

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Kajian Umum (*Review General Literature*)

Berkaitan penelitian yang dilakukan oleh penulis, terdapat beberapa referensi yang menjadi acuan dalam pengembangan suatu penelitian dan memiliki sepuluh tinjauan pustaka untuk dijadikan sebagai landasan maupun kajian umum serta referensi penelitian diantaranya :

Syahputra, M. Arie (2009) pada penelitiannya yang berjudul “Studi Flow Meter Magnetik (Aplikasi pada Laboratorium Instrumentasi PTKI Medan-Sumatera Utara) “Menjelaskan bahwa penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui jumlah debit air yang mengalir pada pipa. Disamping itu, penelitian ini juga untuk mengetahui kecepatan aliran fluida yang mengalir pada pipa. Pentingnya proses operasi suatu pabrik maka penggunaan peralatan instrumentasi di dunia industri harus dapat menghasilkan pengukuran optimal, dengan dasar parameter yaitu tekanan (*Pressure*), suhu (*Temperature*), tinggi permukaan (*level*) dan aliran (*flow*). Flow Meter Magnetik dengan menerapkan hukum faraday terhadap induksi elektromagnetik, sehingga alat ukur tersebut dapat mengukur kecepatan aliran fluida konduktif secara elektrik yang mengalir melalui medan magnetik dengan cara mendeteksi tegangan yang diinduksikan ke dalam cairan. Besarnya sinyal tegangan bergantung pada kecepatan rata-rata aliran fluida( $v$ ) yang melewati kekuatan medan magnetik dan panjang konduktornya.

Hendra (2012) pada penelitiannya 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 untuk menganalisa keandalan pada *Fuel Oil System* pada pembangkit. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA). 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, *Check Valve* 2 sebesar 60, *Fuel Nozzle* 1 sebesar 60, *Fuel Nozzle* 2 sebesar 60, *Flow Divider* 2 sebesar 36, *Check Valve* 9 sebesar 36, *Check Valve* 10 sebesar 36, *Selector Switch Flow Divider* sebesar 27, *Fuel Nozzle* 8 sebesar 24, *Flow Meter* HSD sebesar 20, *Sero Valve* Sebesar 18 dan terkecil *Fuel Oil Pump* sebesar 12.

Putradhi (2013) pada penelitiannya yang berjudul “Analisa *Safety Instrument System* dengan Metode FMEA dan FTA Pada Turbin Uap di PT PJB Unit Pembangkit Gresik”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan analisis keandalan dan sistem safety yang berpusat pada satu *equipment* yaitu turbin uap, karena turbin uap merupakan salah satu *equipment* yang terpenting dalam pembangkit listrik 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 *analisa Risk Priority Number* (RPN) 100 untuk nilai terbesar dan memiliki frekuensi terbanyak adalah komponen *Main Stop Valve*, karena memiliki sub komponen yang kompleks dan sangat penting dalam sistem safety turbin.

Gunawan (2015) pada penelitiannya yang berjudul “Pemeliharaan dan Kalibrasi Instrumen Kendali *Governor Valve* pada Turbin di PT. PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan Sektor Pembangkitan dan Pengendalian Pembangkitan Ombilin” menjelaskan bahwa salah satu komponen penting yang ada di sistem PLTU adalah sistem *governor*. Pada sistem PLTU, katup kontrol digunakan untuk mengatur jumlah volume uap didalam pipa sebelum menuju ke turbin uap, untuk menentukan besar kecilnya bukaan katup, katup kontrol mendapatkan perintah dari suatu kontroler yang disebut *governor*. Turbin uap PLTU Sektor Ombilin Unit 1 distel agar selalu pada putaran 3000 rpm, untuk itu perlu dilakukan pengendalian katup kontrol agar aliran uap menuju turbin selalu stabil dan sesuai dengan yang sudah ditentukan. Pada penelitiannya dibahas mengenai kalibrasi *pressure switch* dan juga pemeliharaan instrumen pendukung agar memiliki karakteristik respon sistem yang sesuai dengan tuntutan desain. Kalibrasi *pressure switch* dilakukan dengan cara membandingkan nilai yang

