubishi Electric Corporation  
Tipe : MB – J  
Kapasitas : 250.000 kVA  
Putaran : 3.000 rpm  
Tegangan : 18.000 Volt  
Frekuensi : 50 Hz  
Fasa : 3  
Arus beban : 8.019 Ampere  
Berat tanpa rotor : 174 ton  
Pendingin : Gas Hydrogen dengan tekanan 3 kg/cm<sup>2</sup>
4. Kondensator  
Kondensator berfungsi untuk mengembunkan uap buangan dari turbin menjadi air kondensat sehingga dapat digunakan kembali sebagai air pengisi ketel uap. Kunci operasinya adalah menjaga tekanan uap keluar turbin (*vacuum*) serendah mungkin sehingga efisiensi turbin meningkat.  
Data teknis kondensator PLTU Muara Karang unit 4 dan 5  
Pabrik pembuat : Takasago Machinery Work  
Tipe : Radial flow single pass divided  
Tekanan : 75 mmHg abs  
Luas permukaan pendingin : 9.430 m<sup>2</sup>  
Jumlah pipa : 9.738  
Kecepatan air pendingin : 2,15 m/s  
Kecepatan hot well : 40 m<sup>3</sup>  
Peralatan lain : air ejector
5. Pompa pengisi ketel  
Pompa pengisi ketel berfungsi untuk menaikkan tekanan air pengisi dari *Deaerator* menuju *Steam Drum* melalui *High Pressure Heater* dan *Ekonomisier (Boiler)*.  
Data teknis pompa pengisi ketel PLTU Muara Karang unit 4 dan 5  
Pabrik pembuat : Takasago Machinery Works  
Tipe : 5 stage horizontal, double case valuta MDG 295  
Jumlah : 3 buah tiap unit

Kapasitas : 391,9 ton/jam  
Putaran : 5.600 rpm  
Tekanan *head* : 1.890 m  
Suhu saluran hisap : 160° C  
Tekanan saluran hisap : 7,7 kg/cm<sup>2</sup>  
Diameter nosel saluran tekan : 160 mm  
Diameter nosel saluran hisap : 200 mm

Motor penggerak BFP (*Boiler Feed Pump*) terdiri dari  
Jumlah : 1 tiap pompa  
Pabrik pembuat: Mitsubishi Electric Corp.  
Kecepatan : 1480 rpm  
Daya motor : 3.000 kW, 4000 Volts, 485 A, 3 fasa, 50 Hz

Unit pengubah kecepatan  
Pabrik pembuat : Hitachi  
Nomor model : CSS-47  
Tipe : Kopling fluida pengubah kecepatan  
Daya : 4020 hp

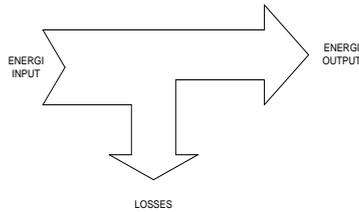
6. Pompa kondensat  
Pompa kondensat berfungsi untuk menaikkan tekanan air kondensat dari tangki kondensat menuju deaerator.  
Data teknis pompa kondensat PLTU Muara Karang unit 4 dan 5  
Pabrik pembuat : Takasago Machinery Works  
Tipe : Vertical 4 stages.  
Kapasitas : 10.000 liter/menit.  
Jumlah : 2 buah tiap unit.  
Tekanan Head : 177 meter.  
Putaran : 1.460 rpm.  
Daya motor penggerak : 420 kW, 4.000 Volt, 50 Hz, 3 Ø

### Neraca Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja / usaha. Satuan energi dalam SI adalah Joule (J). Kesetaraan antara Joule dengan kalori adalah sebagai berikut :

$$1 \text{ kalori} = 4,18 \text{ Joule} \text{ atau } 1 \text{ Joule} = 0,24 \text{ kalori}$$

Neraca energi adalah cabang keilmuan yang mempelajari kesetimbangan energi dalam sebuah sistem. Neraca energi dibuat berdasarkan hukum termodinamika pertama yang menyatakan bahwa energi tidak dapat dimusnahkan atau dibuat, melainkan hanya dapat diubah bentuknya. Skema penggambaran dari neraca energi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Neraca Energi

Kesetimbangan energi dan rasio energi, digunakan untuk menggambarkan hubungan antara output energi dari sistem dan input energi yang diperlukan dalam pengoperasian suatu sistem. Suatu kesetimbangan energi memiliki persamaan sebagai berikut :

$$Energi\ Input = Energi\ Output + Losses$$

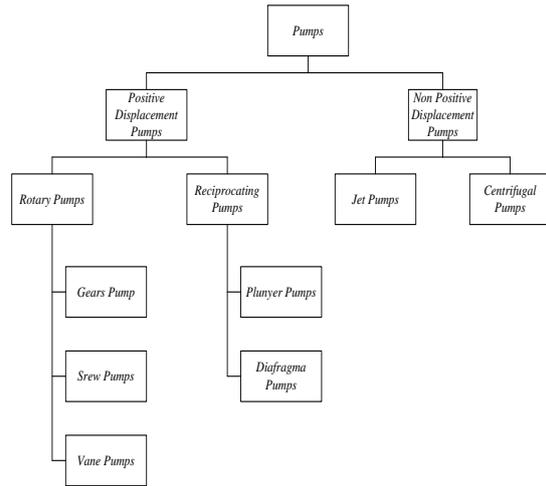
Sehingga efisiensi suatu sistem :

$$\eta = \frac{Output}{Input} \times 100\%$$

**Pompa**

**Pengertian umum**

Pompa adalah mesin fluida yang merupakan suatu mekanisme dimana tenaga luar yang diberikan dari poros penggerak digunakan untuk memberikan daya pada cairan yang dipompakan dalam bentuk tenaga potensial dan tenaga kinetis, sehingga cairan mengalir dari suatu tempat ke tempat yang lain. Pada dasarnya prinsip kerja pompa adalah menghisap dan melakukan penekanan terhadap fluida yang akan dipindahkan. Pada sisi hisap (*suction*) dari suatu elemen pompa akan menurunkan tekanan dalam ruang pompa sehingga akan terjadi perbedaan tekanan antara ruang pompa dengan permukaan fluida yang dihisap, akibatnya fluida akan mengalir ke ruang pompa yang kemudian fluida tersebut didorong dengan cara diberikan tekanan pada ruang pompa sehingga fluida akan mengalir keluar melalui saluran tekan (*discharge*), proses hisap dan penekanan pada pompa akan berlangsung secara terus – menerus selama pompa beroperasi. Pompa dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok seperti yang akan ditunjukkan pada Gambar 6. dibawah ini :

