

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Referensi terkait dengan analisis keandalan sistem dapat dilihat pada penelitian (Puradwi, 2000), melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Keandalan Komponen Dan Sistem RSG Gas Dengan Menggunakan *Data Base*”. Analisis dilakukan berdasarkan pada *data base* komponen dan sistem RSG-GAS yang telah dibuat yang diperoleh dari pengalaman operasi komponen dan data – data diambil dari “*Logbook*” operasi. Dengan data – data tersebut dapat dihitung parameter – parameter keandalan komponen. Hasil analisis keandalan komponen RSG dapat dilakukan. Harga rata – rata laju kegagalan diperoleh untuk pompa di “*Fuel Pool Purification System*” (FAK-AP) = $0,75 - 2,5 \cdot 10^{-4}$ /Jam, *Primary Cooling System* (JE01-AP) = $0,58 - 7,1 \cdot 10^{-4}$ /Jam, “*Secondary Cooling System*” (PA-AP) = $0,91 - 3,5 \cdot 10^{-4}$ /Jam dan Diesel (BRV) = $0,2 - 2,2 \cdot 10^{-2}$ /demand. Sedangkan dari kegagalan pompa berdasarkan IAEA – TECDOC-478 adalah $1 \cdot 10^{-6} - 2,9 \cdot 10^{-5}$ /Jam, untuk diesel adalah $2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}$ /demand.

(Palit, 2012), melakukan penelitian yang berjudul “Perancangan RCM untuk Mengurangi Downtime Mesin Pada Perusahaan *Manufaktur* Aluminium”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan target perusahaan yang belum tercapai karena sering terjadinya *downtime* pada line produksi mesin 2500 ton. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Dari penelitiannya didapatkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk nilai terbesar *valve* 324, *Rantai Roll Conveyor* 168, Sekring 136 dan terkecil adalah kabel sebesar 72.

(Hendra, 2012) ,melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Keandalan Pada *Fuel Oil System* PLTG Unit 2 Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) Di PT. PLN PLTD/G Teluk Lembu Pekanbaru”. Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk menganalisa keandalan pada *Fuel Oil System* Pada Pembangkit. Metode ini digunakan untuk mendapatkan mode–mode kegagalan dan

dampak dari kegagalan tersebut. Dari hasil penelitiannya didapatkan *Risk Priority Number* (RPN) untuk nilai terbesar adalah *Flow Divider* 8 Sebesar 100, *Fuel Nozzle* 10 sebesar 75, *Check Valve* 1 sebesar 60, *Flow Divider* 2 sebesar 60, *Check Valve* 9 sebesar 36, *Check Valve* 10 sebesar 36, *Selector Switch Flow Divider* sebesar 27, *Fuel Nozzle* 8 sebesar 24, *Flow Metter HSD* sebesar 20, *Sero Valve* sebesar 18 dan terkecil *Fuel Oil Pump* sebesar 12.

(Putradhi, 2013), melakukan penelitian yang berjudul “ *Analisa Safety Instrument System* dengan Metode FMEA dan FTA pada Turbin Uap Di PT PJB Unit Pembangkit Gresik”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan analisa keandalan dan *system safety* pada berpusat pada satu *equipment* yang terpenting dalam sistem pembangkit tenaga uap, apabila turbin gagal maka pembangkit listrik akan *trip*. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis*, metode ini untuk mendapatkan mode – mode kegagalan. Dari hasil penelitiannya didapatkan dari analisa *Risk Priority Number* (RPN) 100 dengan nilai terbesar dan memiliki frekuensi terbanyak adalah komponen *Main Stop Valve*. Karena memiliki sub komponen yang kompleks dan sangat penting dalam sistem *safety* turbin.

(Wahyunugraha, 2013) , melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Keandalan Pada *Boiler* PLTU Dengan Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa peralatan pada boiler dan sistem pendukungnya berdasarkan keandalan paling kecil didukung dengan *Risk Priority Number* (RPN) yang didapat dari analisa kualitatif. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA). Metode ini untuk menganalisa keandalan secara kualitatif yaitu menemukan kegagalan yang terjadi pada sistem serta efek yang ditimbulkan dan meminimalkan efek yang akan terjadi. Dari hasil penelitiannya didapatkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk nilai terbesar adalah *Gendbank Waltube* dengan nilai RPN 100, *Main Burner* 140, *Boiler Insulation* 48 dan nilai terkecil adalah *Furnace* sebesar 21.

(Dromiko, 2013) , melakukan penelitian yang berjudul “Analisa Gangguan Pada Peralatan *Pre-Cooler* PLTG Alsthom Unit 3 Keramasan”. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa keandalan unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan listrik pelanggan. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA). Metode ini untuk menganalisa keandalan secara kualitatif yaitu menemukan kegagalan yang terjadi pada sistem serta efek yang ditimbulkan dan meminimalkan efek yang akan terjadi. Hasil yang didapatkan dalam penelitian kali ini adalah suhu *pre-cooler* yang dihasilkan 110°C – 135°C.

(Nimas, 2014), melakukan penelitian yang berjudul “Analisa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Tipe LBC W-300* terhadap pengaruh temperatur lingkungan”. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja dan tingkat keandalan *Cooling Tower Induced Draft LBC W-300*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kalor dan massa. Analisa ini digunakan untuk menurunkan model matematis yang selanjutnya digunakan untuk mensimulasikan proses yang ada di *cooling tower*. Dari hasil penelitiannya didapat temperatur air keluaran *cooling tower* yang dipengaruhi oleh *dry bulb* dan *wet bulb* yang selalu berubah – ubah. Kinerja paling optimal di bulan September pukul 07.00 sebesar 27,91° C saat *temperature ambient dry bulb* 26,6° C. Pada musim hujan di bulan Februari 2013 kinerja *cooling tower* lebih maksimal. Temperatur air keluaran pukul 07.00 adalah 25,87°C, saat *temperature dry bulb* 25,5°C. Efisiensi *cooling tower* pada saat musim kemarau antara 41% sampai 72%, sedangkan pada musim hujan efisiensinya 60% sampai 80%. Kinerja *cooling tower* dapat di tingkatkan dengan cara meningkatkan kecepatan putaran *fan* sebesar 1550 rpm dan menurunkan laju aliran massa air menjadi 18,12 kg/s sehingga daya *fan* dapat ditingkatkan sebesar 7,96 KW serta efisiensi *cooling tower* akan naik menjadi 81,63%.

(Danung, 2014), melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Resiko Kegagalan Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Menggunakan *Risk*

Failure and Effect Analysis. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kegagalan operasional dan *trip event log* unit pertama PLTU PT.NNT .

(Shashank, 2015), melakukan penelitian yang berjudul “*Analysis of Counter Flow Induced Draft Cooling Tower using Taguchi Method*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui capaian nilai *maximum* pendinginan air *outlet* aliran counter diinduksi rancangan *cooling tower*. Percobaan yang direncanakan berdasarkan *Taguchi’s L9 ortogonal array*. Pada analisis ini menggunakan *signal-to-noise ratio (SIN) analysis*, *Analysis of Variance (ANOVA)* dan Regresi dilakukan untuk menentukan efek dari proses parameter pada suhu air *outlet cooling tower* dan untuk mengidentifikasi nilai faktor optimal pengaturan *counter* aliran diinduksi *draft cooling tower* berkerja cukup akurat dengan didapat nilai *outlet water temperature* dengan prediksi *Taguchi Method* 274°C ; *Regresi Method* 27,72°C dan nilai percobaan adalah 27,92°C.

(Hartono, 2016), melakukan penelitian yang berjudul “Analisis keandalan instrumentasi pada *cooling water system (CWS)* PLTG Unit 1 dan *Fuel Oil Supply (FOS)* PLTG unit 3 menggunakan metode *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*. Pada analisis ini diperoleh hasil penelitian bahwa instrumentasi *cooling water system* dan *Fuel Oil Supply* Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Bahwa instrumentasi dikatakan andal apabila nilai *Risk Priority Number (RPN)* kecil dari 200 atau bisa dikatakan tidak lebih 200.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dapat dibangun apabila terdapat debit air dan tinggi jatuh yang cukup sehingga kelayakan dapat tercapai. Pembangkit listrik tenaga air bertujuan untuk mengubah energi potensial air menjadi energi listrik dimana proses perubahannya adalah energi yang terkandung di dalam suatu fluida ialah energi potensial dalam proses aliran dalam pipa, energi potensial berangsur – angsur berubah menjadi kinetik, di dalam turbin energi kinetik air

berubah menjadi energi mekanik. Daya dari energi mekanik diteruskan lewat poros generator sehingga berubah menjadi energi listrik. PLTA yang paling konvensional mempunyai empat komponen utama sebagai berikut :

2.2.1.1 Waduk

Waduk berfungsi untuk menaikkan permukaan air sungai untuk menciptakan tinggi jatuh air. Selain menyimpan air, waduk juga dibangun dengan tujuan untuk menyimpan energi. Waduk menampung air waktu musim hujan atau selama jam beban kurang untuk persediaan dan pemakaian air pada musim kemarau atau waktu beban puncak. Waduk digunakan untuk merencanakan penambahan tenaga listrik dari pusat listriknya sendiri dan pusat listrik lainnya di bagian hilir. Waduk memungkinkan untuk pengaturan aliran air sungai secara musiman dan dapat dibedakan dengan kolam pengatur dari perbandingan pengaturan tahunan (*yearly regulating ratio*, yaitu perbandingan dari jumlah cadangan dan aliran masuk tahunan); atau dari jumlah penyediaan air, yaitu hari kerja dengan beban penuh dimungkinkan. Dalam sistem tenaga listrik yang menggunakan tenaga air, pusat listrik jenis waduk memegang peranan dalam penyediaan air pada musim kemarau. Dalam sistem tenaga listrik yang menggunakan tenaga termis, tugas pusat listrik jenis waduk adalah untuk menyediakan daya (KW) secara stabil sepanjang tahun, yaitu sebagai penyediaan pada waktu pusat listrik tidak bekerja, penyediaan pada waktu beban puncak, dan lain sebagainya. Waduk Pembangkit Listrik Tenaga Air PB.Soedirman terletak di hulu sungai serayu, Kabupaten Banjarnegara. Waduk Mrica ini digunakan sebagai penampung air aliran sungai Serayu dan untuk pengendali banjir aliran saat musim hujan. Data – data teknik waduk pembangkit listrik tenaga air PB.Soedirman dapat dilihat pada tabel 2.1 :



Gambar 2.1 Waduk Mrica Banjarnegara
(bolehtanya.com, 2017)

Tabel 2.1 Data Teknik Waduk PLTA PB.Soedirman

Luas daerah tangkapan	1022 km ²
Curah hujan rata-rata/tahun	3900 mm
Luas genangan (elevasi 235m)	12,5 km ²
Muka air puncak	234,5 m
Muka air <i>maksimum</i> operasi	231 m
Muka air <i>minimum</i> operasi	224,5 m
Volume <i>efektif</i>	47.000.000 m ³
Volume <i>non efektif</i>	110.000.000 m ³
Volume Keseluruhan	165.000.000 m ³
<i>Inflow</i> air rata-rata/tahun	3,007 x 10 m ³
<i>Outflow</i> air rata-rata/tahun	2,550 x 10 m ³

(Sumber : spesifikasi alat PLTA PB.Soedirman)

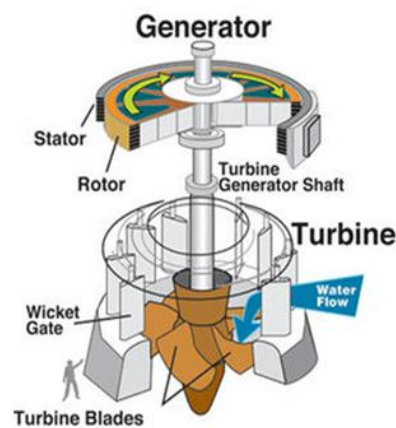
2.2.1.2 Turbin

Gaya jatuh air yang mendorong baling – baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi mendorong angin untuk memutar baling – baling digantikan air untuk memutar turbin selanjutnya turbin mengubah energi kinetik yang disebabkan gaya jatuh air menjadi energi mekanik. Salah satu jenis turbin yang digunakan di PLTA adalah jenis *Vertical Francis Turbin* (Gambar 2.2) . Turbin Francis adalah turbin dimana air mengalir ke rotor dengan arah *radial* dan keluar dengan arah *axial* ; perubahan arah terjadi sambil melewati rotor. Turbin francis dipakai untuk berbagai keperluan (*wide range*) dengan tinggi terjun menengah (*medium head*). Rumah siput (*scroll case*) dibuat dari plat baja, baja cor, atau besi cor sesuai dengan tinggi terjun dan kapasitasnya dan bertugas menahan bagian terbesar dari beban hidrolis yang diterima oleh turbin. Tekanan selebihnya ditahan oleh sudu kukuh (*stay vane*) atau cincin kukuh (*stay ring*). Sudu – sudu antar (*guide vane*) diatur di sekeliling luar rotor (*runner*) dan mengatur daya keluar (*output*) turbin dengan mengubah bukaan yang sesuai dengan perubahan beban, melalui mekanisme pengatur. Data teknik turbin air di PLTA PB.Soedirman dapat dilihat pada tabel 2.2 :

Tabel 2.2 Data Teknik Turbin Air PLTA PB.Soedirman

Pabrik	Boving
Tipe	Francis poros tegak
Diameter Kerongkongan	2985 mm
Material	Cast S.S ASTM.A 296,CA.6 NM
Berat	15.500 kg
Jumlah Sudu	24 Buah
Putaran Sinkron	231 rpm
Penghentian Cepat	127 rpm
Putaran Jatuh / <i>trip</i>	361 rpm
Putaran Liar	388 rpm
<i>Maximum up thrust</i>	9 ton
<i>Maximum down thrust</i>	85 ton
<i>Normal down thrust</i>	105 ton

(Sumber : spesifikasi alat PLTA PB.Soedirman)



Gambar 2.2 *Vertical Francise Turbin*
(energy.org, 2017)

2.2.1.3 Generator

Generator adalah salah satu alat yang berfungsi sebagai pembangkit daya. Secara konstruksi merupakan peralatan yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik.