terbaca saat ini terhadap standar ukur yang sudah ditentukan. Apabila terdapat perbedaan antara nilai yang terbaca saat ini dengan standar ukur yang telah ditentukan maka dilakukan penyetelan sampai mendapatkan nilai yang sesuai dengan standar ukur, untuk meningkatkan respon governor maka perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala pada instrumen pendukungnya antara lain pemeliharaan governor katup kontrol, aktuator, *solenoid valve*, modul MOOG, LVDT.

Harapan L G (2015) pada skripsinya dengan judul “Perancangan Kendali *Valve* dan Pemantauan Pendistribusian Cairan pada Tangki” menjelaskan bahwa kendali *valve* dapat dibentuk dari beberapa sistem kendali, salah satunya adalah dengan menggunakan sistem kendali *Fuzzy Logic*. Pada skripsi ini, dibentuk sebuah sistem kendali *valve* yang dapat mengatur pembukaan dan penutupan *valve* sesuai dengan pengkondisian. Pengkondisian tersebut berdasarkan kondisi ketinggian air pada tangki saat sebelum terjadinya pendistribusian di tiap-tiap tangki. Pengkondisian tangki berasal dari pembacaan ketinggian air yang dibaca oleh sensor SRF 06 yang terdapat di dalam tabung, dari hasil pengujian sistem kendali *valve* dapat membuka dan menutup secara otomatis dan memiliki tingkat linear yang mendekati sempurna antara sistem kendali *valve* keran dengan ketinggian tangki. Serta memiliki error 2% sesaat menutup rapat *valve*, dikarenakan keterbatasan antara logika *fuzzy* dan kemampuan motor untuk mengendalikan *valve* untuk menutup rapat.

Abraham (2006) pada penelitiannya yang berjudul “Pengaruh *Guide Vane* terhadap Frekuensi saat sinkronisasi Generator unit 1 di PLTA PB SOEDIRMAN” menjelaskan bahwa generator adalah sebuah peralatan listrik yang mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Generator selalu dalam keadaan aktif dan beroperasi secara maksimal untuk dapat menjaga ketersediaan listrik sehingga selalu dihubungkan dengan turbin. Turbin merupakan peralatan yang mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Energi kinetik yang dihasilkan bersumber dari bahan bakar maupun alam. Contohnya air yang ditampung dalam bendungan dapat diatur ketinggian dan volumenya agar debit air yang mengalir mampu memutar poros turbin. Hal ini juga dipengaruhi oleh *Main Inlet Valve* agar tekanan

yang dihasilkan dari pipa pesat dan saat menuju turbin dapat aktif membuka sehingga tidak mempengaruhi peralatan lainnya terutama pada putaran poros turbin. Putaran poros turbin akan membuat rotor pada generator juga berputar. Putaran rotor generator menghasilkan energi listrik dan frekuensi listrik. Semakin cepat rotor berputar maka semakin besar frekuensi yang dihasilkan oleh generator, untuk mengendalikan besar frekuensi keluaran generator agar sesuai dengan frekuensi yang dibutuhkan oleh beban, maka dibutuhkan *guide vane*. *Guide vane* merupakan bagian dari turbin, berfungsi untuk mengendalikan air yang mengalir menuju turbin. Semakin besar persentase buka *guide vane*, maka semakin cepat turbin berputar dan frekuensi keluaran generator semakin besar. Semakin kecil persentase buka *guide vane*, maka semakin pelan turbin berputar dan frekuensi keluaran generator semakin kecil. Besar dan kecil persentase buka *guide vane* diatur oleh governor yang telah terprogram.