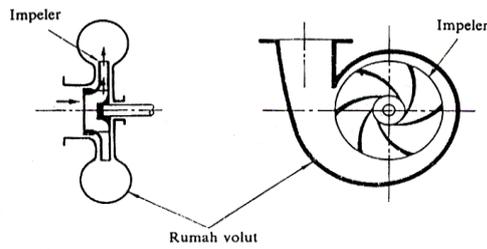


Gambar .6. Klasifikasi pompa

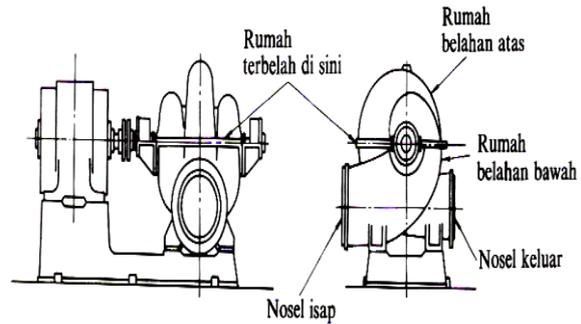
**Pompa Sentrifugal**

Pompa sentrifugal merupakan pompa yang bekerja dengan menggunakan gaya sentrifugal karena berputarnya *Impeller* di dalam rumah pompa (*Casing*), akibat dari berputarnya *Impeller* tersebut cairan akan mengalir masuk melalui saluran hisap (*Suction Line*) akan dilempar dengan kecepatan tinggi dan kemudian energi yang dihasilkan tersebut dikeluarkan melalui rumah keong (*Volute Casing*) ke saluran tekan (*Discharge Line*).

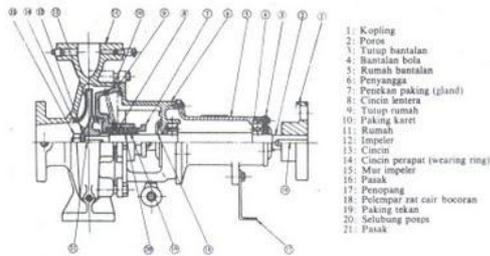
Pompa sentrifugal didesain dan dibuat sedemikian rupa oleh pabrik pembuatnya agar aliran zat cair yang keluar dari *Impeller* akan melalui bidang tegak lurus poros pompa. Poros pompa berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak pompa selama pompa tersebut beroperasi, selain itu poros pompa juga berfungsi sebagai tempat kedudukan *Impeller* dan bagian pompa yang bergerak lainnya, sehingga pada poros pompa terdapat *Impeller* dan pada salah satu ujung poros pompa lainnya dipasang sebuah kopleng untuk meneruskan daya dari penggerak pompa. Pada rumah pompa terdapat sebuah *paking* atau perapat, hal ini berfungsi untuk mencegah air yang terdapat di dalam rumah pompa membocor keluar pompa serta untuk mencegah udara luar masuk ke dalam pompa. Adapun komponen – komponen dan konstruksi pompa dapat dilihat pada gambar 7. dan 8.



Gambar 7. Pompa *volut* (rumah keong)



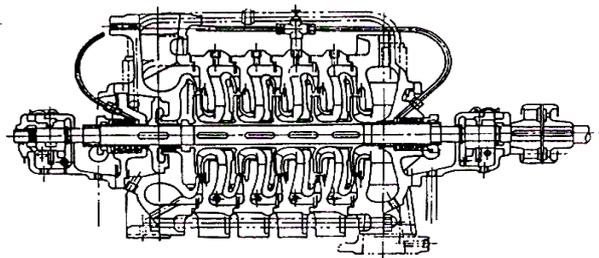
Gambar 9. Pompa bertingkat banyak



Gambar 8. Komponen – komponen pompa sentrifugal

**Klasifikasi menurut belahan rumah**

1. Pompa jenis belahan mendatar  
 Pompa ini mempunyai rumah yang dapat dibelah menjadi bagian bawah dan bagian atas oleh bidang atas oleh bidang mendatar yang melalui sumbu poros. Jenis pompa tersebut sering digunakan pada pompa berukuran menengah dan besar dengan poros mendatar.



Gambar 10. Pompa jenis belahan mendatar

**Klasifikasi berdasarkan jumlah tingkat**

- Pompa satu tingkat  
 Pompa ini hanya mempunyai sebuah Impeller seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.7 diatas. Pada umumnya *head* yang dihasilkan oleh pompa tersebut relatif rendah dan mempunyai konstruksi yang sederhana.
- Pompa bertingkat banyak  
 Pompa tersebut menggunakan lebih dari satu Impeller yang dipasang secara berderet (seri) pada satu poros pompa. Zat cair yang keluar dari Impeller tingkat pertama akan diteruskan ke Impeller tingkat kedua dan seterusnya hingga ke Impeller pada tingkat yang terakhir. *Head* total pompa pada bertingkat banyak merupakan penjumlahan *head* yang dihasilkan dari masing – masing Impeller, sehingga *head* total yang dihasilkan oleh pompa tersebut relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan pompa satu tingkat, namun pompa tersebut mempunyai konstruksi yang lebih rumit dan pada umumnya mempunyai ukuran yang lebih besar.