Prinsip kerja generator adalah tegangan yang dibangkitkan oleh generator sinkron yang berdasarkan prinsip kerjanya induksi elektromagnetik. Putaran rotor generator dalam medan magnet listrik akan menimbulkan *fluks* magnet yang berputar. Putaran rotor akan menimbulkan tegangan induksi pada kawat gulungan stator.

Desain generator pada pembangkitan daya dapat meningkatkan kualitas besaran *output* daya listrik dengan mengurangi besar dan bentuk dari generator. Hal ini berhubungan dengan konstruksi perpindahan panas (sirkulasi udara) dan pendingin hantaran pada *rotor* maupun *stator*. Selain itu juga akan memudahkan dalam transportasi dan pengangkutan menjadi lebih mudah. Generator PLTA PB.Soedirman merupakan generator *sinkron* tipe *full umbrella* (*thrust bearing* dan *guide bearing* berada di bawah rotor) dengan *vertical shaft* yang dikopel langsung dengan turbin francis di bawahnya. Statornya berbentuk *octagonal*. Rangkanya terbuat dari elemen – elemen plat baja melingkar dan dilaminasi yang menempel kuat pada pondasi rumah pembangkit. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar kondisinya tetap dan tidak bergeser bila terjadi getaran atau gangguan. Kedua sisi pelat diisolasi dengan vernis tahan panas dan diikat kuat pada rangka *stator* pengunci sambungan.

Tegangan pada penyusunan pelat baja dibuat secara berlapis – lapis untuk mengurangi rugi – rugi *histeresis* akibat panas dan arus eddy. Pada sekeliling inti *stator* bagian dalamnya dilengkapi alur (*slot*) sebagai tempat kedudukan hantaran belitan *stator*. Pada setiap ketebalan 50 – 60 mm lapisan tersebut diberi celah udara sebagai sirkulasi udara pendingin dan untuk mengurangi *noise*. Kumbaran *stator* dan belitannya terbuat dari tembaga dengan kualitas dan konduktivitas tinggi. Setiap untai dari kawat konduktor diisolasi dengan benang atau pita mika dan diperkuat dengan *impregnasi* dengan *Epoksin Resin* atau *Thermosetting Damar Epoxy* sehingga kawat lebih rapat, kuat dan padat.

Untuk pengamanan terhadap gangguan yang bersifat kimiawi, pada masukan alur dilapisi dengan *Grafit Glytol Languer*. Hal ini untuk mempermudah pemasangan serta kepastian kontak yang baik antara permukaan penyekat dari *polyester* yang dicampur karet *silicon* yang dibelitkan pada kumbaran. Semua ujung belitan tersebut dijepit untuk menahan tekanan bila terjadi gangguan (hubungan singkat dengan tanah) dengan alat penjepit yang terdiri dari *polyester*. Penjepit tersebut dijalin antar lilitan atas dengan bawah sehingga berbentuk keranjang

kokoh, dan selang tersebut dimasukkan bersama *damar epoxy* dengan penekanan. Di antara dua sisi lilitan terdapat peralatan detektor temperatur jenis RTD PT 100.

Rotor generator ini tersusun atas lempengan pelat baja pejal yang tebalnya 3,2 – 6,00 mm yang disusun berlapis – lapis yang mudah dilepas – lepas untuk memudahkan pengangkutan. Selain itu untuk mengurangi rugi – rugi inti arus eddy seperti halnya rotor. Lingkaran rotor diatur seperti laba – laba dengan jalur mengatur setiap bagian sambungan dari lapisan satu per satu, sehingga merupakan sebuah lingkaran yang diikat dengan baut – baut pengikat yang sedemikian rupa sehingga kuat terhadap getaran. Inti rotor dilengkapi sebuah kutub yang masing – masing dililitkan kumparan medan. Lapisan kumparan disekat dengan bahan isolasi kelas F yang merupakan isolasi yang tertinggi, tahan terhadap panas yang tinggi serta mampu menahan gaya sentrifugal pada stator saat rotor berputar.

Stator dan *rotor* didinginkan dengan udara yang disirkulasikan tertutup. Udara panas yang keluar dari *stator* dan *rotor* dialirkan melalui delapan buah radiator. Dalam radiator inilah udara panas didinginkan oleh air pendingin. Kemudian udara dingin dialirkan kembali melalui celah – celah *stator* dan *rotor*. Demikian seterusnya, sementara pendingin bantalan (*thrust bearing* dan *guide bearing*) adalah oli. Selain sebagai pendingin sebenarnya tugas utama oli ini sebagai pelumas bantalan tersebut. Untuk memperkuat medan magnet pada kutub – kutub magnet sehingga pada *rotor* terjadi pemotongan *fluks* listrik yang mampu menginduksi tegangan pada kumparan *stator*, maka pada *rotor* terdapat kumparan medan yang disebut dengan sistem eksitasi. Pada saat baru beroperasi eksitasi diambil dari baterai dan setelah generator beroperasi dan menghasilkan energi listrik maka eksitasi diambil dari generator itu sendiri. Selain itu ada pula kumparan perendam yang terbuat dari bahan tembaga yang ujungnya dihubungkan dengan sebuah *ring* tembaga. Kumparan perendam ini terletak pada ujung kutub, serta diletakkan pada alur yang telah disediakan. Fungsinya adalah :

a. Mencegah guncangan seketika.

- b. Merendam frekuensi harmonis yang lebih tinggi dari pada tegangan pada saat hubung singkat.
- c. Memperbaiki stabilitas sistem.
- d. Menambah kecepatan karena terjadi hubungan antara *fluks* yang dibangkitkan dengan torsi putaran sehingga mengurangi gangguan sistem.

Rumah generator terbuat dari lembaran bahan yang ditopang dengan ruji yang berbentuk tabung. Fungsinya untuk melindungi dari gangguan lingkungan, misalnya debu, air dan gangguan mekanis lain. Karena itu dibuat sekuat dan serapat mungkin di samping sebagai pendingin. Data teknis generator PLTA PB.Soedirman dapat dilihat pada tabel 2.3 :

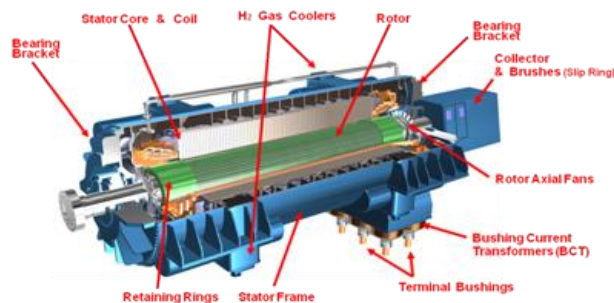
Tabel 2.3 Data Teknis Generator PLTA PB.Soedirman

Merk / Pabrik	ASEA/ASEA, Swedia 1986
Jumlah	3
<i>Power Factor</i>	0,9
Frekuensi	50 Hz
Tegangan nominal	13,8 KV \pm 5% Y
<i>Rated Speed</i>	230,8 rpm
Putaran maksimum	388 rpm
<i>Flywheel effect (GD²)</i>	5100 tm ²
Konstanta inersia	5,5 Ws/VA
Kelas Isolator	<i>Stator F,Rotor F</i>
<i>Generator Shaft dia</i>	0,66 m
<i>Exciter Shaft dia</i>	0,343 m
<i>Neutral ground resistance</i>	850 ohm
<i>Diameter nominal rotor</i>	6,253 m
<i>Direct axis synchronous reactance</i>	109%
<i>Negative phase sequence reactance</i>	22%
<i>Zero sequence reactance</i>	13%
<i>Short circuit ratio (SCR)</i>	0,97
<i>Rated Capacity</i>	67010 KVA
Keluaran untuk mekanik <i>design</i>	60809 KW
<i>Stator Current</i>	2803 A
<i>Excitation</i>	160 V, 1170 A
Arah Putaran	Searah jarum jam
Tahanan lilitan <i>rotor</i>	0,095 ohm
Tahanan lilitan <i>stator</i>	0,0083 ohm
Pendinginan air (<i>max</i>)	30°C
Pendinginan udara (<i>max</i>)	40°C

Lanjutan Tabel 2.4 Data Teknis Generator PLTA PB.Soedirman

Merk / Pabrik	ASEA/ASEA, Swedia 1986
Rugi gesekan (normal)	372 KW
Rugi inti besi (normal)	208 KW
Rugi Eksistasi (normal)	159 KW
Penyimpanan Tenaga	5%
Berat	211 ton

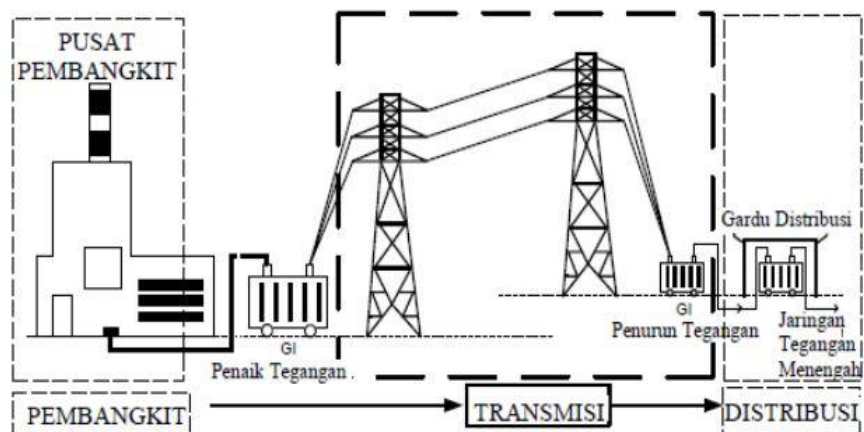
(Sumber : spesifikasi alat PLTA PB.Soedirman)



Gambar 2.3 Generator
(energy.org, 2017)

2.2.1.4 Jalur Transmisi

Jalur transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*power plant*) hingga saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga bisa disalurkan dari PLTA menuju rumah – rumah dan pusat industri.



Gambar 2.4 Skema Jalur Transmisi
(energy.org, 2017)

2.2.2 Aliran Sungai (Debit)

Aliran sungai atau debit adalah jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya oleh curah hujan, keadaan geologi, flora, temperatur, dan lain – lain. Debit selalu berubah dari musim ke musim dan dari hari ke hari. Kecenderungan karakteristik dan besarnya debit secara kasar dapat diketahui dengan pengamatan dalam jangka waktu yang lama. Pengukuran debit sungai sangat penting untuk menentukan tenaga yang dihasilkan oleh pusat listrik tenaga air.

2.2.3 Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang mengalir, *fluida* mencakup zat air dan gas dimana kedua zat ini dapat mengalir, sebaliknya zat yang padat tidak digolongkan sebagai *fluida* karena tidak bisa mengalir. Semua zat dapat dikelompokkan ke dalam *fluida* karena sifatnya dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain. *Fluida* dapat kita bagi menjadi *fluida* statis dan *fluida* dinamis.

2.2.3.1 Fluida Statis

Fluida statis merupakan suatu *fluida* yang berada dalam *fase* tidak bergerak (diam) atau *fluida* dalam keadaan bergerak tetapi tidak ada perbedaan kecepatan antar partikel *fluida* tersebut atau partikel – partikel *fluida* tersebut bergerak dengan kecepatan seragam sehingga tidak memiliki gaya geser.

Fenomena *fluida* statis dapat dibagi menjadi statis sederhana dan tidak sederhana. Contoh *fluida* yang diam secara sederhana adalah air di bak yang tidak dikenai oleh gaya apapun, seperti gaya angin, panas, dan lain – lain yang mengakibatkan air tersebut bergerak. *Fluida statis* yang tidak sederhana adalah air sungai yang memiliki kecepatan seragam pada tiap partikel di berbagai lapisan dari permukaan sampai dasar sungai. Sifat – sifat *fluida* dapat ditentukan dan dipahami saat *fluida* berada dalam keadaan diam (*statis*). Sifat – sifat fisis *fluida statis* ini di antaranya adalah massa jenis, tegangan permukaan, *kapilaritas* dan *viskositas*.

a. Massa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap *volume*nya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki *volume* yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Satuan SI massa jenis adalah kilogram per meter kubik ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Massa jenis berfungsi untuk menentukan suatu zat. Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda, dan satu zat massa dan *volume* berapapun akan memiliki massa jenis yang sama. Beberapa bahan dan massa jenisnya dapat dilihat dari table berikut :

Tabel 2.5 Massa Jenis atau Kerapatan Massa (Density)

Bahan	Massa Jenis (g/cm^3)	Nama Bahan	Massa Jenis (g/cm^3)
Air	1,00	Gliserin	1,26
Alumunium	2,7	Kuningan	8,6
Baja	7,8	Perak	10,5
Benzena	0,9	Platina	21,4
Besi	7,8	Raksa	13,6
Emas	19,3	Tembaga	8,9
Es	0,92	Timah Hitam	11,3
Etil Alkohol	0,81	Udara	0,0012

(energy.org, 2017)

2.2.3.2 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan adalah kecenderungan permukaan zat cair untuk menegang, sehingga permukaannya seperti ditutupi oleh suatu lapisan elastis. Tegangan permukaan disebabkan oleh interaksi molekul – molekul zat cair di permukaan zat cair. Di bagian dalam zat cairan sebuah molekul dikelilingi oleh molekul lain di sekitarnya, tetapi di permukaan cairan tidak ada molekul lain di bagian atas molekul cairan itu. Hal ini menyebabkan timbulnya gaya pemulih yang menarik molekul apabila molekul itu dinaikkan menjauhi permukaan, oleh molekul yang ada di bagian bawah permukaan cairan. Sebaliknya jika molekul di permukaan cairan ditekan, dalam hal ini diberi jarum atau silet, molekul bagian bawah permukaan akan memberikan gaya pemulih yang arahnya ke atas, sehingga gaya pemulih yang arahnya ke atas, sehingga gaya pemulih ke atas ini dapat menopang

jarum atau silet tetap di permukaan air tanpa tenggelam. Gaya ke atas untuk menopang jarum atau silet agar tidak tenggelam merupakan perkalian koefisien tegangan permukaan dengan dua kali panjang jarum. Panjang jarum disini adalah permukaan yang bersentuhan dengan zat cair.