Trihardika Bihantoro (2016) pada penelitiannya yang berjudul “Analisis Kavitasi yang terjadi pada Turbin Francis di PLTA PB Soedirman” menjelaskan bahwa permasalahan yang sering terjadi pada turbin francis adalah timbulnya kavitasi. Kavitasi adalah peristiwa gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir sehingga membentuk gelembung-gelembung uap yang disebabkan karena berkurangnya tekanan cairan tersebut sampai dibawah titik jenuh uapnya, yang menyebabkan turunnya efisiensi turbin serta rusaknya komponen-komponen pada turbin. Motode yang dilakukan dalam penelitian ini dengan cara mengetahui nilai tekanan didalam turbin. Hal ini bisa diketahui dengan cara mengetahui berapa lebar bukaan *guide vane* serta berapa kecepatan poros turbin tersebut agar nilai *head* tetap. Pengaturan *guide vane* dapat diatas dengan laju aliran yang diatur pada *Main Inlet Valve* saat pipa pesat dari tekanan air yang masuk sebelum diproses di turbin melalui *spiral casing* yang didalamnya terdapat *guide vane*, dengan semakin besarnya bukaan *guide vane* pada turbin francis maka diperlukan lebih banyak debit air yang mengalir untuk mendapatkan *head* yang ditentukan, sehingga tinggi kavitasi pada bukaan *guide vane* 12 cm lebih besar dari pada bukaan *guide vane* 8 cm dan 10 cm.

Moh.Riski Ekocahya (2016) pada skripsinya dengan judul “Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (*Water Flow Control*) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berbasis *Fuzzy Logic Control*” menjelaskan bahwa melakukan perancangan sistem PLTMH *simulink* dengan kontrol yang dapat mengatur katup keluaran debit air untuk putaran turbin dan generator yang disesuaikan dengan daya beban pemakaian. Prinsip kerja dari kontrol katup tersebut yakni untuk mengatur besarnya keluaran air yang digunakan untuk menambah atau mengurangi kecepatan turbin dan generator saat terjadi perubahan beban. Hal ini bertujuan untuk membuat generator akan menghasilkan daya yang sesuai dengan beban pemakaian sehingga akan mempertahankan nilai frekuensi dan tegangan. Pada penelitian ini akan diketahui respon kontrol dalam menyetabilkan nilai frekuensi dan nilai tegangan serta untuk mengetahui apakah kecepatan rotor dan frekuensi akan kembali stabil saat terjadi kenaikan beban atau penurunan nilai beban pemakaian. Hasil penelitian yang dapat diketahui bahwa kontrol PID dan Kontrol *Fuzzy* mampu menyetabilkan nilai frekuensi dan tegangan, namun terdapat perbedaan pada respon waktu untuk mencapai nilai stabil. Pada kontrol PID memerlukan waktu sekitar 100 sekon untuk mencapai frekuensi 50 Hz saat terjadi perubahan nilai beban. Artinya, kecepatan rotor akan kembali stabil sekitar 1500 rpm saat mencapai waktu 100 sekon sedangkan kontrol fuzzy mampu menyetabilkan frekuensi 50 Hz atau mampu kembali mencapai kecepatan rotor 1500 rpm hanya dalam waktu sekitar 20 sekon. Adapun tegangan yang dihasilkan kontrol PID masih memiliki nilai drop untuk stabil pada 220 volt sedangkan tegangan pada kontrol fuzzy mampu tetap stabil sebesar 220 volt.

Fuad Dwi Atmaja (2017) pada penelitiannya dengan judul “Modifikasi Alat Kalibrasi *Governor Valve* untuk menstabilkan Tekanan Oil hunting guna efisiensi waktu startup pada unit 3 PLTP Kamojang” menjelaskan bahwa penelitian yang telah dilakukan ialah *turbine valve* merupakan bagian yang sangat penting dalam pengoperasian pembangkit listrik tenaga panas bumi. *Turbine valve* terdiri dari *main stop valve* dan *governor valve*. *Governor valve* berfungsi untuk mengatur aliran uap yang masuk kedalam turbin agar sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan. Proses kalibrasi katup *governor* dilaksanakan sebelum proses start up