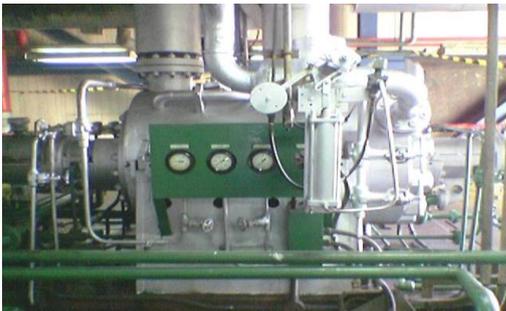
2. Pompa jenis belahan radial  
 Rumah pompa jenis ini terbagi oleh sebuah bidang yang tegak lurus poros, pada umumnya konstruksi pompa seperti ini sering digunakan untuk pompa – pompa kecil dengan poros mendatar. Jenis pompa tersebut juga sesuai untuk pompa berporos tegak dimana bagian – bagian yang berputar dapat dibongkar ke atas sepanjang poros.
3. Pompa jenis berderet  
 Jenis ini terdapat pada pompa bertingkat banyak, dimana rumah pompa terbagi oleh bidang – bidang tegak lurus poros sesuai dengan jumlah tingkat yang ada. Konstruksi seperti ini pada dasarnya mirip jenis belahan radial yang tidak mudah bocor oleh tekanan dari dalam. Selain itu masing – masing tingkat biasanya dibuat dengan bentuk dan ukuran yang sama sehingga dapat

disusun dalam jumlah yang sesuai untuk mendapatkan *head* total pompa yang dikehendaki.

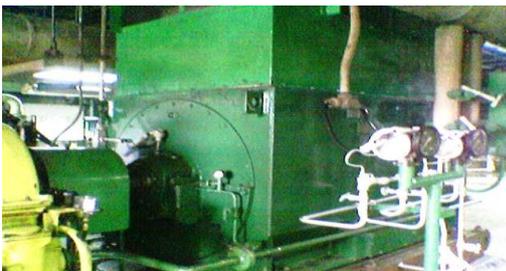
### **Boiler Feed Pump (BFP)**

*Boiler Feed Pump* atau yang biasa disebut Pompa Pengisi Ketel adalah sebuah pompa yang berfungsi sebagai penyuplai air pengisi dari *Deaerator* hingga ke *Boiler Steam Drum* melalui *High Pressure Heater* dan *Economizer*. Pompa pengisi ketel yang digunakan pada umumnya menggunakan jenis pompa sentrifugal bertingkat banyak dengan putaran tetap ataupun putaran bervariasi tergantung pada kondisi kebutuhan air yang digunakan. Penggunaan jumlah pompa tergantung pada kapasitas unit pembangkit atau dengan kata lain penggunaan pompa pengisi ketel pada tiap pembangkit jumlahnya berbeda – beda.

*Boiler Feed Pump* yang digunakan pada PLTU Muara Karang unit 5 terdiri dari 3 buah pompa dengan 2 buah pompa beroperasi (pada beban penuh) dan satu pompa cadangan. Pompa cadangan tersebut berfungsi sebagai pengganti pompa utama apabila mengalami kerusakan atau pada saat pompa utama menjalani pemeliharaan rutin. Selain itu unit penggerak yang digunakan pada *Boiler Feed Pump* PLTU Muara Karang unit 5 menggunakan motor listrik induksi 3 fasa seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.11. *Boiler Feed Pump* PLTU Muara Karang unit 5



Gambar 12. Motor listrik pengisi air ketel PLTU Muara Karang unit 5

BFP mempunyai beberapa perlengkapan lain yaitu :

1. Kelengkapan sisi hisap  
Sisi hisap BFP dilengkapi dengan katup isolasi baik berupa katup tangan maupun yang digerakkan oleh motor. BFP hanya boleh beroperasi bila katup ini dalam keadaan terbuka karena bila BFP beroperasi dalam keadaan katup hisap tertutup akan membahayakan pompa. Karena itu, katup ini biasanya dilengkapi dengan *limit switch* yang akan memberikan sinyal dimana sinyal ini merupakan salah satu syarat untuk start pompa.
2. Saringan sisi hisap (*suction strainer*)  
Pada sisi masuk, setelah katup sisi hisap dipasang saringan (*suction strainer*) yang berfungsi untuk menyaring partikel – partikel padat yang terbawa oleh cairan.
3. Katup – katup sisi tekan  
Seperti halnya sisi hisap, sisi tekan BFP juga dilengkapi katup isolasi. Selain itu juga dilengkapi katup searah (*check valve*) untuk mencegah aliran balik pada pompa.
4. Saluran pemanasan (*warming line*)  
Saluran pemanasan pada BFP berfungsi untuk menghangatkan (*warming*) pompa yang *standby* agar pada saat start, perbedaan temperatur pompa dengan temperatur air pengisi tidak terlalu besar lagi. Proses pemanasannya sendiri adalah dengan cara mengalirkan air pengisi dengan aliran yang sangat rendah secara kontinu kedalam pompa yang *standby*. Air yang digunakan dapat berasal dari sisi tekan BFP yang beroperasi atau dapat juga dari *Deaerator*.
5. Saluran air pancar (*Attemperator*)  
Beberapa ketel dilengkapi dengan peralatan pengatur uap dengan menggunakan air pancar (*Attemperator*). Air yang digunakan untuk keperluan tersebut juga berasal BFP. Saluran air pancar untuk *superheater* umumnya dicabangkan dari sisi tekan BFP. Sedangkan saluran air pancar untuk *reheat*, biasanya diekstrak dari tingkat tertentu pada BFP.
6. Sistem pelumasan  
Meningat ukuran BFP cukup besar, maka umumnya dilengkapi dengan sistem pelumasan sirkulasi bertekanan. Sistem tersebut terdiri dari tangki pelumas, pompa pelumas, pendingin minyak pelumas, saringan dan katup-katup pengatur. Pada

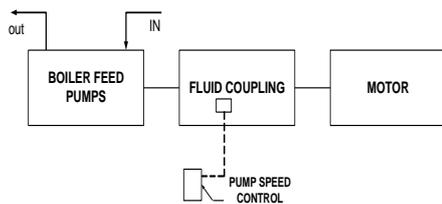
beberapa BFP terdapat 2 pompa pelumas yaitu pompa pelumas utama dan pompa pelumas bantu. Pompa pelumas utama digerakkan oleh poros pompa sedang pompa pelumas bantu digerakkan oleh motor listrik. Sebelum pompa beroperasi, pelumasan dipasok oleh pompa pelumas bantu. Setelah pompa berputar, tugas pelumasan diambil alih oleh pompa pelumas utama.