2.2.3.3 Kapilaritas

Tegangan permukaan juga mempunyai peranan dalam fenomena menarik, yaitu kapilaritas. Kapilaritas adalah gejala naik turunnya zat cair dalam pipa kapiler. Penyebab dari gejala kapiler adalah adanya *adhesi* dan *kohesi*. *Adhesi* adalah gaya tarik menarik antar molekul yang berbeda jenisnya, gaya ini menyebabkan antara zat satu dengan yang lain dapat menempel dengan baik karena molekulnya saling tarik menarik atau merekat. *Kohesi* adalah gaya tarik menarik antar molekul yang sama jenisnya. Pada gejala kapilaritas pada air, air dalam pipa kapiler naik karena *adhesi* antara partikel air dengan kaca lebih besar daripada *kohesi* antar partikel airnya.

2.2.3.4 Viskositas

Viskositas merupakan pengukuran dari ketahanan fluida yang diubah baik dengan tekanan maupun tegangan. *Viskositas* adalah ketebalan atau gesekan *internal*. Oleh karena itu air yang tipis memiliki *viskositas* yang lebih tinggi. Semakin rendah *viskositas* suatu *fluida* maka semakin besar juga pergerakan dari fluida tersebut. *Viskositas* menjelaskan ketahanan *internal* fluida untuk mengalir dan mungkin dapat dipikirkan sebagai pengukuran pergeseran *fluida*. Seluruh *fluida* (kecuali *superfluida*) memiliki ketahanan dari tekanan dan oleh karena itu disebut kental, tetapi *fluida* yang tidak memiliki ketahanan tekanan dan tegangan disebut *fluida ideal*.

2.2.3.5 Fluida Dinamis

Fluida dinamis adalah *fluida* yang bergerak. Fluida disini dianggap mempunyai kecepatan yang konstan terhadap waktu (*steady*), tak termampatkan, tidak kental, tidak mengalami putaran – putaran (tidak *turbulen*).

2.2.4 Sistem Pendingin

Sistem pendingin merupakan salah satu sistem yang sangat penting pada suatu mesin karena digunakan untuk menjaga temperatur dari suatu peralatan supaya tetap pada nominal kerjanya. Pembakaran bahan bakar dalam suatu *silinder* mesin menyalurkan energi panas ke dalam bentuk tenaga putar. Tetapi energi panas yang dikonversikan ke dalam bentuk tenaga. Hanya kurang lebih 25% dari energi yang dikonversikan menjadi tenaga. Kurang lebih 45% dari energi panas hilang menjadi gas buang atau gesekan dan 30% diserap oleh mesin itu sendiri. Panas yang diserap oleh mesin harus dikeluarkan ke udara sekeliling. Jika tidak maka akan menyebabkan mesin menjadi kelebihan panas dan akhirnya rusak. Sistem pendingin dipasang pada mesin agar tidak kelebihan panas. Pada pendinginan mesin biasanya menggunakan sistem pendingin udara atau pendingin air.

Pada umumnya mesin menggunakan sistem pendingin air. Sistem pendingin air lebih sulit dan mahal dari pada sistem pendingin udara, akan tetapi sistem pendinginan dengan air mempunyai beberapa keuntungan yaitu air pendingin lebih aman sebab ruang pembakaran dikelilingi oleh air pendingin (air ditambah macam – macam adiktif), yang juga sebagai peredam suara. Sistem pendinginan yang biasa digunakan pada motor bakar ada dua macam yaitu : (Maleev, 1982)

2.2.4.1 Sistem Pendinginan Udara (*Air Cooling System*)

Pada sistem pendinginan pada jenis udara, panas yang dihasilkan dari pembakaran gas dalam ruang bakar dan silinder sebagian dirambatkan keluar dengan sirip – sirip pendingin yang dipasangkan di bagian luar dari silinder dan ruang bakar. Panas yang dihasilkan ini selanjutnya diserap oleh udara luar yang memiliki temperatur yang jauh lebih rendah daripada temperatur yang lebih rendah daripada temperatur pada sirip pendingin. Bagian mesin yang memiliki temperatur tinggi memiliki sirip pendinginan yang lebih panjang daripada sirip pendingin yang terdapat di sekitar silinder yang bertemperatur lebih rendah. Udara yang berfungsi menyerap panas dari sirip – sirip pendingin harus berbentuk aliran atau harus

mengalir, hal ini dimaksudkan agar temperatur udara sekitar sirip lebih rendah sehingga penyerapan panas tetap berlangsung secara baik. Untuk menciptakan aliran keadaan itu maka aliran udara harus dibuat dengan jalan menciptakan gerakan relatif antara sirip dengan udara. Ada dua kemungkinan yang terjadi yaitu: apabila sirip pendingin yang digerakan berarti mesinnya bergerak seperti mesin-mesin yang dipakai sepeda motor secara umum. Untuk mesin – mesin yang secara konstruksi diam / *stasioner* dan mesin–mesin yang penempatannya sedemikian rupa sehingga sulit untuk mendapatkan aliran udara, udara yang dibutuhkan diciptakan dengan cara dihembuskan oleh *blower* yang dihubungkan langsung dengan poros engkol hasil putaran akibat langkah kerja siklus motor bakar. Penghembusan oleh *blower* hasil putaran poros engkol juga akan menciptakan aliran udara yang sebanding dengan kecepatan mesin sehingga pendinginan sempurna dapat terjadi pada mesin tersebut. (Maleev, 1982)

2.2.4.2 Sistem pendinginan air (*Water Cooling System*)

Sistem pendinginan air panas yang berasal yang berasal dari pembakaran gas dalam ruang bakar dan silinder sebagian diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi melalui dinding silinder dan ruang bakar. Keadaan ini dapat terjadi karena adanya mantel air pendingin (*water jacket*). Panas yang diserap oleh air pendingin pada mantel – mantel air selanjutnya akan menaikkan temperatur air tersebut. Jika air pendingin itu tetap berada pada *water jacket* maka air itu cenderung akan mendidih dan menguap. Hal tersebut sangat merugikan, oleh karena itu untuk menghindarinya air tersebut disirkulasikan. Air yang memiliki temperatur yang masih dingin dialirkan mengganti air yang memiliki temperatur yang lebih panas dengan kata lain air yang lebih panas dialirkan keluar. (Maleev, 1982)

2.2.5 Sirkulasi Sistem Pendingin

Sirkulasi sistem pendingin air secara garis besar ada 2 macam yaitu :

2.2.5.1 Sirkulasi Alam (*Natural Circulation*)

Sirkulasi pendinginan pada sirkulasi jenis ini, akan terjadi dengan sendirinya yang diakibatkan perbedaan berat jenis air panas dengan yang masih dingin, dimana air yang telah panas berat jenisnya lebih rendah daripada air yang masih dingin. Contohnya motor diesel silinder tunggal *horizontal* berpendingin air. Pada saat air dalam tangki dipanaskan, maka air yang telah panas akan menempati bagian atas dari tangki dan mendesak air yang berada di atasnya segera mengalir ke pipa, air yang mengalir memasuki bagian bawah dari tangki dimana setelah dipanaskan air akan mengalir ke atas. (Maleev, 1982)

Air yang berada di dalam tangki pada mesin disamakan dengan air yang berada pada mantel – mantel air. Panas diambil dari panas hasil pembakaran di dalam silinder. Radiator diubah untuk mengubah temperatur air pendingin yang panas menjadi lebih dingin, maka sebagai pembuang panas air yang berada di dalam mantel – mantel air dipanaskan oleh hasil pembakaran di dalam silinder dan ruang bakar sehingga air tadi akan di desak ke atas oleh air yang masih dingin dari radiator. Air yang panas akan mengalir dengan sendirinya ke bagian atas radiator dimana selanjutnya temperaturnya akan turun karena telah dibuang oleh sebagian oleh radiator. Pada saat yang bersamaan dengan turunnya air pada radiator juga terjadi pembuangan panas yang besar sehingga mempercepat turunnya air pada radiator. Turunnya air akan mendesak air yang telah panas dari mesin ke radiator bagian atas.

2.2.5.2 Sirkulasi dengan tekanan

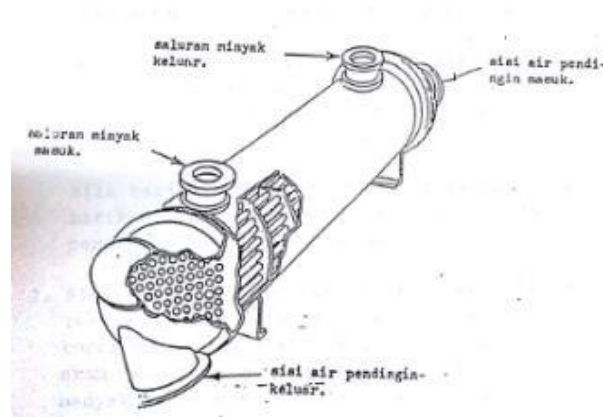
Sirkulasi jenis ini hampir sama dengan sirkulasi jenis aliran hanya saja sirkulasi jenis ini ditambahkan tekanan untuk mempercepat terjadinya sirkulasi air pendingin, pada sistem ini ditambahkan pompa air. Pompa air ini ada yang ditempatkan di saluran antara radiator dengan mesin dimana air yang mengalir ke mesin ditekan oleh pompa, ada juga yang ditempatkan pada saluran antara mesin dengan radiator. Sirkulasi jenis ini dapat berlangsung dengan sempurna dan air yang berada di dalam mantel – mantel air tetap dalam keadaan penuh tanpa ada

gelembung udara. Pada sirkulasi jenis ini kecenderungan air untuk mendidih sangatlah kecil sekali karena tekanan atmosfer yang berarti titik didihnya akan berada jauh di atas 100°C . (Maleev, 1982)

2.2.6 Pendingin Pelumas

Sistem pendingin gunanya untuk menurunkan panas akibat dari gesekan – gesekan bantalan atau hal – hal lain yang menyebabkan minyak itu panas. Sebagai contoh temperatur minyak meninggalkan turbin 60°C , sedangkan air pendingin minyak pelumas tersebut temperaturnya kira – kira 20°C . Air pendingin melalui suatu tabung, minyak mengalir melalui pipa yang berliku – liku didalam tabung tersebut. Panas minyak diserap oleh air pendingin melalui pipa – pipa tersebut. Ada juga minyak pelumas di dinginkan setempat oleh sirkulasi air dan pipa pesat yang tekanannya diturunkan. Ciri – ciri pendingin pelumas adalah sebagai berikut :

1. Pelumas terletak didalam pipa pendingin.
2. Air pendingin mengalir di bagian luar pipa dan pelumas mengalir dalam pipa. Perubahan aliran air dengan menggunakan bafel.
3. Kotak air terletak dibagian atas sistem pendingin.



Gambar 2.5 Pendingin Minyak Pelumas
(Sumber : PLN)

2.2.7 Pendingin Alternator / Generator

Terjadinya panas pada sistem pendingin generator atau *alternator* disebabkan karena adanya rugi tembaga dan rugi besi. Rugi tembaga adalah panas yang disebabkan karena adanya arus pembebanan yang mengalir melalui penghantar tembaga *stator* dan *rotor* yang besaran daya dapat dihitung I^2R .

Sedangkan rugi besi adalah kerugian yang diakibatkan dari panas yang dihasilkan oleh adanya arus pusar (*eddy current*) yang terjadi pada inti *stator* maupun *rotor*. Selain panas yang dihasilkan diatas , juga terjadi panas yang disebabkan dari gesekan dan angin. Panas yang berlebihan diakibatkan pada generator harus dicegah oleh sebab itu harus danya soistem pendingin generator. Untuk menyerap / membuang panas yang diakibatkan generator yang sedang beroperasi digunakan beberapa media pendingin yaitu udara, gas hidrogen, air. Semakin besar kapsaitas generator maka panas yang dihasilkan akan semakin besar. Adapun media pendingin generator yang paling efektif adalah air, akan tetapi dengan media air sebagai pendingin instalasi dan pemeliharaannya susah.