unit pembangkit. Untuk memastikan kinerja dari *governor valve* berfungsi dengan baik maka perlu dilakukan kalibrasi *governor valve*. Kalibrasi *governor valve* secara manual dengan melakukan kalibrasi *governor speed changer*. Kalibrasi *governor speed changer* dilakukan menggunakan *temporary governor impeller oil pressure creating devices*. Proses ini sering terkendala dengan metode manual pengaturan *valve temporary governor impeller oil pressure creating devices* sehingga sulit untuk didapatkan kestabilan tekanan yang di inginkan. Proses kalibrasi ini juga memerlukan waktu yang lama. Dibutuhkan teknisi senior yang sudah berpengalaman untuk melakukan pengaturan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi pemanfaatan *Electric Hydraulic Converter* dalam pelaksanaan proses kalibrasi. Pada *electric hydraulic converter* terdapat kontroller yang dapat digunakan untuk mengatur dan mempertahankan output tekanan. Berdasarkan hasil analisis data pada tugas akhir ini dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan tekanan yang diinginkan hanya membutuhkan waktu 1 jam, dapat menghilangkan ketidakpastian hasil tekanan 2,8 bar dengan injek arus sebesar 12,96 mA dan juga dapat mengurangi kecenderungan pada teknisi senior yang berpengalaman untuk melakukan proses kalibrasi.

Suryo Probo Kusuma (2017) pada penelitiannya dengan judul “Analisa penyebab kerusakan *Main Control Valve* kinerja unit *Excavator Hitachi EX 2500-5*” menjelaskan bahwa alat berat merupakan salah satu aplikasi hidrolik dan juga merupakan alat bantu yang digunakan oleh manusia untuk melakukan pekerjaan yang berat. Salah satu alat berat tersebut adalah *Excavator*. *Excavator* merupakan unit alat berat yang paling vital fungsinya dakan proses eksploitasi lahan di site pertambangan. Maka tidaklah mengherankan apabila di lokasi tambang *excavator* berukuran besar bekerja nyaris tanpa henti, guna memenuhi target produksi yang dibebankan oleh perusahaan serta permintaan pasar. Oleh karena itu diperlukan perawatan serta perbaikan yang optimal dan efisien agar unit mampu bekerja secara optimal. Akibat beban kerja yang sangat padat, komponen-komponen alat berat khususnya pada *excavator EX 2500-5* akan mengalami berbagai kerusakan. Salah satunya dari komponen yang rentan mengalami kerusakan adalah komponen hidrolik seperti *main control valve EX 2500-5*. *Main Control Valve* adalah suatu

komponen sistem hidrolok yang digunakan pada unit alat berat yang berfungsi untuk mengontrol aliran hidrolis pada sistem secara parsial (sebagian) atau keseluruhan. Pencegahan agar tidak terjadi kerusakan pada *main control valve* EX 2500-5 adalah dengan melakukan perawatan berkala dan sesuai prosedur.

Adapun penelitian yang penulis lakukan berbeda dengan penelitian yang telah diuraikan diatas. Penelitian ini melakukan analisa keandalan pada sistem *main inlet valve* di PLTA PB SOEDIRMAN-PT.INDONESIA POWER UP Mrica.

Pada **Tabel 2.1.** dibawah ini dipaparkan ringkasan dari penelitian sebelumnya yang menjadi referensi penulis.