7. Sistem pengaturan aliran air pengisi
 

Pengaturan aliran air pengisi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya :

  - a. Pengaturan aliran dengan variasi putaran pompa melalui kopling fluida.
 

Dalam sistem pengaturan ini, penggerak pompa umumnya motor listrik dengan putaran konstan. Motor dihubungkan ke BFP dengan perantaraan kopling fluida. Dengan pengaturan kopling fluida, maka putaran BFP dapat dibuat variabel. Melalui variasi putaran BFP ini akan diperoleh variasi aliran air pengisi. Skema pengaturan ini dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Pengaturan aliran dengan menggunakan kopling fluida



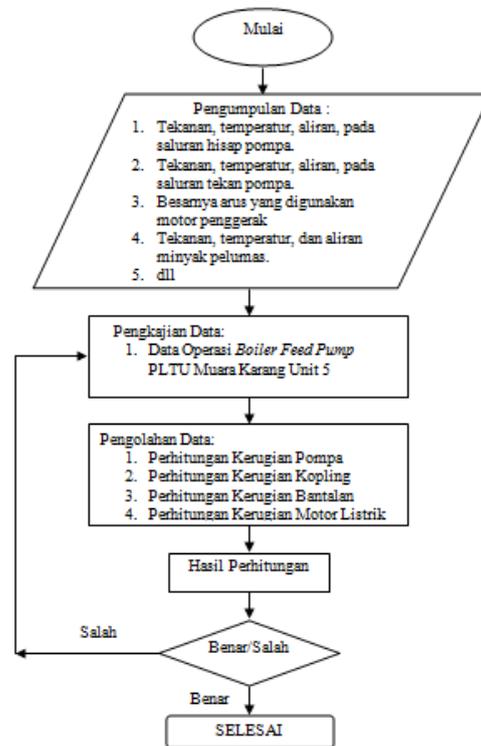
Gambar 14. Kopling yang digunakan pada PLTU Muara Karang unit 5.

- b. Saluran resirkulasi BFP
 

Pada saluran sisi tekan (*dischard*) BFP terdapat percabangan saluran yang disambungkan kembali ke *Deaerator*. Saluran ini disebut saluran Resirkulasi BFP yang fungsinya untuk memproteksi BFP dengan cara menjamin selalu ada

aliran air dari BFP dalam kondisi apapun juga. Saluran ini kadang disebut juga saluran minimum *flow*, pada saluran ini dipasang katup yang hanya mengenal dua posisi yaitu posisi tertutup penuh dan posisi buka penuh. Sinyal untuk menutup dan membuka katup ini biasanya berasal dari aliran air pengisi menuju ketel (*feed water flow*). Bila aliran menuju ketel rendah, maka katup resirkulasi akan membuka sehingga sebagian air didalam BFP akan mengalir melintasi resirkulasi dan kembali ke *Deaerator* sedangkan bila aliran air pengisi menuju ketel sudah cukup tinggi maka katup resirkulasi akan menutup.

### 3. METODE PENELITIAN



Gambar 15. Diagram alir penelitian

### 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### Pengolahan Data Operasi Pltu Muara Karang Unit 5

Tabel 1 merupakan hasil pengolahan data berdasarkan *performance test record unit/load* : 5/200MW tanggal 14 Desember 2010, *pump shop test record* pompa B, C tanggal 25 september 1978 dan *test report of three – phase*

induction motor tanggal 8 agustus 1978 yang terlampir pada halaman lampiran.

Tabel 1. Data operasi PLTU Muara Karang unit 5

No	Keterangan	Notasi	Data	Satuan
<b>Boiler Feed Pumps</b>				
1	Laju Aliran Massa Air Pengisi Boiler	$G_{Fw}$	635	t/hr
2	Tekanan air pengisi keluar Deaerator masuk BFP	$P_1$	9	kg/cm <sup>2</sup>
3	Temperatur air pengisi keluar Deaerator masuk BFP	$T_1$	163	°C
4	Entalpi keluar Deaerator masuk BFP	$h_{in}$	295,91	BTU/lb
5	Tekanan air pengisi keluar BFP masuk Heater 5E	$P_2$	150	kg/cm <sup>2</sup>
6	Temperatur air pengisi keluar BFP masuk Heater 5E	$T_2$	163	°C
7	Entalpi keluar BFP masuk Heater 5E	$h_{out}$	299,38	BTU/lb
8	Diameter dalam discharge line	$D_{od}$	160	mm
9	Diameter dalam suction line	$D_{os}$	200	mm
<b>Cooler</b>				
10	Laju aliran (Flow) air pendingin pada pendingin pelumas pompa B	$F_{ap}$	43	m <sup>3</sup> /s
11	Laju aliran (Flow) air pendingin pada pendingin pelumas pompa C	$F_{ap}$	42	m <sup>3</sup> /s
12	Suhu air pendingin masuk cooler pompa B	$T_{in}$	22	°C
13	Suhu air pendingin masuk cooler pompa C	$T_{in}$	21	°C
14	Suhu air pendingin keluar cooler pompa B	$T_{out}$	25	°C
15	Suhu air pendingin keluar cooler pompa C	$T_{out}$	27	°C
<b>Motor Listrik</b>				
<b>Operasi</b>				
16	Arus listrik motor BFP (A) Arus listrik motor BFP (B) Arus listrik motor BFP (C)	$I_{op}$ $I_{op}$ $I_{op}$	0 359,33 343,67	A A A
17	Tegangan motor BFP (A) Tegangan motor BFP (B) Tegangan motor BFP (C)	$V_{op}$ $V_{op}$ $V_{op}$	4.100 4.000 4.083,33	Volt Volt Volt
18	Faktor daya BFP (A) Faktor daya BFP (B) Faktor daya BFP (C)	PF PF PF	0,925 0,925 0,935	
19	Tahanan stator antar terminal	$R_1$	0,0564	Ω
20	Frekuensi motor listrik	$f$	50	Hz
21	Putaran sinkron motor listrik	$n_s$	1480	rpm
22	Jumlah kutub motor listrik (Pole)	$p$	4	
<b>Test tanpa beban (no-load test)</b>				
23	Arus listrik motor BFP	$I_0$	79,8	A
24	Frekuensi motor listrik	$f$	50	Hz
25	Tegangan motor	$V_{il}$	4000	Volt
26	Faktor daya	PF	0,088	