Pendingin generator dengan menggunakan gas hidrogen lebih efektif daripada dengan udara, akan tetapi hidrogen sangat rentan terhadap bahaya ledakan apabila bercampur dengan udara pada kondisi 4% - 75%, untuk itu diperlukan penanganan yang hati-hati. Adapun kelebihan gas hidrogen dibanding udara dapat dilihat dari tabel 2.6

Tabel 2.6 Karakteristik Gas Hidrogen

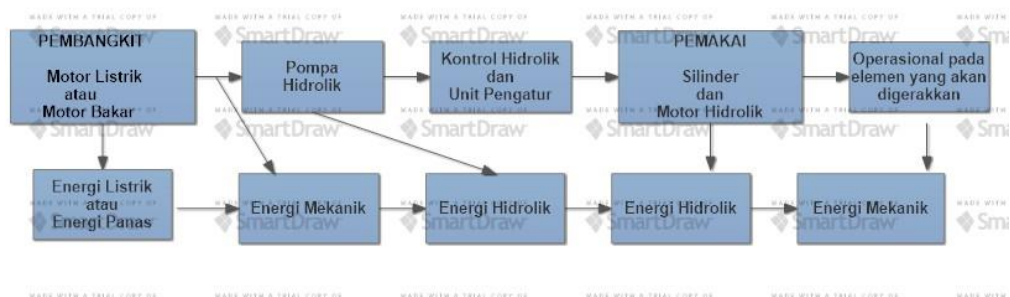
Tekanan ATM Hidrogen	Spesifik Panas	Kerapatan	Daya Hantar Panas	Koefisien Perpindahan panas
	1,0	1,0	1,0	1,0
0,34	14,35	0,07	6,69	1,55
1,0	14,35	0,14	6,69	1,65
2,0	14,35	0,22	6,69	2,65
3,0	14,35	0,30	6,69	4,4
4,0	14,35	0,30	6,69	4,85

(rahman.net, 2017)

Seperti tabel 2.6 dinyatakan bahwa kerapatan udara biasa dibanding hidrogen 1 : 0,14 , daya hantar panas 1 : 7, maka gas hidrogen dapat digunakan untuk pendingin alternator dengan efektifitas cukup baik. Untuk menjaga agar temperatur media pendingin tidak meningkat terus, maka setelah menyerap panas, media pendingin ini harus didinginkan untuk membuang panas yang di kandungannya. Oleh karena itu media pendingin harus didinginkan atau disirkulasikan. Sebagai media pendingin generator, hidrogen biasanya dengan menggunakan air dengan melalui *box cooler* atau pipa – pipa air yang diletakkan didalam kerangka stator. Sebagaimana untuk melewati gas hidrogen ke *cooler box* dan celah – celah kumparan stator atau rotor maka perlu adanya sirkulasi dengan tekanan cukup. Untuk mensirkulasikan hidrogen dengan menggunakan *blower* atau *rotor blade* yang terpasang pada poros alternator.

2.2.8 Pompa

Pompa adalah suatu alat untuk memindahkan fluida (cair, gas dan lain – lain) dari suatu tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Di bidang industri / Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), pompa dipakai untuk memindahkan fluida seperti air pendingin, air limbah, minyak , dan lain – lain. Semua zat cair bisa dipompakan atau dipindahkan melalui pompa, akan tetapi tidak semua pompa cocok untuk semua keperluan. Dengan demikian di dalam penggunaan pompa harus di tinjau terlebih dahulu jenis fluida apa yang akan dihisap oleh pompa. Berikut adalah blok diagram penggunaan pompa:



Gambar 2.6 blok diagram penggunaan pompa
(Sumber : Penulis)

2.2.8.1 Jenis – Jenis Pompa

Pada dasarnya pompa dapat diklasifikasikan ke dalam 3 kelompok :

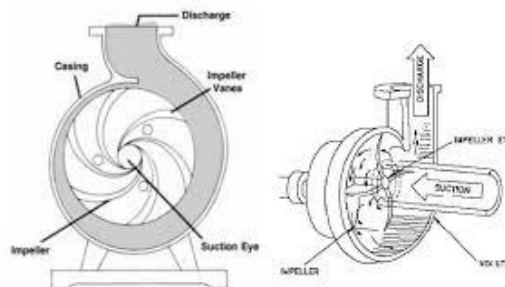
- a. Pompa sentrifugal
- b. *Rotary pump*
- c. *Reciprocating pump*

Setiap klasifikasi pompa mempunyai beberapa tipe, misalnya *centrifugal pump* mempunyai beberapa tipe : *volute*, *diffuser*, *mixed flow*, dan sebagainya. *Rotary pump* dan *reciprocating pump* disebut juga *positive displacement pump*.

2.2.8.2 Prinsip Kerja Pompa

1. Pompa sentrifugal

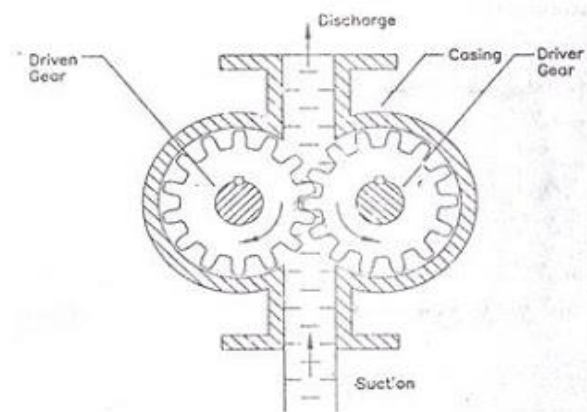
Pompa sentrifugal mempunyai impeler untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Daya dari luar / motor listrik digunakan untuk memutar pompa dalam hal ini impeller. Di dalam pompa itu sendiri telah terisi air yang akan dipindahkan. Maka ketika impeller diputar zat cair yang ada di dalam impeller ikut berputar dan zat cair tersebut akan bergerak menjauhi sumbu putar / keluar dari impeller ditampung oleh spiral case / rumah pompa dan di keluarkan melalui nozel. Pompa sentrifugal dapat merubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi *fluida*. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan *head* tekan, head kecepatan dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu.



Gambar 2.7 Pompa Sentrifugal
(Sumber : *learning guide IP*)

2. Pompa Roda Gigi

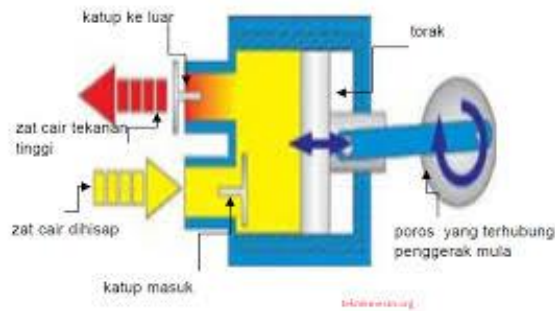
Kerja pompa roda gigi (gear pump) dan pompa ulir (screw pump) secara prinsip sama adalah memindahkan zat cair dari tekanan rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Dimana gaya yang dari luar dipakai untuk memutar roda gigi yang telah diisi oleh zat cair. Begitu roda gigi berputar, zat cair yang ada di dalamnya akan bergerak ke rumah pompa dan disalurkan keluar. Pompa roda gigi / pompa ulir biasanya dipakai untuk zat cair yang memiliki kekentalan yang tinggi seperti minyak pelumas dan lain – lain dan juga dipakai pada tekanan yang lebih rendah. Roda gigi berfungsi memberi kerja pada zat cair, secara kontinyu maka energi tekanan yang dihasilkan menjadi bertambah tinggi secara kontinyu maka energi tekanan yang dihasilkan akan bertambah tinggi. Ruang bebas antara roda gigi dan rumahnya harus sekecil mungkin $\pm 0,005$ mm dan untuk menjaga gesekan antara roda gigi dengan rumahnya, maka kedudukan bantalan harus sesuai dengan yang direncanakan.



Gambar 2.8 Pompa Roda Gigi
(Sumber : *learning guide IP*)

3. Pompa Bolak – Balik

Pompa bolak – balik atau pompa torak adalah pompa untuk memindahkan zat cair dari tekanan yang lebih rendah menjadi tekanan yang lebih tinggi. Gambar 2.8 adalah gambar pompa torak.



Gambar 2.9 Pompa Bolak – balik
(Sumber : *learning guide IP*)

Cara kerjanya biasanya dimana daya dari luar berupa putaran dirubah menjadi gerakan maju – mundur / bolak – balik. Dimana pada waktu gerak mundur torak menghisap zat cair, pompa ini mempunyai keuntungan dan kerugian yaitu :

- Bisa menghasilkan tekanan yang lebih tinggi.
- Bisa menghisap zat cair.
- Dipakai untuk zat cair yang bersih.
- Pemeliharaannya mahal.

2.2.8.3 Head

Head adalah salah satu bentuk energi yang disebabkan oleh tekanan zat cair, bila zat cair dimasukkan ke dalam tabung *vertical*, maka pada dasar tabung akan menjadi tekanan, tekanan pada tabung tergantung pada berat zat cair.

Istilah *head* mempunyai hubungan dengan kondisi aliran masuk pompa atau keluar. Agar pompa dapat bekerja dengan baik, ketinggian kolom zat cair pada sisi isap, dengan permukaan sudu impeller harus terdapat perbedaan tekanan yang cukup

besar, supaya zat cair dapat mengalir ke dalam impeller, begitu juga zat cair yang dikeluarkan pompa dapat ditekan secara tetap. Tekanan statis dibedakan menjadi :

1. Tinggi Isap Statis (*Static Suction Lift*)

Istilah ini dipakai untuk menyatakan tinggi isap pompa bila permukaan zat cair berada dibawah sumbu pompa. Pada sistem ini digunakan untuk memompa air yang bertemperatur rendah dengan ketinggian isap tertentu, supaya tinggi isap statis terendah dalam instalasi pompa dapat dihindarkan sebelum mencapai permukaan sudu impeller, karena sesudah itu tekanan meningkat kembali.

2. Tekanan Isap Statis (*Static Suction Head*)

Dipakai untuk menyatakan tekanan isap statis sisi pompa bila permukaan zat cair yang dipompa terletak diatas sumbu pompa.

Pada sistem ini digunakan memompa air yang bertemperatur tinggi. Dengan demikian diperlukan peningkatan tekanan zat cair pada sisi isap pompa agar tidak berubah menjadi uap, agar pompa dapat bekerja dengan baik tanpa kavitasi. Untuk menentukan tekanan sisi isap statis terendah dapat ditulis seperti menentukan tinggi isap statis.

3. Tekanan keluar statis (*Static delivery head*)

Menyatakan jarak vertikal dari sumbu pompa sisi tekan terhadap permukaan saluran sisi tekan.

4. Tekanan total statis

Merupakan jarak vertikal dari permukaan zat cair sisi isap pompa sampai permukaan zat cair pada sisi tekan pompa. Dimana $total\ static\ head = static\ suction\ head + static\ delivery\ head$. Di sini menunjukkan kemampuan dari pompa untuk memindahkan zat cair dari sisi pompa sampai pada ketinggian sisi tekan tertentu secara tetap.

5. *Friction Head*

Friction head adalah head yang diperlukan untuk mengatasi hambatan pada pipa, katup, fittings dalam sistem pemipaan. *Friction head* ada pada sisi hisap maupun sisi tekan pompa dan besarnya bervariasi dengan laju aliran, ukuran pipa, kondisi didalam pipa, tipe pipa dan sifat cairan yang tangani diukur dengan *feet*.

6. *Velocity Head*

Cairan yang bergerak melalui suatu pipa dengan kecepatan tertentu mempunyai energi kinetis karena kecepatannya. *Velocity head* adalah jarak melalui mana cairan harus tiba pada kecepatan yang diberikan.

$$H_v = V^2 / 2g$$

Dimana :

H_v = *velocity head* (ft)

V = kecepatan (*velocity*), (ft/sec)

G = percepatan karena gravitasi = 32,2 ft/sec

7. Kavitasi

Kavitasi adalah gelembung udara yang terjadi pada suatu titik dimana tekanan didalam pompa drop dibawah tekanan penguapan (titik uap jenuh) yang bersesuaian dengan temperatur cairan, maka cairan tersebut akan menguap dan membentuk rongga (gelembung) uap. Gelembung ini dibawa oleh aliran sampai daerah yang bertekanan lebih tinggi, maka gelembung uap itu akan pecah yang akan menimbulkan suara yang keras dan kerusakan pada saluran atau pompa.

2.2.9 Katup (*Valve*)

Katup adalah suatu peralatan mekanik yang digunakan untuk mengisolasi, mengatur, menyearahkan dan membuang suatu *fluida* dalam suatu sistem aliran. Cara kerja katup dengan gerakan naik – turun, mundur – maju, atau penggerak putar antara *disc*, atau *seat*, sumber tenaga penggerak bisa dari manusia, motor dan tenaga penggerak lainnya. Macam – macam *valve* antara lain adalah sebagai berikut :

2.2.9.1 Globe Valve

Globe valve adalah buka – tutup *valve* dengan cara memutar ke kanan dan ke kiri *hand wheel* yang ada dalam suatu kesatuan dengan *spindle* yang mempunyai draft luar yang berhubungan dengan erat yang ada pada *bridge*, sehingga gerakan putar dari *spindle* akan dirubah menjadi gerak naik – turun atau membuka dan menutup katup.

2.2.9.2 Wedge Gate Valve

Wedge gate valve adalah buka – tutup *valve* dengan cara memutar ke kanan kiri *hand wheel* yang ada dalam suatu kesatuan dengan *spindle*, pada *spindle* tersebut dilengkapi dengan draft luar. Ada dua macam *draft* luar yang berbeda pada *spindle*, yaitu :

- a. Di dalam bodi yang disebut *internal screw non raising spindle*.
- b. Di luar bodi yang disebut *external screw raising spindle*.

Prinsip kerjanya tidak jauh berbeda dengan *globe valve* tetapi gerakan akhir yang terangkat hanya daun katupnya saja.