**Tabel 2.1.** Ringkasan Penelitian Sebelumnya

No	Tahun	Penulis	Judul	Perangkat
1	2009	Syahputra, M	Studi Flow Meter Magnetik (Aplikasi pada Laboratorium Instrumentasi PTKI Medan-Sumatera Utara)	Pipa Air
				Pengukuran Tekanan
				Pengukuran Suhu
				Pengukuran Level
				Aliran Fluida
2	2012	Hendra	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	<i>Fuel Oil</i> Sistem Pembangkit
				<i>Fuel Nozzle</i>
				<i>Check Valve</i>
				<i>Flow Meter</i>
				<i>Fuel Oil Pump</i>
3	2013	Putradhi	Anlisa Safety Instrument System dengan Metode FMEA Dan FTA Pada Turbin Uap Di PT PJB Unit Pembangkit Gresik	Turbin Uap
				<i>Main Stop Valve</i>
				<i>Risk Priority Number</i>
				Keandalan Sistem Unit
4	2015	Gunawan	Pemeliharaan dan Kalibrasi Instrumen Kendali <i>Governor Valve</i> pada Turbin di PT. PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan Sektor Pembangkitan dan Pengendalian Pembangkitan Ombilin	Governor
				Turbin Uap
				<i>Pressure Switch</i>
				Katup Kontrol
				Solenoid Valve, Aktuator
5	2016	Abraham mtc	Pengaruh Guide Vane terhadap Frekuensi saat sinkronisasi Generator unit 1 di PLTA PB SOEDIRMAN	<i>Guide Vane</i>
				Putaran Poros Generator
				Putaran Poros Turbin
				Governor
				<i>Main Inlet Valve</i>

**Tabel 2.1.1.** Lanjutan Ringkasan Penelitian Sebelumnya

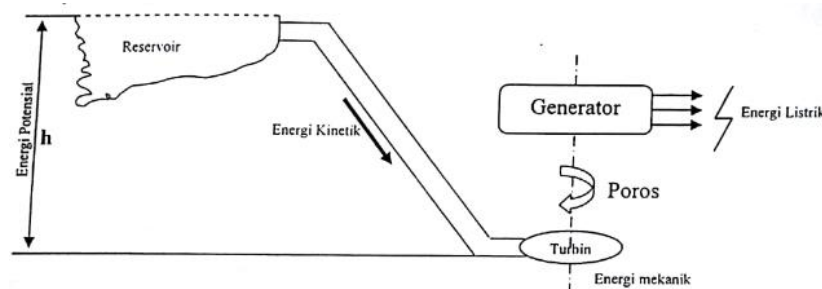
6	2015	Harapan L.G	Perancangan Kendali Valve dan Pemantauan Pendistribusian Cairan pada Tangki	buka tutup valve
				Sistem Kendali <i>Fuzzy Logic</i>
				Volume Tangki
				Sensor SRF 06
				Motor DC
7	2016	Trihardika Bi	Analisa Kavitasasi yang terjadi pada Turbin Francis di PLTA PB Soedirman	Turbin Francis
				<i>Guide Vane</i>
				<i>Main Inlet Valve</i>
				<i>Spiral Casing</i>
				Tekanan Cairan
8	2016	Moh.Riski E	Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air ( <i>Water Flow Control</i> ) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berbasis <i>Fuzzy Logic Control</i>	Katup Keluaran Debit Air
				Putaran Turbin
				Putaran Generator
				Kontrol PID
				Kontrol <i>Fuzzy</i>
9	2017	Fuad Dwi A	Modifikasi Alat Kalibrasi <i>Governor Valve</i> untuk menstabilkan Tekanan Oil hunting guna efisiensi waktu startup pada unit 3 PLPT Kamojang	Turbin Valve
				<i>Main Stop Valve</i>
				<i>Governor Valve</i>
				<i>Oil Pressure Governor</i>
				<i>Electric Hydraulic Converter</i>
10	2017	Suryo Probo K	Analisa penyebab kerusakan <i>Main Control Valve</i> kinerja unit <i>Excavator Hitachi EX 2500-5</i>	Alat Berat
				Sistem Kendali
				Excavator
				Hidrolik
				<i>Main Control Valve</i>



## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air (*Hydro Power Plant*) atau dikenal dengan singkatan PLTA adalah sistem pembangkit energi listrik yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik melalui generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan aliran air (Hasbullah, 2009).