Faktor Konversi satuan :

- 1 kkal = 4,187 kJ
- 1 BTU/lb = 0,556 Kkal/kg
- 1 kJ = 0,00027778 kWh
- 1 Nm = 1 Joule
- 1 hour = 3600 second
- 0 °C = 273 °K
- 1 kJ/s = 1 kW
- kg/cm<sup>2</sup> = 0,980665 bar
- 1 ton = 1000 kg
- 1 m = 1000 mm
- 1 kg/cm<sup>2</sup> = 10.000 kg/m<sup>2</sup>

**Perhitungan Data Operasi**

**Perhitungan Daya Input Motor Listrik Pada Saat Operasi**

Menghitung daya input motor Listrik BFP ( $P_{in}$ ) dengan menggunakan rumusan (i) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$P_{in} (B) = 2302,79792 \text{ kW}$$

$$P_{in} (C) = 2.272,62793 \text{ kW}$$

$$\text{Total } P_{in} = P_{in} (B) + P_{in} (C)$$

$$= 4575,42585 \text{ kW}$$

**Perhitungan Kerugian Pada Motor Listrik Untuk Pompa B**

a. Perhitungan berdasarkan test tanpa beban (no-load test)

1. Perhitungan impedansi magnetisasi ( $Z_m$ ) dengan menggunakan rumusan (ii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$Z_m = (28,93986 < 84,9514^\circ) \Omega$$

2. Perhitungan hambatan magnetisasi ( $R_m$ ) dan reaktansi magnetisasi ( $X_m$ ) dengan menggunakan rumusan (ii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$R_m = 2,54682895 \Omega$$

$$X_m = 28,827525 \Omega$$

b. Perhitungan berdasarkan test rotor terkunci (lock test)

1. Perhitungan impedansi magnetisasi ( $Z_e$ ) dengan menggunakan rumusan (ii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$Z_e = (0,876815 < 77,9052^\circ) \Omega$$

2. Perhitungan hambatan ( $R_e$ ) dan reaktansi ( $X_e$ ) dengan menggunakan rumusan (ii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$R_e = 0,183718 \Omega$$

$$X_e = 0,8573516 \Omega$$

Pada tabel 1, diketahui nilai tahanan stator antar terminal  $R_1 = 0,0564 \Omega$ , maka besarnya  $R_1$  perfasa adalah :

$$R_1 \text{ perfasa} = \frac{R_1}{2}$$

$$R_1 \text{ perfasa} = 0,0282 \Omega$$

Maka besarnya  $R_2'$  didapat berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$R_2' = R_e - R_1$$

$$R_2' = 0,155518 \Omega$$

c. Perhitungan pada kerugian pada saat operasi

1. Perhitungan kerugian magnetisasi ( $P_m$ ) dengan menggunakan rumusan (ii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$P_m = 48.6549 \text{ Watt} = 48,65 \text{ kW}$$

2. Perhitungan kerugian tembaga pada kumparan stator dan rotor ( $P_{\text{cop}}$  stator dan rotor) dengan menggunakan rumusan (ii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$P_{\text{cop}} \text{ stator} = 10.923,3869 \text{ Watt} = 10,9233 \text{ kW}$$

$$P_{\text{cop}} \text{ rotor} = 50.906,4378 \text{ Watt} = 50,9064 \text{ kW}$$

Jadi total kerugian motor listrik pada saat operasi dengan arus input,  $I_{\text{op}} = 359,33 \text{ A}$  adalah sebagai berikut :

$$\text{Total kerugian } (P_{\text{loss}}) = P_m + P_{\text{cop}} \text{ stator} + P_{\text{cop}} \text{ rotor}$$

$$\text{Total kerugian } (P_{\text{loss}}) = 48,65 \text{ kW} + 10,9233 \text{ kW} + 50,9064 \text{ kW}$$

$$\text{Total kerugian } (P_{\text{loss}}) = 110,4797 \text{ kW}$$

$$\text{Kerugian dalam } \% = \frac{110,4797}{2.302,79792} \times 100 \% = 4,7976 \%$$

dimana :  $1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/s}$

maka

$$\text{Total kerugian pada motor untuk pompa B } (P_{\text{loss}}) = 110,4797 \text{ kJ/s}$$

### Perhitungan Kerugian Pada Motor Listrik Pompa C

- a. Perhitungan berdasarkan test tanpa beban (no-load test)

1. Perhitungan impedansi magnetisasi ( $Z_m$ ) dengan menggunakan rumusan (iii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$Z_m = (28,93986 < 84,9514^\circ) \Omega$$

2. Perhitungan hambatan magnetisasi ( $R_m$ ) dan reaktansi magnetisasi ( $X_m$ ) dengan menggunakan rumusan (iii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$R_m = 2,54682895 \Omega$$

$$X_m = 28,827525 \Omega$$

- b. Perhitungan berdasarkan test rotor terkunci (lock test)

1. Perhitungan impedansi magnetisasi ( $Z_e$ ) dengan menggunakan rumusan (iii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$Z_e = 0,876815 < 77,9052^\circ \Omega$$

2. Perhitungan hambatan ( $R_e$ ) dan reaktansi ( $X_e$ ) dengan menggunakan rumusan (iii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$R_e = 0,183718 \Omega$$

$$X_e = 0,8573516 \Omega$$

Pada tabel 1, diketahui nilai tahanan stator antar terminal  $R_1 = 0,0564 \Omega$ , maka besarnya  $R_1$  perfasa adalah :

$$R_1 \text{ perfasa} = \frac{R_1}{2}$$

$$R_1 \text{ perfasa} = 0,0282 \Omega$$

maka besarnya  $R_2'$  didapat berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$R_2' = R_e - R_1$$

$$R_2' = 0,155518 \Omega$$

- c. Perhitungan pada kerugian pada saat operasi

1. Perhitungan kerugian magnetisasi ( $P_m$ ) dengan menggunakan rumusan (iii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$P_m = 48.6549 \text{ Watt} = 48,65 \text{ kW}$$