2.2.9.3 Butterfly Valve

Butterfly valve merupakan pada jenis katup putar sebab untuk membuka dan menutupnya katup ini dihasilkan dari gerakan putar *spindlenya* yang langsung dihubungkan langsung menjadi satu dengan *disc* oleh sebuah mur baut. *Spindle* tersebut dapat berputar hanya sampai dalam batas sudut putar 90^0 dengan bantuan bearing atau metal yang ditempatkan pada ujung *spindle*, juga diperlengkapi dengan gland packing guna menahan bocornya. *Butterfly valve* sangat efektif sekali dalam kerjanya terutama untuk sistem aliran yang mempunyai tekanan yang lebih rendah tetapi besar aliran ataupun pada sistem yang selalu mendapatkan pengontrolan penuh. Pada umumnya susunan mekanisme penggerak diperlengkapi dengan roda gigi dan *hand wheel*. Adapaun susunan roda gigi yang sering dipergunakan adalah jenis *worm gear* (roda gigi cacing) sebab roda gigi tersebut mempunyai keistimewaan disamping memindahkan tenaga juga anti balik berputar (*anti run back*). Tidak jarang dijumpai susunan mekanik yang hanya terdiri dari *gear* dan

handle sederhana yaitu pada ukuran *butterfly valve* yang kecil. *Butterfly valve* sering digunakan untuk memblock suatu sistem aliran dengan resiko sedikit kebocoran, oleh sebab itu ada jenis dari katup ini yang sengaja dibuat dari besi yang dicoating (dilapisi) karet guna mengatasi kebocoran tersebut.

2.2.9.4 Check Valve

Check valve disebut juga *on way valve*, *non return valve* atau katup penyearah. *Check valve* adalah katup yang mana hanya akan melewatkan aliran menuju satu arah dan tidak akan dapat melewatkan aliran tersebut untuk kembali. Adapun tenaga pembuka dan penutup dari pada katup tersebut adalah *fluida* sendiri. Sehingga boleh dikatakan bahwa *check valve* tersebut akan bekerja dengan sendirinya jika adanya aliran.

2.2.9.5 Diaphragma valve

Diaphragma valve termasuk pada jenis *screw valve* sebab katup tersebut akan bekerja (membuka dan menutup) dibawa pengaruh penekanan sisi atas yang selanjutnya diaphragma tersebut mengembang hingga menyentuh weir pada saat dilakukan penutupan katup demikian sebaliknya. Langkah gerakannya tidak jauh berbeda dengan katup *globe* dan *wedge gate* jika hand weel diputar searah jarum jam maka katup akan menutup. *Diaphragma valve* biasanya digunakan pada media cair maupun gas yang banyak berakibat *korosive*, atau cairan yang kotor, juga sering digunakan pada sistem kontrol. Material dari pada diaphragma biasanya adalah material yang elastis atau karet, hal ini dapat dipilih sesuai dengan permintaan persyaratan tekniknya.

2.2.10 Pressure Switch

Pressure switch merupakan peralatan pengaman yang berfungsi untuk mencegah terjadinya tekanan *abnormal*, baik tekanan yang berlebih (terlalu tinggi) maupun tekanan kurang (terlalu rendah) dengan cara menutup aliran bila *pressure* kontrol gagal dalam mengontrol tekanan. *Pressure switch* mempunyai dua buah sensor, yaitu :

1. *Pressure switch high*
2. *Pressure switch low*

Bila *set point* pada kedua *pressure switch* tersebut tercapai maka akan menyebabkan *shutdown system* bekerja sehingga terhindar dari bahaya, terutama bahaya dari tekanan yang terlalu tinggi.

High pressure switch bekerja bila tekanan mencapai *set point* yang sudah ditentukan, maka tekanan tersebut akan mendorong keatas “*switch*” dari pressure tersebut sehingga arus listrik tersambung (menjadi *closed*) dan akan mengaktifkan alarm di *control panel* kemudian control panel akan mengaktifkan *shutdown system*.

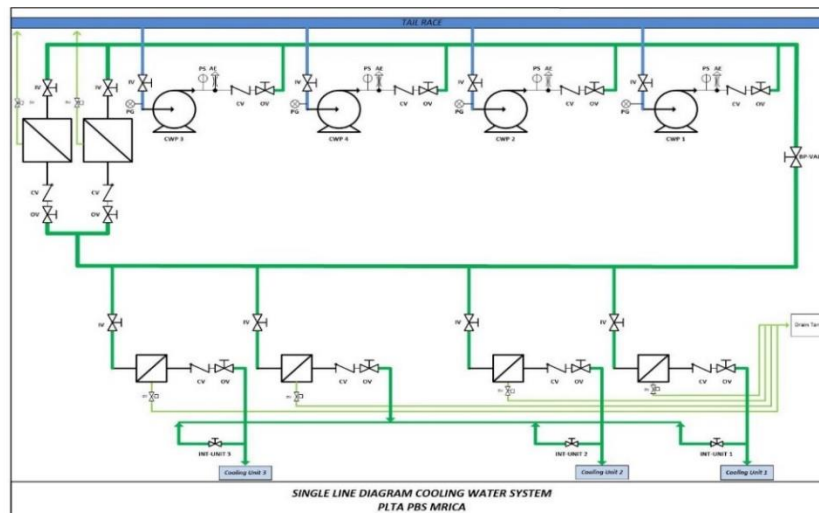
Low pressure switch bekerja bila tekanan terlalu rendah dan mencapai set point low pressure, maka pressure switch “*low*” akan bekerja (menjadi *closed* saat tekanan turun). Dengan berkurangnya tekanan menyebabkan *spring* (pegas) tidak ada yang menahan sehingga *switch* bergerak ke bawah dan arus listrik tersambung mengaktifkan alarm dan terjadi *shutdown*.



Gambar 2.10 *Pressure Switch*
(Sumber : dokumentasi pribadi)

2.2.11 Instrumentasi pada Cooling Water System

Cooling Water System pada PLTA PB.Soedirman digunakan untuk sistem pendingin yang menggunakan media air untuk proses pendinginannya. Dimana pada *cooling water system* mempunyai beberapa komponen yang mendukung dan mempunyai fungsi masing – masing. Beberapa komponen *cooling water system* di antaranya : *Cooling Water Pump 1 (CWP1)* ,*Cooling Water Pump (CWP2)* , *Cooling Water Pump 3*, *Cooling Water Pump 4 (CWP4)*, *Air Election*, *Check Valve* , *Input Valve* , *Output Valve*, *Pressure Switch*, *Motor*, *Solenoid Valve*, *Strainer 1*, *Strainer 2*, *Strainer 3*, *Strainer 4*, *Strainer 5* , *Strainer 6*, *Drain tank*, *Lube Oil Heat Exchanger*.



Gambar 2.11 Line Diagram Cooling Water System PLTA PBS Mrica
(Sumber : dokumentasi pribadi)

Pertama proses *cooling water system* pada PLTA PB.Soedirman adalah memanfaatkan air keluaran dari turbin di *tailrace*. Pada sistem pendingin di PB.Soedirman menggunakan 4 *cooling water pump* dengan 3 *cooling water pump* sebagai pompa utama dan satu pompa *standby* untuk membackup pompa utama ketika terjadi gangguan atau sedang dilakukan pemeliharaan. Air dipompa dan dialirkan menuju *strainer* besar kemudian melalui *strainer* kecil untuk disaring agar meminimalisir kotoran dan sampah yang ikut terpompa dari *tailrace*. *Strainer* yang digunakan berjumlah 6 unit, dua unit untuk penyaring kasar dan 4 unit untuk penyaringan yang lebih halus. Setelah disaring, air akan

dialirkan ke peralatan yang membutuhkan pendinginan, diantaranya adalah *bearing turbine, shaft seal, heat exchanger* minyak *lower bearing* generator dan *air cooler* untuk generator. Selanjutnya air akan dialirkan kembali ke *tailrace*. Beberapa komponen yang ada dalam *cooling water system* adalah :

1. *Cooling Water Pump*

Berfungsi sebagai pemompa air dari tangki penampungan. Bekerja dengan membuka katup saat sedang beroperasi.

2. Motor

Berfungsi sebagai penggerak pompa. Bekerja memutar pompa untuk aliran air.

3. *Air Election*

Berfungsi untuk membuang udara berlebih yang terperangkap dalam pipa.

4. *Pressure Switch*

Berfungsi untuk mengukur tekanan yang ada dalam aliran air.

5. *Check Valve*

Berfungsi untuk mengatur aliran air yang masuk dan mencegah adanya *backwater* pada pipa.

6. *Drain Tank*

Berfungsi sebagai tempat penampung air.

7. *Strainer*

Berfungsi sebagai penyaring sampah dan kotoran yang masuk dalam *cooling water system*.

8. *Lube Oil Heat Exchanger*

Berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pendinginan oli saat proses berlangsung.

9. *Input Valve*

Berfungsi mengatur aliran yang masuk pada *cooling water system*.

10. *Output Valve*

Berfungsi mengatur aliran yang keluar pada *cooling water system*.

2.2.12 Karakteristik Pelumas *Shell Turbo T 68*

Pada PLTA PB.Soedirman untuk pelumasan pada bearing generator menggunakan minyak pelumas tipe *Shell Turbo T 68* dengan karakteristik yang dimiliki adalah sebagai berikut :

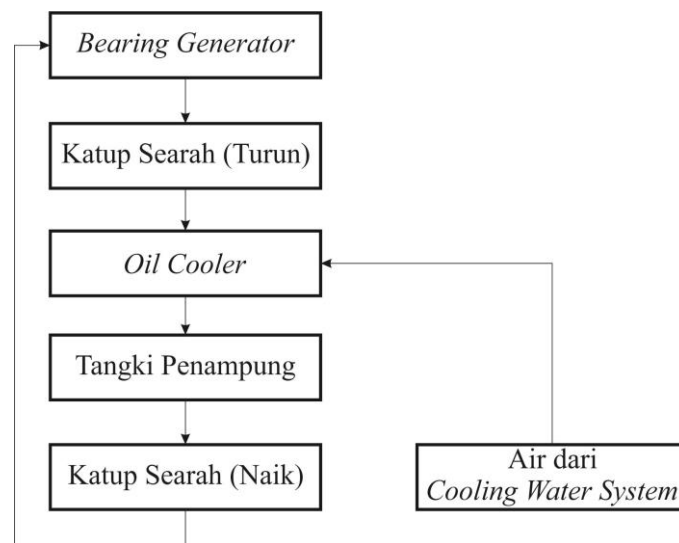
Tabel 2.7 Karakteristik *Shell Turbo T68*

Sistem Tingkat Viskositas ISO Standar 3448 ASTM D-2422	Semua Viskositas Diukur pada Suhu 40°C, Menggunakan ASTM D-341 untuk Konversi Viskositas pada Suhu Lain			
	Viskositas Mid-Point	Batas Viskositas Kinematikas,cSt		Klasifikasi Tingkat AGMA
		Minimum	Maksimum	
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42	-
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52	-
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06	-
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48	-
ISO VG 10	10,0	9,0	11,0	-
ISO VG 15	15,0	13,5	16,5	-
ISO VG 22	22,0	19,8	24,2	-
ISO VG 32	32	28,8	35,2	-
ISO VG 46	46	41,4	50,6	1
ISO VG 68	68	61,2	74,8	2 EP
ISO VG 100	100	90,0	100,0	3 EP
ISO VG 150	150	135,0	165,0	4 EP
ISO VG 220	220	198,0	242,0	5 EP
ISO VG 320	320	288,0	352,0	6 EP
ISO VG 460	460	414,0	506,0	7 Comp,7 EP
ISO VG 680	680	612,0	748,0	8 Comp, 8 EP
ISO VG 1000	1000	900,0	1100,0	8 A Comp
ISO VG 1500	1500	1350,0	1650,0	9 EP
-	3200	-	-	10 EP
-	4600	-	-	11 EP
-	6800	-	-	12 EP
-	3200	-	-	13 EP

Sumber : (ISO Klasifikasi ASTM D-2422)

2.2.1 Sirkulasi Aliran Pelumas *Shell Turbo T68* pada *Bearing Generator*

Pelumas *Shell Turbo T68* digunakan khusus untuk pelumasan di daerah turbin dan perlengkapannya, bearing generator termasuk didalamnya. Untuk sirkulasi dari pelumasan sirkulasi aliran pelumas *shell turbo T68* pada *bearing* generator sendiri dapat dijelaskan pada skema gambar 2.12.



Gambar 2.12 Skema Sirkulasi Aliran Pelumas *Shell R68* pada *Bearing Generator*
(Sumber : dokumentasi pribadi)

2.2.1 *Bearing Generator*

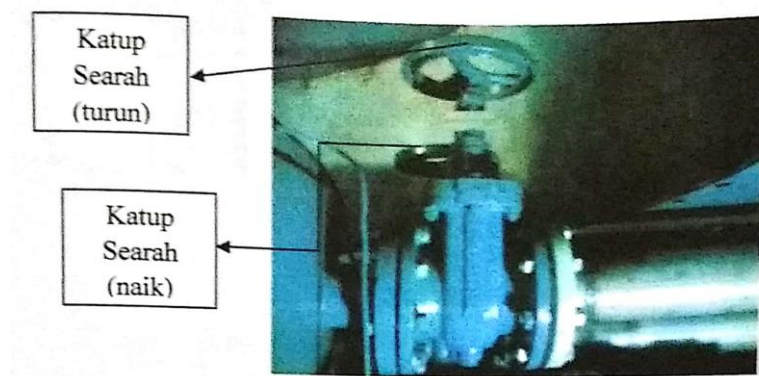
Bearing generator (bantalan generator) yang ada pada Unit PLTA PB.Soedirman memiliki 2 jenis bantalan (*bearing*) yaitu *guide bearing* dan *thrust bearing*. *Guide bearing* adalah bantalan pada generator yang berfungsi sebagai penahan gerakan rotasi dari *as/poros* generator dan juga berfungsi sebagai pengganjal agar *as/poros* tidak miring saat beroperasi. Terdapat 12 buah *guide bearing* yang mengelilingi poros generator. *Thrust Bearing* adalah bantalan pada generator yang berfungsi sebagai penahan gerakan atas – bawah (*vertical*) dari *as/poros* generator. Dibawah *thrust bearing* tersebut, terdapat sebuah pegas yang berfungsi menahan gerakan atas-bawah (*vertical*) tersebut.