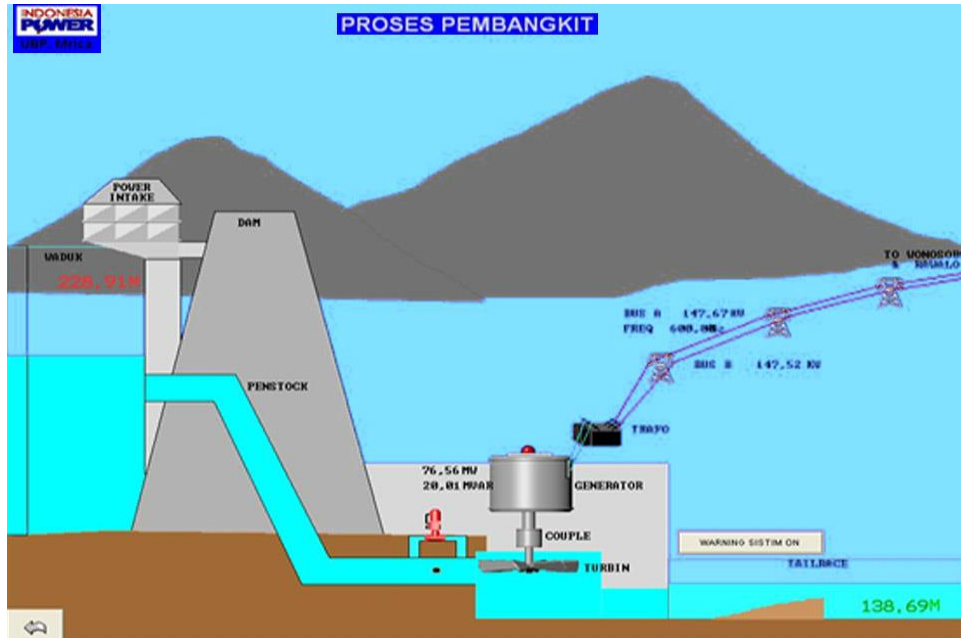
**Gambar 2.1.** Skema Perubahan Energi pada PLTA  
(Sumber : PLTA PB SOEDIRMAN, 2009)

Pada tanggal 23 maret 1989 telah diresmikannya PLTA PB SOEDIRMAN oleh Presiden Republik Indonesia Bp. Soeharto, dengan memiliki tiga unit pembangkit berkapasitas penuh sebesar 180 MW ( $3 \times 61,5$  MW). Tenaga listrik yang dihasilkan tersebut disalurkan melalui saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV ke arah barat melalui Gardu Induk Wonosobo sepanjang 150 km dan ke arah timur melalui Gardu Induk sepanjang 36 km yang kemudian menunjang sistem jaringan interkoneksi se-Jawa dan Bali melalui Gardu Induk 150/150 kV ungaran.

#### 2.2.1.1. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air

Menurut Sukanto Reksohadiprojo (1994) air merupakan sumber energi yang mudah didapat dan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui (konvensional). Air memiliki energi potensial dan energi kinetik. Tenaga air (*Hydropower*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Tenaga air ini dimanfaatkan dan digunakan, sehingga dapat dikonversi ke dalam energi mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan

menggunakan alat penggerak utama (*prime mover*) berupa kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai.



**Gambar 2.2.** Proses Pembangkitan Energi Listrik PLTA PB SOEDIRMAN  
(Sumber :PLTA PB SOEDIRMAN, 2015)

Prinsip PLTA adalah mengubah air menjadi energi listrik melalui perubahan energi sebagai berikut :

- a. Air yang dikumpulkan pada ketinggian tertentu menyebabkan perubahan energi menjadi energi potensial. Energi potensial bisa dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (2.1)$$

Keterangan :

- $E_p$  = Energi Potensial (Joule)  
 $m$  = massa (kg)  
 $g$  = gravitasi ( $m/s^2$ )  
 $h$  = ketinggian (m)

- b. Adanya *head* mengubah energi potensial menjadi energi kinetik sebagai akibat dari aliran air sehingga timbul air dengan kecepatan tertentu dengan rumus sebagai berikut :

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.2)$$

Keterangan :

$E_k$  = Energi Kinetik (Joule)

$M$  = massa (kg)

$V$  = kecepatan (m/s)