2. Perhitungan kerugian tembaga pada kumparan stator dan rotor ( $P_{\text{cop}}$  stator dan rotor) dengan menggunakan rumusan (iii) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$P_{\text{cop}} \text{ stator} = 9.992,02722 \text{ Watt} = 9,992 \text{ kW}$$

$$P_{\text{cop}} \text{ rotor} = 46.929,33779 \text{ Watt} = 46,9293 \text{ kW}$$

Jadi total kerugian motor listrik pada saat operasi dengan arus input,  $I_{\text{op}} = 343,67 \text{ A}$  adalah sebagai berikut :

$$\text{Total kerugian } (P_{\text{loss}}) = P_m + P_{\text{cop}} \text{ stator} + P_{\text{cop}} \text{ rotor}$$

$$\text{Total kerugian } (P_{\text{loss}}) = 48,65 \text{ kW} + 9,992 \text{ kW} + 46,9293 \text{ kW}$$

$$\text{Total kerugian } (P_{\text{loss}}) = 105,5713 \text{ kW}$$

$$\text{Kerugian dalam } \% = \frac{105,5713}{2.272,62793} \times 100 \% = 4,6453 \%$$

Dimana :  $1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/s}$

maka :

Total kerugian pada motor untuk pompa C ( $P_{loss}$ ) = 105,5713 kJ/s

- d. Total kerugian pada motor untuk pompa B dan C adalah

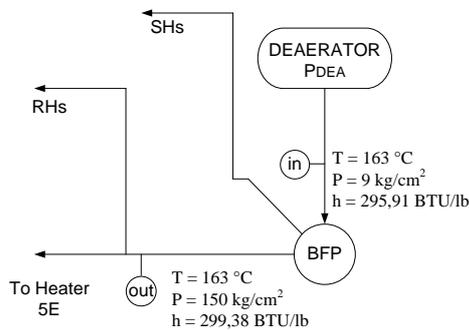
Total  $P_{loss}$  motor listrik =  $P_{loss}$  untuk pompa B +  $P_{loss}$  untuk pompa C

Total  $P_{loss}$  motor listrik = 110,4797 kW + 105,5713 kW

Total  $P_{loss}$  motor listrik = 216,051 kW = 216,051 kJ/s

Total  $P_{loss}$  motor listrik dalam % =  $\frac{216,051}{4.575,42585} \times 100 \% = 4,722 \%$

**Perhitungan Daya Air Pompa B dan C**



Gambar 16. Diagram Heat Balance PLTU Muara Karang unit 5

Dari Tabel 1 dan Gambar 16., maka besarnya daya air (Energi yang dibutuhkan untuk mengangkat air pengisi persatuan waktu) dapat dihitung dengan tahapan sebagai berikut :

1. Menghitung debit ( $F_{FW}$ ) air pengisi pada sisi masuk pompa (*suction*) dengan menggunakan rumusan (iv) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :  
 $F_{FW} = 0,1950 \text{ m}^3/\text{s}$
2. Menghitung kecepatan (V) aliran air pengisi sisi masuk pompa dengan menggunakan rumusan (iv) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut:  
 $V_s = 6,2070 \text{ m/s}$
3. Menghitung debit ( $F_{FW}$ ) air pengisi pada sisi keluar pompa (*discharge*) dengan menggunakan rumusan (iv) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :  
 $F_{FW} = 0,1932 \text{ m}^3/\text{s}$
4. Menghitung kecepatan (V) aliran air pengisi sisi keluar pompa dengan menggunakan rumusan (iv) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :  
 $V_d = 9,6089 \text{ m/s}$

5. Menghitung total *Head* pompa dengan menggunakan rumusan (iv) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut:  
 $H_{total} = 1.544,2549 \text{ m}$

6. Menghitung daya air pengisi dengan menggunakan rumusan (iv) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :  
 $P_w = 2.672,14 \text{ kW} = 2.672,14 \text{ kJ/s}$   
Daya air ( $P_w$ ) dalam (%)  
 $= \frac{2.672,14}{4.575,42585} \times 100 \% = 58,4019 \%$

**Perhitungan Kerugian Daya di Dalam Pompa B dan C**

Besarnya energi kalor yang diserap oleh air pengisi akibat adanya gesekan didalam pompa dapat dihitung dengan menggunakan rumusan (v) pada analisis data, diperoleh hasil sebagai berikut :

$Q_{air} = 1.424,8694 \text{ kJ/s} = 1.424,8694 \text{ kW}$   
 $Q_{air}$  dalam (%) =  $\frac{1.424,8694}{4.575,42585} \times 100 \% = 31,1418 \%$

**Menghitung Total Kerugian Daya**

Besarnya kerugian daya (energi persatuan waktu) yang tidak dapat diperhitungkan seperti radiasi, kerugian mekanis pada bantalan pompa, bantalan kopling, bantalan motor listrik, dan slip kopling, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$P_{in} = P_w + \text{Total loss}$   
 Keterangan :  
 $P_{in}$  = Daya masuk motor listrik (kW)  
 $P_w$  = Daya air keluar pompa (kW)  
 Total *loss* = Total kerugian yang terjadi di BFP (kW)  
 dimana :  
 Total *loss* =  $P_{loss}$  motor +  $P_{loss}$  pompa +  $P_{loss}$  yang tidak dapat diperhitungkan

Dari hasil perhitungan diatas, diketahui :  
 $P_{in} = 4575,42585 \text{ kW}$   
 $P_w = 2.671,0379 \text{ kW} = 2.671,0379 \text{ kJ/s}$

Maka :  
 $P_{in} = P_w + \text{Total loss}$   
 Total *loss* =  $P_{in} - P_w$   
 Total *loss* =  $4.575,42585 \text{ kW} - 2.672,14 \text{ kW}$   
 Total *loss* =  $1.903,2858 \text{ kW}$   
 Total *loss* dalam (%) =  $\frac{1.903,2858}{4.575,42585} \times 100 \%$   
 =  $41,597 \%$