Pada bearing generator, pelumasan bantalan terpusat, yaitu menggunakan minyak pelumas *Shell Turbo T68*. Kapasitas dari ruang bearing generator ini

mencapai 2000 L minyak pelumas. Di *bearing generator*, minyak pelumas akan memulai sirkulasinya,yaitu akan terdapat gaya sentrifugal (gaya menuju poros) yang mengakibatkan minyak pelumas akan mengalir ke bawah yang dilewatkan melalui katup searah yang dihubungkan langsung ke *oil cooler*.

2.2.2 Katup Searah

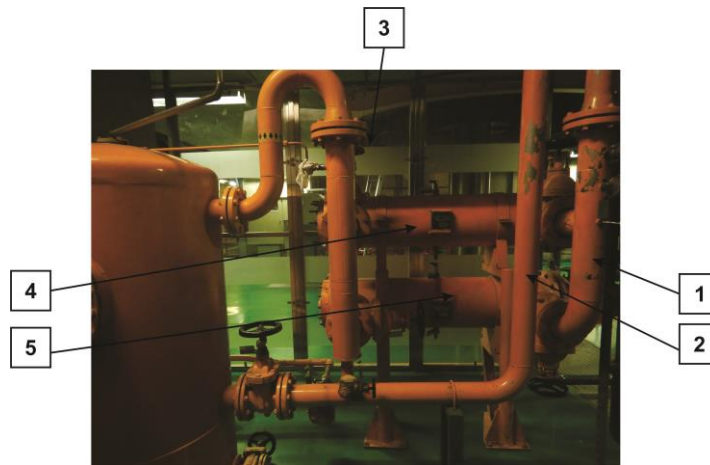
Setelah mengalami gaya sentrifugal, minyak pelumas akan melewati katup searah, kemudian mengalir turun ke bawah, dan dengan dilewatkan melalui pipa penghubung, minyak pelumas akan langsung menuju ke *oil cooler*. Katup arah yang satunya adalah katup yang digunakan untuk minyak pelumas setelah dipompakan *oil cooler* menuju ke *bearing generator* kembali atau dapat dikatakan katup tersebut merupakan katup yang digunakan untuk jalan bagi minyak pelumas yang sudah diturunkan temperaturnya dan telah mengalami sirkulasi.



Gambar 2.13 Katup Searah
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.2.3 Oil Cooler

Oil Cooler (alat pendingin minyak) adalah alat pembantu utama dari sirkulasi minyak pelumas pada *bearing generator*. Dapat dikatakan demikian, karena pada proses dimana minyak pelumas memasuki *oil cooler* ini, terjadi proses pertukaran panas, dimana didalamnya terdapat sebuah alat penukar panas yang biasa disebut *heat exchanger*. Alat *heat exchanger* yang digunakan pada *oil cooler* PLTA PB.Soedirman ini adalah tipe *Shell and Tube*. Gambar 2.14 merupakan instalasi *oil cooler* pada PLTA PB.Soedirman.



Gambar 2.14 Instalasi *Oil Cooler*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Keterangan :

- 1 = pipa penghubung dari katup searah (turun)
- 2 = pipa penghubung dari katup searah (naik)
- 3 = katup air dari *cooling water system*
- 4 = *oil cooler*
- 5 = tangki penampung minyak bertekanan

Tabel 2.8 Spesifikasi dari *oil cooler*

Pabrik	<i>Gesell Schaft Fur Oeltechnic</i> MBH
Type	OKTS6 / 1330
Tekanan kerja shell	10 Bar
Tekanan kerja tube	10 Bar
Temperatur maksimal shell	80°C
Temperatur maksimal tube	80°C
Isi <i>shell</i>	112 L
Isi <i>tube</i>	72 L

(Sumber : Spesifikasi alat PLTA PB.Soedirman)

Seperti dikatakan sebelumnya, bahwa pada *oil cooler* ini terdapat sebuah alat penukar panas (*heat exchanger*) dengan tipe shell and tube (selongsong dan tabung). Untuk sisi *shell* (selongsong) dilewati oleh minyak pelumas yang bertemperatur tinggi, atau fluida panas, sedangkan sisi *tube* (tabung) dilewati oleh air yang didistribusikan dari *cooling water pump* yang bertemperatur rendah, atau *fluida* dingin. Proses pertukaran panas terjadi dengan *fluida* dingin yaitu air, air

menyerap panas dari *fluida* panas, yaitu minyak pelumas yang mengakibatkan minyak pelumas berkurang temperaturnya setelah melewati *oil cooler*, dan pada proses inilah sirkulasi terjadi dengan mengembalikan minyak pelumas dengan temperatur yang lebih rendah untuk kembali ke ruang *bearing generator*.

2.2.4 Teori Instrumentasi

Instrumentasi dan sistem instrumentasi digunakan untuk pengukuran dan pengontrolan ataupun keduanya, di dalam proses industri seperti kimia, perminyakan, pembangkit listrik, makanan, tekstil, kertas dan industri lainnya (Bela G. Liptak 1982). Instrumentasi adalah alat – alat dan piranti (*device*) yang dipakai dalam pengukuran dan pengendalian sistem pada suatu objek untuk mengetahui harga / nilai *variable* suatu besaran proses agar sesuai dengan nilai besaran yang diinginkan. Instrumentasi secara umum mempunyai 3 fungsi utama:

1. Sebagai alat pengukuran
2. Sebagai alat analisis
3. Sebagai alat kendali

Suatu sistem pengendalian proses juga terdiri dari beberapa komponen antara lain:

Sensor/transduser yang berfungsi menghasilkan informasi dari besaran yang diukur. Sensor sendiri merupakan suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi sinyal – sinyal berupa energi listrik, maupun energi lainnya, sedangkan transduser merupakan suatu alat untuk mengubah gejala fisis menjadi energi lain seperti listrik, mekanis dan lain – lain.

Transmitter berfungsi memproses informasi dari hasil pembacaan sensor / *transduser* agar data tersebut dapat ditransmisikan.

Controller berfungsi membandingkan sinyal pengukuran dengan nilai besaran yang diinginkan.

Actuator berfungsi mengubah masukan proses sesuai dengan sinyal yang diperintahkan dari pengontrol.

Ada dua cara untuk melakukan pengukuran, analisa, dan sistem kendali dalam instrumentasi yaitu dengan cara manual atau secara otomatis yaitu dengan cara melakukan analisa langsung dengan komputer. Proses otomatis dan manual saling terkait dalam suatu instrumentasi. Pada sistem kontrol dan instrumentasi Pembangkit Listrik Tenaga Air besaran – besaran fisis yang diukur diantaranya suhu, kelembaban, tekanan, level, radiasi, suara, cahaya, kecepatan, sifat listrik (arus listrik, tegangan listrik, tahanan listrik) , *viskositas, density*.

2.2.5 Sistem Operasi PLTA

Secara umum, system control terdiri dari : rangkaian *control instrument* yang digunakan seperti sistem rele, *logic*, atau *programmable controllers*, dan yang merupakan proses dan tahap-tahap kontrol yang harus dilakukan. Pada PLTA PB. Soedirman rangkaian kontrolnya menggunakan sistem rangkaian kontrol terbuka (*open loop control*) dan juga menggunakan sistem rangkaian kontrol tertutup (*close loop control*) dengan umpan balik (*feedback*).

Sistem operasi PLTA Panglima Besar Soedirman dilengkapi dengan mikroprosesor yang digunakan untuk sistem kontrol, proteksi, dan pengaturannya. Pada kondisi normal, semua panel kontrol dipilih pada posisi sentral, selanjutnya dihubungkan secara otomatis ke pusat ruang kontrol dari pusat kawasan di Ungaran. Pada posisi sentral, tidak diperlukan operator ruang kontrol panel. Bagian – bagian dari sistem operasi antara lain:

2.2.5.1 Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) menurut tata bahasa bisa diartikan sebagai suatu alat pengatur/pengendali logika yang bisa deprogram. Menurut fungsinya PLC adalah suatu perangkat elektronik yang digunakan sebagai alat pengatur/pengendali yang cerdas dan atau otomatis pada suatu proses logika sekuensial maupun proses pengaturan/pengukuran pada suatu sistem kontrol yang dapat diprogram sesuai keinginan.

Secara umum model PLC dibagi terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu :

- a. *Pure Controller* (sering digunakan hanya untuk fungsi otomatisasi mesin)

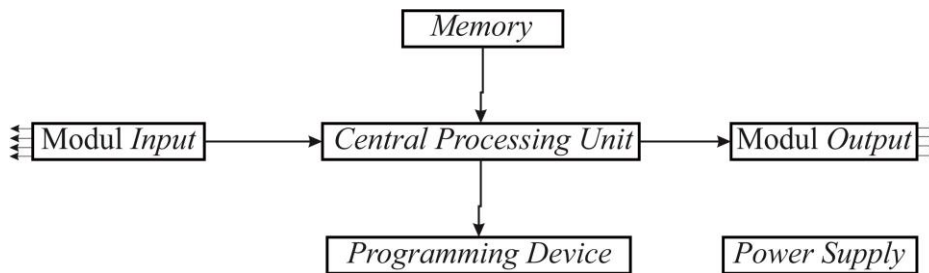
b. RTU (*Remote Termal Unit*), yang sering digunakan dalam aplikasi SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

Bentuk PLC yang dipakai di PLTA PB.Soedirman adalah *rack mounting*. Modul-modul CPU dan I/O pada bentuk PLC yang satu ini dipasang pada suatu sistem *backplane* dengan kapasitas slot tertentu. Apabila dilakukan penambahan modul biasanya diiringi juga dengan penambahan *slot* pada *backplane* pada kapasitas tertentu.

Bagian-bagian penting dari *hardware* PLC adalah:

1. Unit *input* (masukan)
2. Unit *output* (keluaran)
3. Unit *processor* dan Unit *memory*
4. Terminal komunikasi (*port communication*)
5. Catu daya (*power supply*)

Blok diagram konfigurasi hardware suatu PLC dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.15 Blok diagram konfigurasi *hardware* PLC
(Sumber : dokumentasi pribadi)

Keterangan :

1. Modul *input* berfungsi untuk memberikan masukan kepada prosesor.
2. Modul *output* berfungsi untuk meneruskan *output* hasil pemrosesan data dari CPU.
3. CPU berfungsi sebagai modul pemroses utama, dimana proses yang dilakukan sangat tergantung dari program yang disimpan dalam *memory*.

4. *Memory* berfungsi sebagai tempat penyimpanan program dan juga sebagai lalulintas data serta pemrosesan dari prosesor yang selanjutnya dikirim pada bagian *output*.
5. *Power supply* berfungsi sebagai sumber daya bagi bekerjanya PLC. *Inputnya* dapat berupa tegangan AC maupun DC dengan besaran dan kapasitas tertentu sesuai dengan tipe PLC yang digunakan.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan modul *power supply*, antara lain sebagai berikut :

- a. Besarnya tegangan *input*, misalnya 24 VDC, 110 VDC, 110/220VAC, dll
- b. Kapasitas beban maksimum, misalnya 4 A, 8A,dst.
- c. *Operating mode*, misalnya *Redundant*, *standalone*, atau *summable*.

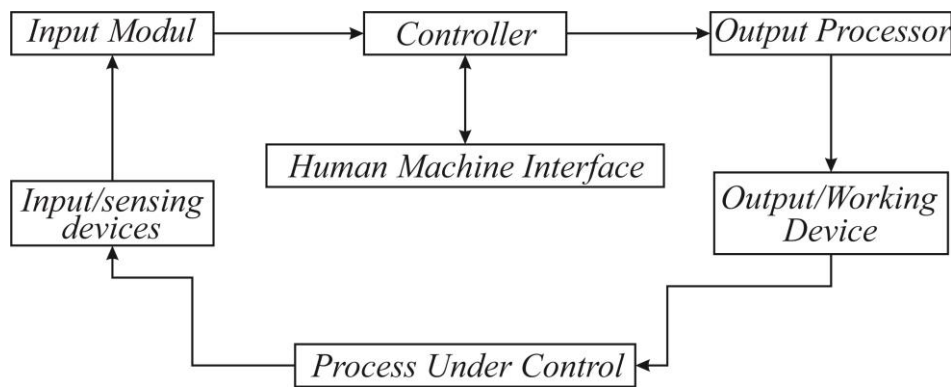
Pada aplikasi komunikasi antara PC dengan PLC, maka PC bisa berfungsi sebagai: UP (*Unit Programmer*) yaitu perangkat pembuat program aplikasi PLC untuk keperluan *down loading*, *up loading* dan *debugging*.

HMI (*Human Machine Interface*), yaitu sebagai perangkat dalam pengoperasian antara manusia dengan mesin (pengganti *console desk* dan *display* konvensional). Atau bisa berfungsi keduanya.