- c. Energi kinetik yang masuk ke turbin diubah menjadi energi mekanik dengan rumus sebagai berikut :

$$E_m = T \cdot \omega \cdot t \quad (2.3)$$

Keterangan :

$E_m$  = Energi Mekanik (Joule)

$T$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Sudut Putar (rad/s)

$t$  = Waktu (s)

- d. Ketika turbin berputar maka rotor pada generator juga berputar sehingga menghasilkan energi listrik sesuai persamaan :

$$E_l = V \cdot I \cdot t \quad (2.4)$$

Keterangan :

$E_l$  = Energi Listrik (Joule)

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Arus (A)

$t$  = Waktu (s)

Rumus yang digunakan untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan oleh sebuah pembangkit listrik tenaga air

$$P = \rho \times g \times h \times Q \times \eta \quad (2.5)$$

Keterangan:

$P$  = Daya Listrik (kW)

$g$  = Konstanta Gravitasi =  $9.8 \text{ m/s}^2$

$\eta$  = Efisiensi Turbin

$Q$  = Debit Air (m<sup>3</sup>/s)

$h$  = Tinggi Terjun

$\rho$  = Massa Jenis Air (kg/m<sup>3</sup>)

Menurut (Djiteng, 2010) prinsip kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Air secara umum adalah:

- a. Aliran sungai dengan jumlah debit air yang demikian besar ditampung dalam waduk (*Reservoir*) atau bendungan (*Dam*) untuk mengumpulkan energi potensial air.
- b. Air tersebut dialirkan melalui saringan *Power Intake*, kemudian masuk ke dalam Pipa Pesat (*Penstock*) sebagai energi potensial untuk dikonversikan menjadi energi kinetik.
- c. Pada ujung pipa pesat dipasang Katup Utama (*Main Inlet Valve*) untuk mengalirkan air ke turbin. Katup utama akan ditutup otomatis apabila terjadi gangguan atau saat dilakukan perbaikan/pemeliharaan turbin.
- d. Air yang mempunyai tekanan dan kecepatan tinggi (energi kinetik) dirubah menjadi energi mekanik pada turbin dengan dialirkan melalui sirip-sirip pengarah (sudu tetap) dan akan mendorong sudu jalan/*runner*.
- e. Energi putar yang diterima oleh turbin selanjutnya digunakan untuk menggerakkan rotor generator yang kemudian akan menghasilkan tenaga listrik dengan adanya sistem penguatan (sistem eksitasi) pada generator.
- f. Air yang keluar dari turbin akan mengalir melalui Tail Race dan kembali ke sungai.
- g. Putaran poros turbin menyebabkan rotor generator ikut berputar dan kemudian akan menghasilkan tenaga listrik arusbolak-balik (AC).
- h. Agar dapat ditransmisikan untuk jarak yang jauh maka tegangan tersebut kemudian dinaikkan menjadi tegangan tinggi menggunakan transformator.

### **2.2.2. *Main Inlet Valve* (M.I.V) / Katup Masuk Utama**

*Main Inlet Valve* (M.I.V) merupakan katup masuk utama yang terletak diantara sisi hilir pipa pesat dengan sisi hulu turbin yang berfungsi untuk membuka dan menutup aliran air pada saat turbin sedang beroperasi maupun dalam keadaan tidak beroperasi atau sedang dalam pemeliharaan maupun pengosongan, dalam hal ini disebut pengamanan pada turbin (Kanda Septian, 2009).



**Gambar 2.3.** *Main Inlet Valve*  
(Sumber : PLTA PB SOEDIRMAN)

PLTA PB SOEDIRMAN memiliki tiga unit *main inlet valve*, dimana pada pengoperasian unitnya menggunakan servomotor tipe kerja ganda (Double Acting). katup yang digunakan adalah jenis kupu-kupu (*Butterfly Valve*). Katup kupu-kupu (*butterfly valve*) digunakan untuk mengontrol (*trhottling/regulate valve*) aliran fluida yang bertekanan rendah, yang dioperasikan untuk membuka penuh maupun menutup penuh pada suatu aliran dengan sudut tetap  $90^{\circ}$ .