Jadi dari perhitungan tersebut besarnya total kerugian yang tidak dapat diperhitungkan adalah sebagai berikut :

Total  $loss = P_{loss}$  motor +  $P_{loss}$  pompa +  $P_{loss}$  yang tidak dapat diperhitungkan

$P_{loss}$  yang tidak dapat diperhitungkan = Total  $loss - (P_{loss}$  motor +  $P_{loss}$  pompa)

$P_{loss}$  yang tidak dapat diperhitungkan = 1.903,2858 kW – (216,051 kW+1.424,8694 kW)

$P_{loss}$  yang tidak dapat diperhitungkan = 1.903,2858 kW – 1.640,9204 kW

$P_{loss}$  yang tidak dapat diperhitungkan = 262,3654 kW = 262,3654 kJ/s

$P_{loss}$  yang tidak dapat diperhitungkan (%) =  $\frac{262,3654}{4.575,42585} \times 100 \% = 5,7342 \%$

**Pengolahan Dan Analisis Perhitungan Data Operasi Tanggal 28 Juli 2011**

Tabel 2. merupakan hasil pengolahan data berdasarkan *performance test record unit/load* : 5/200MW yang tercatat setelah *overhaul* yaitu tanggal 28 Juli 2011, *pump shop test record* pompa B, C tanggal 25 september 1978 dan *test report of three – phase induction motor* tanggal 8 agustus 1978 yang terlampir pada halaman lampiran.

Tabel 2. Data operasi PLTU Muara Karang unit 5

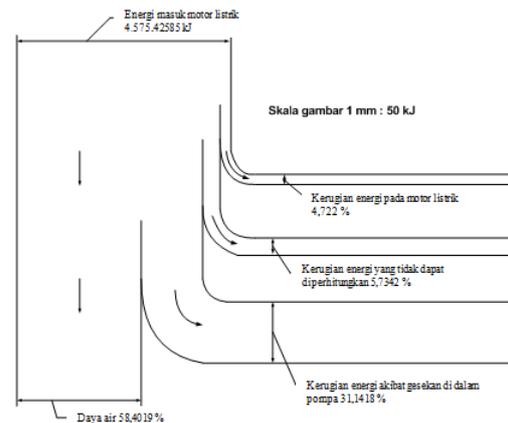
No	Keterangan	Notasi	Data	Satuan
<b>Boiler Feed Pumps</b>				
1	Laju Aliran Massa Air Pengisi Boiler	$G_{FW}$	638,33	t/hr
2	Tekanan air pengisi keluar Deaerator masuk BFP	$P_1$	8	kg/cm <sup>2</sup>
3	Temperatur air pengisi keluar Deaerator masuk BFP	$T_1$	160	°C
4	Entalpi keluar Deaerator masuk BFP	$h_{in}$	290,22	BTU/lb
5	Tekanan air pengisi keluar BFP masuk Heater 5E	$P_2$	155	kg/cm <sup>2</sup>
6	Temperatur air pengisi keluar BFP masuk Heater 5E	$T_2$	160	°C
7	Entalpi keluar BFP masuk Heater 5E	$h_{out}$	293,81	BTU/lb
8	Diameter dalam discharge line	$D_{0d}$	160	mm
9	Diameter dalam suction line	$D_{0s}$	200	mm
<b>Motor Listrik</b>				
<b>Operasi</b>				
10	Arus listrik motor BFP (A)	$I_{op}$	0	A
	Arus listrik motor BFP (B)	$I_{op}$	359,33	A
	Arus listrik motor BFP (C)	$I_{op}$	343,67	A
11	Tegangan motor BFP (A)	$V_{op}$	4.100	Volt
	Tegangan motor BFP (B)	$V_{op}$	4.000	Volt
	Tegangan motor BFP (C)	$V_{op}$	4.083,33	Volt
12	Faktor daya BFP (A)	PF	0,925	
	Faktor daya BFP (B)	PF	0,925	
	Faktor daya BFP (C)	PF	0,935	
13	Tahanan stator antar terminal	$R_1$	0,0564	$\Omega$
14	Frekuensi motor listrik	f	50	Hz
15	Putaran sinkron motor listrik	$n_s$	1480	rpm
16	Jumlah kutub motor listrik (Pole)	p	4	

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan hasil perhitungan pada BFP dengan menggunakan tahapan perhitungan seperti pada bab 3.2, yaitu sebagai berikut :

- Perhitungan daya input motor listrik pada saat operasi = 4.538,8154 kW
- Perhitungan total kerugian pada motor listrik untuk pompa B dan C = 214,02335 kW (4,7154 %)
- Perhitungan daya air pompa B dan C = 2.794,8244 (61,5760 %)
- Perhitungan kerugian daya di dalam pompa B dan C = 1.518,6934 (33,4601 %)
- Perhitungan total kerugian daya yang tidak dapat diperhitungkan = 11, 27425 kW (0,2484 %)

**Analisis Perhitungan**

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan data *performance test record unit/load* : 5/200MW tanggal 14 Desember 2010, *pump shop test record* pompa B, C tanggal 25 september 1978 dan *test report of three – phase induction motor* tanggal 8 agustus 1978 yang terlampir pada halaman lampiran, maka BFP PLTU Muara Karang unit 5 mempunyai kesetimbangan energi dalam waktu 1 detik dapat digambarkan melalui neraca energi dalam waktu 1 detik seperti pada Gambar 17 :