Ada beberapa syarat penting yang harus dipenuhi agar suatu PLC bisa berkomunikasi, yaitu :

1. Secara *hardware*, meliputi : koneksi pin terminal komunikasi, jenis kabel/media yang dipakai, panjang kabel/jarak jangkauan yang diijinkan, serta penggunaan modul *interface* (bisa digunakan).
2. Secara *software*, meliputi : *protocol* komunikasi, *setting* parameter (*baudrate*, *parity*, *address*)

Sedangkan hubungan PLC terhadap sistem kontrol pembangkit dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.16 Hubungan PLC dengan sistem kontrol Pembangkit
(Sumber : dokumentasi pribadi)

2.2.6 Digital Laser Infrared Thermometer Gun

Infrared thermometer disebut juga thermometer laser adalah sebuah alat ukur suhu yang dapat mengukur temperatur atau suhu tanpa bersentuhan dengan objek yang akan diukur suhunya. *Infrared thermometer* memiliki kemampuan untuk mendeteksi temperatur secara optik selama objek diamati, radiasi energi sinar inframerah diukur, dan disajikan sebagai suhu. *Thermometer* ini menawarkan metode suhu yang cepat dan akurat dengan objek dari kejauhan tanpa disentuh – situasi ideal dimana objek bergerak cepat, jauh letaknya, sangat panas, berada dilingkungan yang berbahaya, dan/atau adanya kebutuhan untuk menghindari kontaminasi objek. Prinsip kerja dari *infrared thermometer* adalah bahwa semua obyek memancarkan energi infra merah. Semakin panas suatu benda maka molekulnya akan semakin aktif dan semakin banyak energi infra merah yang dipancarkan. Alat ini mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (biasanya inframerah) yang dipancarkan objek. Kadang disebut *thermometer laser* jika menggunakan laser untuk membantu pekerjaan pengukuran atau *thermometer* tanpa sentuhan untuk menggambarkan kemampuan alat mengukur suhu dari jarak jauh.

Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisinya temperatur objek dapat dibedakan. Gambar 2.17 merupakan bentuk dari *thermometer gun*.



Gambar 2.17 *Infrared Thermometer Gun*
(Sumber : amazon.com)

Desain utama dari *infrared thermometer* yakni lensa pemfokus energi inframerah pada *detector*, yang mengubah energy menjadi sinyal elektrik yang bisa ditunjukkan dalam unit temperatur setelah disesuaikan dengan variasi temperatur lingkungan. Cara penggunaan alat ukur ini adalah dengan mengarahkan ke media atau benda yang akan diukur suhunya, alat ini akan membaca suatu media tersebut. Alat ini biasanya digunakan dalam pengukuran dapur tinggi / *furnance* dalam industri peleburan atau suhu permukaan yang tidak memungkinkan untuk disentuh, dan juga dalam pemakaian umum lainnya, seperti :

1. Mengukur suhu benda yang bergerak, contoh : *conveyor*, mesin dll.
2. Mengukur suhu benda berbahaya, seperti tegangan tinggi, jarak yang tinggi dan sulit dijangkau.
3. Suhu yang terlalu tinggi dan sulit untuk didekati ataupun disentuh, misalnya : *furnance*, *thermocouple*, dll.
4. Memeriksa peralatan mekanika atau elektrik.
5. Memeriksa suhu pemanas untuk tujuan kontrol dan kalibrasi.
6. Memonitor proses pendinginan atau pemanasan material untuk penelitian dan pengembangan atau *quality control* pada manufaktur.

2.2.7 Metode Kalorimetrik

Salah satu metode untuk menentukan efisiensi generator adalah metode kalorimetrik, yaitu metode dengan mengukur jumlah kalor yang terserap oleh sistem pendingin dan yang hilang karena konveksi atau radiasi disekitar generator. Kalor tersebut biasa disebut dengan rugi generator. Rugi generator meliputi rugi yang hilang dalam generator itu sendiri dan rugi yang hilang diluar generator. Menurut *SJ.Chapman* pada buku *Electric Machinery Fundamentals* dijelaskan bahwa rugi-rugi generator meliputi rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*) dan rugi-rugi panas pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar.

Rugi yang hilang dalam generator inilah rugi generator yang diserap oleh air pendingin dan yang tidak terserap oleh air pendingin. Rugi kalor yang tidak terserap oleh air pendingin adalah rugi kalor karena konveksi atau radiasi di sekitar rumah dan bantalan generator.

Rugi Kalor yang terserap oleh air pendingin dapat ditentukan dari :

$$P_1 = C_p \cdot \rho \cdot Q \cdot (T_2 - T_1)$$

Dengan :

P_1 = Kalor yang terserap oleh air pendingin

C_p = Kapasitas kalor jenis air = 4200 Joule/Kg.K

ρ = Massa jenis air = 1000 Kg/m³

Q = Debit air (m³/s)

T_2 = Suhu air pendingin yang masuk *Oil cooler* (°C)

T_1 = Suhu air pendingin yang keluar *Oil cooler* (°C)

1. Rumah Generator

$$P_2 = h \cdot A_{rmh} \cdot (T_2 - T_1)$$

Dengan :

P_2 = Kalor yang dikonveksikan ke udara sekitar rumah generator.

h = Koefisien perpindahan kalor = $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

A_{rmh} = Luas permukaan rumah generator

2. Bantalan Generator

$$P_3 = h \cdot A_{btl} \cdot (T_2 - T_1)$$

Dengan :

P_3 = Kalor yang dikonveksikan ke udara sekitar rumah generator.

h = Koefisien perpindahan kalor = $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

A_{btl} = Luas permukaan bak minyak bantalan (m^2)

T = Suhu udara di sekitar bak minyak bantalan

T_2 = Suhu Oli

Sehingga besarnya rugi kalor yang hilang dalam generator (P_i)

$$P_i = P_1 + P_2 + P_3$$

Sedangkan rugi yang hilang di luar generator adalah rugi karena sistem eksitasi.

Rugi ini hilang dalam rangkaian sistem eksitasi, semisal trafo tegangan sistem eksitasi, *diode*, belitan penguat sistem eksitasi (*pilot exciter*), sistem AVR, dan lain – lain.

2.2.8 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan merupakan peluang (*probability*) dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. (Priyatna, 2000)

Secara umum teori keandalan dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok utama yaitu :

1. Keandalan komponen dan sistem (*Component and system reliability*)
2. Keandalan struktur (*Structural reliability*)
3. Keandalan manusia (*Human reliability*)
4. Keandalan perangkat lunak (*Software reliability*)

Terminologi item yang dipakai dalam definisi keandalan dapat mewakili sembarang komponen, subsistem, atau sistem yang dapat dianggap sebagai kesatuan. Ada empat komponen keandalan yaitu :

1. Peluang (*Probabilitas*)

Merupakan suatu nilai yang menyatakan berapa kali suatu kejadian akan terjadi dan operasi tertentu.

2. Kinerja (*Performance*)

Merupakan penampilan untuk menyatakan peralatan atau sistem bekerja memuaskan.

3. Waktu (*Time*)

Faktor yang menyatakan ukuran dari periode waktu yang digunakan dalam pengukuran probabilitas.

4. Kondisi Pengoperasian

Suatu faktor yang menyatakan pada kondisi bagaimana percobaan dilakukan untuk mendapatkan angka keandalan.

2.2.9 Kajian Keandalan

Dalam menganalisa keandalan, secara umum ada dua metode yang biasa digunakan yaitu analisa kuantitatif dan analisa kualitatif (Waradiba 2007).

1. Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dapat dibedakan menjadi dua bagian besar yaitu, analisa keandalan secara analisis dan analisa keandalan dengan metode simulasi.

Analisa kuantitatif terdiri dari :

- a. Perhitungan langsung untuk sistem yang sederhana.
- b. Pendekatan dengan probabilitas kondisional.
- c. Proses Markov
- d. Simulasi monte carlo (*Monte Carlo Simulation-MS*)

2. Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif merupakan analisa secara kualitas dari suatu mode dan dampak kegagalan.

- a. *Faul Tree Analysis* (FTA)
- b. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)
- c. *Failure Mode Effect Critically Analysis* (FMECA)
- d. *Reability Centered Maintanance* (RCM)

2.2.10 Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)

Failure modes and effect analysis (FMEA) merupakan salah satu teknik yang sistematis untuk menganalisa kegagalan. Teknik analisa ini lebih menekankan pada *hardware-oriented approach* atau *bottom-up approach*. Dikatakan demikian karena analisa yang dilakukan dimulai dari peralatan dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi. Proses ini mencoba mendefinisikan dampak yang terjadi pada sebuah kegagalan peralatan.

FMEA merupakan sebuah metodologi yang digunakan untuk menganalisa dan menemukan semua kegagalan – kegagalan yang potensial terjadi pada suatu sistem.

Efek – efek dari kegagalan ini yang terjadi pada sistem dan bagaimana cara untuk memperbaiki atau meminimalkan kegagalan – kegagalan atau efek – efeknya pada sistem (Perbaikan dan minimalis yang dilakukan berdasarkan pada sebuah ranking dari *saverity* dan *probability* dari kegagalan).

FMEA biasanya dilakukan selama tahap konseptual dan tahap awal desain dari sistem dengan tujuan untuk meyakinkan bahwa semua kemungkinan kegagalan telah dipertimbangkan dan usaha yang tepat untuk mengatasinya telah dibuat untuk mengurangi semua kegagalan-kegagalan. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal seperti *me-review* berbagai komponen, rakitan, dan subsistem untuk mengidentifikasi mode-mode kegagalannya, penyebab kegagalannya, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan.

Sebuah FMEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi cara-cara kegagalan yang potensial untuk sebuah produk atau proses. Metode ini kemudian memerlukan analisa dari tim untuk menggunakan pengalaman masa lalu dan keputusan engineering untuk memberikan peringkat pada setiap potensial masalah menurut rating skala berikut:

1. *Saverity*

Severity adalah sebuah penilaian pada tingkat keseriusan suatu efek atau akibat dari potensi kegagalan pada suatu komponen yang berpengaruh pada suatu hasil kerja mesin yang dianalisa atau diperiksa, *saverity* dapat dimulai dari skala 1 sampai 10.

Tabel 2. 9 *Saverity*

Rangking	<i>Saverity</i>	Deskripsi
1	Tidak ada efek	Tidak ada efek
2	Sangat Kecil	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
3	Kecil	Sedikit berpengaruh dalam kinerja sistem
4	Sangat Rendah	Efek yang kecil pada performa sistem
5	Rendah	Mengalami penurunan kinerja secara bertahap

Lanjutan Tabel 2. 10 *Saverity*

Rangking	Saverity	Deskripsi
6	Sedang	Sistem beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan performa sehingga mempengaruhi output
7	Tinggi	Sistem beroperasi tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh
8	Sangat Tinggi	Sistem tidak beroperasi
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek berbahaya
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek sangat berbahaya

(Sumber : jurnal teknik POMITS)

2. *Occurrence*

Occurrence adalah sebuah penilaian dengan tingkatan tertentu dimana adanya sebuah sebab kerusakan secara mekanis yang terjadi pada peralatan tersebut. Dari angka/tingkatan *occurrence* ini dapat diketahui kemungkinan terdapatnya kerusakan dan tingkat keseringan terjadinya kerusakan peralatan. Metode terbaik untuk menentukan peringkat dari *occurrence* adalah dengan menggunakan data yang aktual dari proses yang telah terjadi. Apabila data kegagalan tidak tersedia, maka harus diperkirakan dengan baik seberapa sering modus kegagalan yang dapat terjadi berdasarkan penyebab potensi kegagalan. Setelah penyebab potensi kegagalan telah diidentifikasi untuk semua mode kegagalan maka nilai *occurrence* dapat ditentukan meskipun data kegagalan tidak ada. Ada 10 skala dalam menentukan nilai *occurrence*, mulai dari 1 untuk kejadian dengan frekuensi yang jarang terjadi sampai dengan 10 untuk kejadian yang sering terjadi (Dermott,2009).

Tabel 2.11 *Occurrence*

Rangking	Occurence	Deskripsi
1	Tidak ada efek	Hampir tidak ada kegagalan
2	Rendah	Kegagalan yang berulang
3		
4	Sedang	Jarang terjadi kegagalan
5		

Lanjutan Tabel 2.12 *Occurrence*

Rangking	Occurence	Deskripsi
6		
7	Tinggi	Kegagalan yang terulang
8		
9	Sangat Tinggi	Sering gagal
10		

(Sumber : jurnal teknik POMITS)

3. *Detection*

Detection adalah sebuah penilaian yang juga memiliki tingkatan seperti halnya *severity* dan *occurrence*. Penilaian tingkat *detection* sangat penting dalam menemukan potensi penyebab mekanis yang menimbulkan kerusakan serta tindakan perbaikannya. Hal ini dapat diukur dengan seberapa jauh pengendalian atau indikator terhadap hal tersebut tersedia. Bila tidak ada maka nilainya rendah sehingga kecil kemungkinan tidak terdeteksi maka nilainya tinggi. Ada 10 skala untuk menentukan nilai *detection* mulai skala 1 sampai skala 10 untuk kejadian yang tidak mampu terdeteksi (Dermott,2009).

Tabel 2. 13 *Detection*

Rangking	Detection	Deskripsi
1	Hampir pasti	Perawatan preventif akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

Lanjutan Tabel 2. 14 *Detection*

Rangking	<i>Detection</i>	Deskripsi
4	Menengah keatas	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan “ <i>moderately high</i> ” untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	Sedang	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “ <i>moderate</i> ” untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat Rendah	Perawatan preventif memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan.
8	Kecil	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “ <i>remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
9	Sangat kecil	Perawatan preventif memiliki kemungkinan “ <i>very remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

Lanjutan Tabel 2. 15 *Detection*

Rangking	<i>Detection</i>	Deskripsi
10	Tidak pasti	Perawatan preventif akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

(Sumber : jurnal teknik POMITS)

Setelah pemberian rating dilakukan, nilai RPN dari setiap penyebab kegagalan dihitung dengan rumus :

$$\mathbf{RPN = Saverity \times Occurrence \times Detection}$$

Nilai RPN digunakan untuk membandingkan penyebab-penyebab yang teridentifikasi selama dilakukan analisis dari setiap masalah yang potensial dapat kemudian. Karena rating *saverity* , *occurrence*, dan *detection* berkisar antara 1 sampai 10, maka RPN memiliki nilai *minimum* 1, dan nilai *maksimum* 1000 (RPN = SEV x OCC x DET = 10 x 10 x 10 = 1000).

Semakin kecil nilai RPN maka semakin baik tingkat keandalan sistem tersebut, begitu juga sebaliknya apabila nilai RPN tinggi maka semakin bermasalah sistem tersebut. Pada metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) sebuah sistem dikatakan handal apabila nilai RPNnya kecil dari 200, apabila nilai RPN lebih dari 200 maka perlu adanya penanggulangan terhadap sistem tersebut. Cara lain untuk menampilkan nilai RPN adalah dengan suatu analisa pareto, dimana analisa pareto berguna untuk mengetahui sistem yang memberikan kontribusi kegagalan dalam sistem (Dermott, 2009).

2.2.11 Penetapan Nilai *Saverety*, *Occurrence* dan *Detection Instrument* pada *Cooling Water System* PLTA PB.Soedirman PT.Indonesia Power Mrica.

Untuk mengetahui dan mendapatkan peringkat atau kinerja kejadian pada metode FMEA, maka perlu dilakukan penetapan nilai *saverity*, *occurrence* dan *detection* sesuai dengan kejadian yang ada di lapangan.

2.2.11.1 Penetapan Saverety

Kriteria *saverety*, *occurrence* dan *detection* pada penelitian ini diadopsi dari *reference manual potential failure mode and effect analysis* (FMEA) dari *automotive industry action grup* (AIAG) yang menggambarkan industri otomotif. Untuk itu diperlukan penyesuaian dan modifikasi yang menggambarkan objek penelitian tentang analisa *instrument* pada *cooling water system* dan kejadian berdasarkan penelitian langsung di lapangan.

Berdasarkan gangguan yang ada pada *cooling water system* di PLTA PB.Soedirman, ditetapkan kriteria dan peringkat seperti tabel 2.15 berikut:

Tabel 2.16 Kriteria *saverety* pada *cooling water system* di PLTA PB.Soedirman

Efek	Kriteria Saverity	Peringkat
Bahaya tanpa tanda-tanda	Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem dan membahayakan tetapi tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	10
Bahaya dengan tanda-tanda	Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem, dan membahayakan, dengan adanya tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	9
Sangat tinggi	CWS tidak dapat beroperasi (<i>trip</i>) karena ada gangguan besar, hilangnya fungsi utama mesin.	8
Tinggi	CWS tidak dapat beroperasi (<i>trip</i>)	7
Sedang	CWS dapat dioperasikan, ada alat yang tidak dapat berfungsi/rusak.	6
Rendah	CWS dapat beroperasi tetapi ada gangguan alat, terjadi penurunan performansi.	5
Sangat rendah	CWS dapat beroperasi dengan normal tetapi settingan mengalami penurunan	4
Kecil (<i>minor</i>)	CWS dapat beroperasi dengan normal, namun ada gangguan kecil, operator menyadari adanya gangguan	3
Sangat kecil	CWS dapat beroperasi dengan normal, efek dari gangguan tidak mengganggu operasi.	2
<i>None</i>	Tidak ada efek sama sekali.	1

(sumber : penulis)

2.2.11.2 Penetapan *Occurrence*

Berdasarkan gangguan *cooling water system* di PLTA PB.Soedirman PT.Indonesia Power ditetapkan peringkat dan kriteria *occurrence* seperti pada tabel 2.16 berikut:

Tabel 2.17 Kriteria *Occurrence Cooling Water System* PLTA PB.Soedirman

Peluang kegagalan	Kejadian kegagalan	Frekuensi kejadian (3Tahun)	Peringkat
Sangat tinggi	1 per shift	> 200	10
	1 per 7 hari	100 - 199	9
Tinggi	1 per 14 hari	54 - 99	8
	1 per 30 hari	25 - 55	7
Sedang	1 per 2 bulan	14 - 24	6
	1 per 6 bulan	7 - 13	5
Rendah	1 per 1 tahun	3 - 6	4
	1 per 2 tahun	2	3
Terkontrol	1 per 3 tahun	1	2
	Tidak pernah sama sekali	<1	1

(Sumber : penulis)

2.2.11.3 Penetapan *Detection*

Berdasarkan gangguan *cooling water system* di PLTA PB.Soedirman, ditetapkan kriteria *detection* dan peringkat seperti pada tabel 2.17 berikut ini:

Tabel 2.18 kriteria *detection cooling water system* PLTA PB.Soedirman

Deteksi	Kriteria <i>Detection</i>	Peringkat
Tidak terdeteksi	Tidak bisa terdeteksi dan menimbulkan kerusakan parah.	10
Sedikit	Deteksi sedikit karena kontrol sulit mendeteksi gangguan.	9
Sangat kecil	Deteksi sangat kecil dan cws tidak dapat start.	8
Kecil	Deteksi kecil, cws mengalami <i>trip</i> .	7
Rendah	Deteksi sangat kecil, ada alat tidak berfungsi/rusak, dilakukan penggantian alat.	6

Lanjutan Tabel 2.17 kriteria *detection cooling water system* PLTA PB.Soedirman

Deteksi	Kriteria <i>Detection</i>	Peringkat
Sedang	Deteksi sedang karena ada alat mengalami gangguan, dilakukan tindakan pengecekan, dan perbaikan	5
Cukup tinggi	Deteksi cukup tinggi, komponen mengalami perubahan settingan, dilakukan pengecekan dan <i>setting</i> komponen	4
Tinggi	Deteksi tinggi, karena adanya peringatan <i>alarm</i> pada cws.	3
Sangat tinggi	Deteksi sangat tinggi, terdeteksi alat kontrol dan perawatan rutin.	2
Pasti	Pasti terdeteksi	1

(Sumber : penulis)

2.2.12 Diagram Pareto

Diagram pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya keaglan yang terjadi. Masalah yang paling banyak terjadi ditunjukkan oleh grafik batang pertama yang paling tinggi serta ditempatkan di sisi paling kiri, dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit ditunjukkan oleh grafik batang yang paling terendah dan terakhir dan ditempatkan di sisi paling kanan. Dengan adanya diagram pareto, analisa akan lebih efektif dengan memusatkan perhatian pada sebab-sebab yang mempunyai dampak paling besar terhadap kejadian yang meninjau berbagai gambar. Diagram pareto dikembangkan oleh seorang ahli ekonomi Italia bernama *Vilfredo Pareto* pada abad ke 19 (*Gaspresz*, 1998). Beberapa manfaat dari diagram pareto yaitu (*Giu*, 2008):

1. Menunjukkan prioritas sebab-sebab kejadian atau persoalan yang perlu ditangani.
2. Membantu memusatkan perhatian pada persoalan utama yang harus ditangani dalam upaya perbaikan.

3. Menunjukkan hasil upaya perbaikan. Setelah dilakukan tindakan koreksi berdasarkan prioritas, kita dapat mengadakan pengukuran ulang dan memuat diagram pareto baru. Apabila terdapat perubahan dalam diagram pareto baru, maka tindakan korektif ada efeknya.

2.2.13 Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan adalah sebuah operasi atau aktifitas yang harus dilakukan secara berkala dengan tujuan untuk melakukan pergantian kerusakan peralatan. Fungsi pertama dari perawatan adalah untuk melindungi peralatan-peralatan agar dapat beroperasi secara normal dan juga untuk mencegah kerusakan dini. Secara garis besar maintenance terbagi dua *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*.

1. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance adalah perawatan yang dilakukan pada interval waktu yang sudah ditentukan, contoh dari strategi ini adalah *scheduled maintenance*, atau yang berhubungan dengan kriteria yang sudah ditentukan, contohnya *condition maintenance*. Dengan melakukan perawatan *preventive* mengandung maksud untuk mengurangi *probabilitas* kegagalan atau penurunan performansi dari suatu sistem (Priyatna, 2000). Pemeliharaan pada PLTA PB. Soedirman dilakukan secara berulang-ulang untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan mesin meliputi peralatan turbin dan alat bantu, dilakukan secara berkala dan berkesinambungan berdasarkan buku O & M sesuai jadwal pemeliharaan rutin yang telah ditentukan.

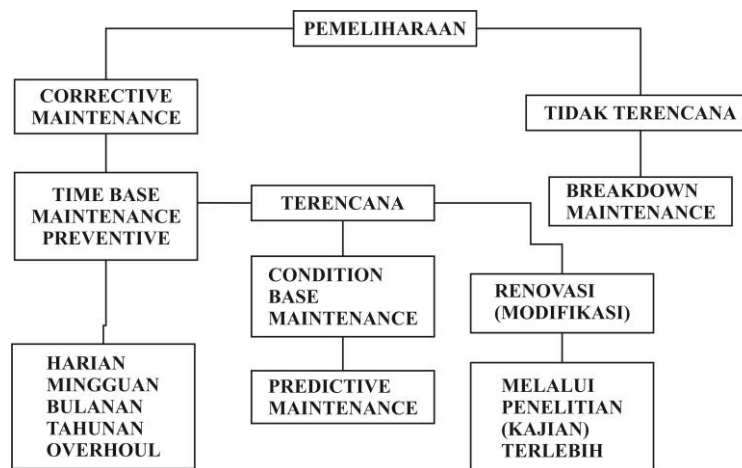
2. *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance adalah perawatan yang dilakukan setelah perawatan mengalami kegagalan dan perawatan ini dimaksudkan untuk mengembalikan sistem tersebut dalam keadaan dimana suatu sistem dapat melakukan fungsinya kembali (Priyatna, 2000).

3. *Emergency Maintenance*

Emergency Maintenance adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan yang mendadak yang waktunya tidak tertentu dan

pelaksanaannya tidak direncanakan sebelumnya serta sifatnya darurat. Gangguan *emergency* adalah gangguan yang bersifat mendadak dan menimbulkan *alarm / trip*, terjadi pada saat beroperasi maupun *stand by* yang mengakibatkan PLTA PB. Soedirman tidak dapat beroperasi.



Gambar 2.18 Diagram Pemeliharaan
(Sumber : dokumentasi pribadi)

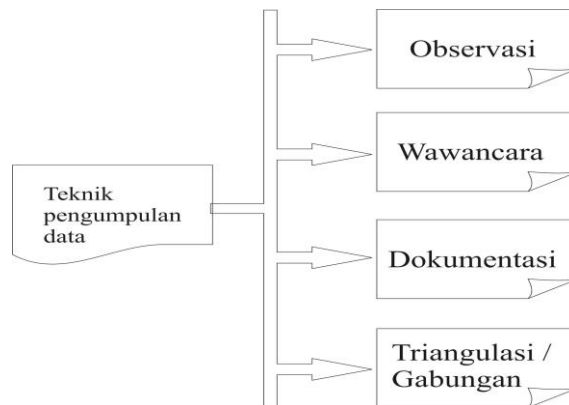
2.2.14 Penelitian Kualitatif

Dalam penelitian kualitatif yang menjadi instrumen atau alat penelitian adalah peneliti itu sendiri. Peneliti melakukan terjun ke lapangan untuk menetapkan fokus penelitian, memilih informan sebagai sumber data, melakukan pengumpulan data, memilih kualitas data, menafsirkan data dan membuat kesimpulan atas temuannya. *“Dalam penelitian kualitatif, tidak ada pilihan lain daripada menjadikan manusia sebagai instrumen penelitian utama. Alasannya ialah bahwa, segala sesuatunya belum mempunyai bentuk yang pasti. Masalah, fokus penelitian, prosedur penelitian, hipotesis yang digunakan, bahkan hasil yang diharapkan, itu semuanya tidak dapat ditentukan secara pasti dan jelas sebelumnya. Segala sesuatu masih perlu dikembangkan sepanjang penelitian itu. Dalam keadaan yang serba tidak pasti dan tidak jelas itu, tidak ada pilihan lain dan hanya peneliti itu sendiri sebagai alat satu – satunya yang dapat mencapainya”.* (Nasution , 1988)

Dalam hal *instrument* penelitian kualitatif, *Lincoln and Guba* (1986) menyatakan bahwa :

“The instrument of choice in naturalistic inquiry is the human. We shall see that other form of instrumentation may be used in later phases of the inquiry, but the human is the initial and continuing mainstay. But if the human instrument has been used extensively in earlier stages of inquiry, so that an instrument can be constructed that is grounded in the data that the human instrument has product”.

Berdasarkan dua pernyataan tersebut dapat difahami bahwa dalam penelitian ini pada awalnya dimana permasalahan belum jelas dan pasti, maka yang menjadi instrument adalah peneliti sendiri. Tetapi setelah masalahnya yang akan dipelajari jelas, maka dapat dikembangkan suatu instrumen. Dalam penelitian *kualitatif instrument* utamanya adalah peneliti sendiri, namun selanjutnya setelah fokus penelitian belum jelas, maka kemungkinan akan dikembangkan *instrument* penelitian sederhana, yang diharapkan dapat melengkapi data dan membandingkan dengan data yang telah ditemukan melalui observasi dan wawancara.



Gambar 2. 19 Blok Diagram Teknik Pengumpulan Data
(Sumber : Sugiyono)