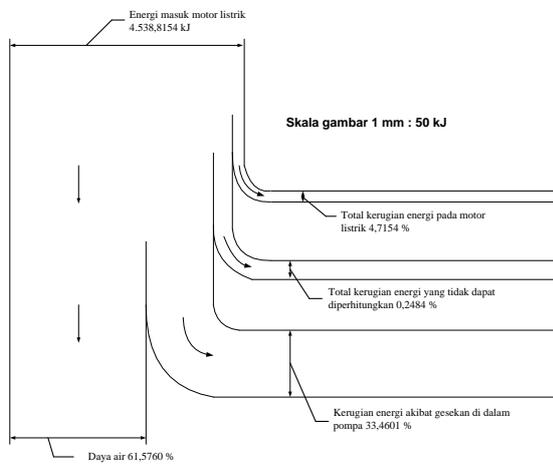


Gambar 17. Neraca energi dalam waktu 1 detik BFP PLTU Muara Karang unit 5

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan data *performance test record unit/load* : 5/200MW tanggal 28 Juli 2011, *pump shop test record* pompa B, C tanggal 25 september 1978 dan *test report of three – phase induction motor* tanggal 8 agustus 1978 yang terlampir pada halaman lampiran, maka BFP

Kerugian energi pompa 31,1418

PLTU Muara Karang unit 5 mempunyai kesetimbangan energi dalam waktu 1 detik dapat digambarkan melalui neraca energi dalam waktu 1 detik seperti pada Gambar 18 :



Gambar 18. Neraca energi dalam waktu 1 detik BFP PLTU Muara Karang unit 5

Berdasarkan neraca energi pada Gambar 17 (data operasi 14 desember 2010) telah terjadi penurunan efisiensi sebesar 3,1714 % terhadap neraca energi pada gambar 3 (data operasi 28 Juli 2011). Hal ini disebabkan karena adanya beberapa komponen pada BFP mengalami penurunan kinerja (bantalan dan kopling). Penurunan kinerja pada bantalan dapat disebabkan karena kurangnya suplai pelumas bantalan pada saat BFP beroperasi, dimana pelumas tersebut berfungsi untuk mengurangi gesekan dan penyerapan panas pada bantalan. Selain itu kurangnya suplai pelumas dapat menjadi faktor penyebab terjadinya penurunan kinerja dari kopling yang digunakan pada BFP. Hal ini disebabkan karena kopling yang digunakan pada BFP PLTU Muara Karang Unit 5 menggunakan *Voith Turbo Fluid Coupling* (kopling fluida), dimana pelumas pada kopling ini berfungsi sebagai media untuk proses pemindahan daya dari poros motor listrik ke poros pompa.

**Kesimpulan**

1. BFP yang beroperasi pada tanggal 14 Desember 2010 menggunakan dua buah pompa dari 3 buah pompa yang terpasang secara paralel yakni pompa B dan C. Besarnya total kerugian energi dari dua pompa yang beroperasi dalam waktu 1 detik adalah sebesar 1.903,2858 kJ (41,597 %) yang besarnya kerugian ini terdiri dari :

- a. Total kerugian energi dalam waktu 1 detik yang terjadi akibat kerugian tembaga dan kerugian magnetisasi dari buah motor listrik untuk pompa B dan C saat beroperasi yakni sebesar 216,051 kJ (4,722 %).
  - b. Total kerugian energi dalam waktu 1 detik yang terjadi akibat ada gesekan fluida di dalam pompa B dan C yakni sebesar 1.424,8694 kJ (31,1418 %).
  - c. Total kerugian energi dalam waktu 1 detik yang tidak dapat dihitung seperti kerugian pada bantalan pompa, bantalan kopling, bantalan motor, radiasi dan pelumas yang bekerja di dalam kopling yakni sebesar 262,3645 kJ (5,7342 %).
2. Besarnya total energi yang dibutuhkan dari dua buah motor listrik untuk menggerakkan pompa B dan C dalam waktu 1 detik adalah 4575,42585 kJ.
  3. Besarnya total energi yang dibutuhkan dari pengoperasian dari dua buah pompa B dan C untuk memindahkan air pengisi dari *deaerator* ke *steam drum* dalam waktu 1 detik adalah sebesar 2.472,14 kJ (58,4019 %).
  4. BFP yang beroperasi pada tanggal 28 Juli 2011 menggunakan dua buah pompa dari 3 buah pompa yang terpasang secara paralel yakni pompa B dan C. Besarnya total kerugian energi dari dua pompa yang beroperasi dalam waktu 1 detik adalah sebesar 1.743,991 kJ (38,424 %).
  5. Berdasarkan neraca energi pada gambar 4.4 (data operasi 14 desember 2010) telah terjadi penurunan efisiensi sebesar 3,1714 % terhadap neraca energi pada gambar 4.5 (data operasi 28 Juli 2011), Hal ini disebabkan karena adanya beberapa komponen pada BFP mengalami penurunan kinerja (bantalan dan kopling).
  6. Penurunan kinerja pada bantalan dapat disebabkan karena kurangnya suplai pelumas bantalan pada saat BFP beroperasi, dimana pelumas tersebut berfungsi untuk mengurangi gesekan dan penyerapan panas pada bantalan.
  7. Suplai pelumas dapat menjadi faktor penyebab terjadinya penurunan kinerja dari kopling yang digunakan pada BFP.

### Daftar Pustaka

Austin H. Church, terjemahan Ir. Zulkifli Harahap, *Pompa Dan Blower Sentrifugal*, Erlangga, 1993.

Black, & Veatch International Consulting Engineers. *Power Plant And Mechanical Fundamentals*. Part I. Jakarta. 1975.

Ir. Habib Rochani, MM. *Termodinamika*. Jakarta: STT-PLN. 2011.

Ir. Sularso, MSME, & Prof. DR. Haruo Tahara. *Pompa Dan Kompresor*. Edisi ke-3. Jakarta: PT. Pradnya Paramita. 1987.

Ir. Sularso, MSME, & Prof. Kiyokatsu Suga. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Edisi ke-11. Jakarta: PT. Pradnya Paramita. 2004.

M.Kostenko, L.Piotrovsky. *Electrical Machine*. vol 2. Moskow: Mir Publisher. 1974.

M.Kostenko, L.Piotrovsky. *Electrical Machine*. vol 1. Moskow: Mir Publisher. 1974.

Prof. Dipl. Ing. Fritz Dietzel, terjemahan Ir. Dakso Sriyono, *Turbin, Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, 1980.

R.s Khurmi, & J.K Gupta. *A Text Book of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House (Pvt) LTD. 1991.

Rochani, Habib. *Diktat Hidrolik dan Pneumatik*. Jakarta. 2004