**Gambar 2.4.** *Butterfly Valve*  
(Sumber : kitomaindonesia, 2017)

Berikut data teknis *main inlet valve* di PLTA PB SOEDIRMAN :

- Buatan = Boving
- Bahan = Cast Steel BS 3100 A4
- Diameter katup = 3.4 m
- Dimensi keseluruhan = 5.000 mm x 4.075 mm x 1.125 mm
- Tipe = *Butterfly Valve*
- Tekanan desain = 9.5 bar
- Berat = 33.000 kg

#### **2.2.2.1. Rangkaian *By-Pass Arrangement***

Menurut eko setiawan (2017) rangkaian *by-pass* terletak diantara *spiral casing* dan pipa pesat, adanya rangkaian *by-pass* berfungsi untuk menyeimbangkan tekanan air yang terdapat dibagian luar katup masukan dengan bagian dalam katup masukan. *Rangkaian by-pass* terdiri dari katup pisah, katup *by-pass* dan sejumlah sistem pipa lubang besar yang diperlukan.

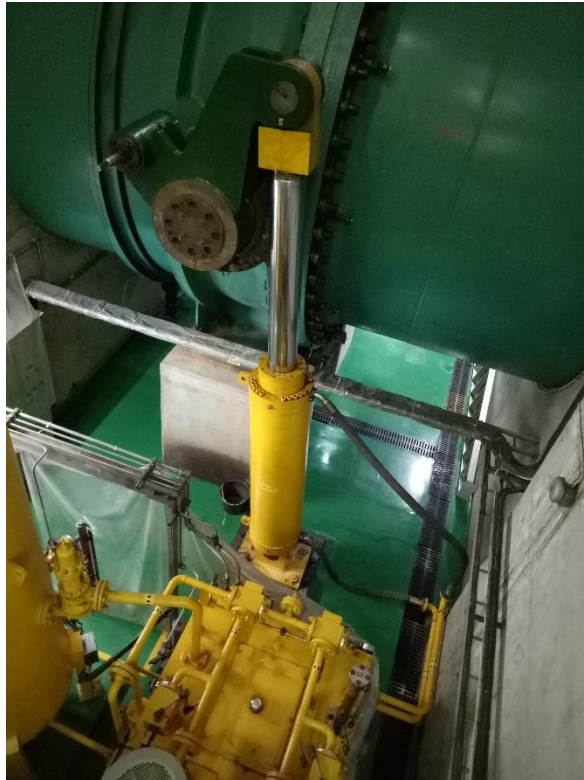
Katup pisah dihubungkan ke pipa pesat (penstock) pada katup masuk utama dan dioperasikan secara manual yang dilengkapi dengan sebuah katup *by-pass*. Diantara katup pisah dan katup *by-pass* terdapat katup pembebas udara dan katup untuk minyak pelumas bantalan poros yang dihubungkan pada kepemipaan *by-pass*.

Katup *by-pass* dihubungkan dengan pipa *by-pass* bertekanan tinggi yang memiliki lubang sebesar 250 mm. Katup *by-pass* ini merupakan katup yang terbuka secara hidrolis dan merupakan katup yang tertutup dengan bantuan per/pegas, hal ini merupakan bagaian dari urutan sistem kerja katup masuk utama (Steven Fajri, 2017).

#### **2.2.2.2. Servomotor**

Servomotor merupakan alat yang digunakan untuk membuka katup masuk utama. Katup masuk utama dibuka dengan sebuah servomotor hidrolis tipe Brandford Cylinder Ltd. Servomotor tersebut merupakan tipe yang bekerja ganda, pada akhir silinder dihubungkan pada sebuah piringan alas (*sole plate*) dan di akhir

batangnya dihubungkan pada lengan katup masuk utama. Servomotor merupakan silinder yang memiliki sebuah batang di dalamnya. Perpanjangan batang tersebut yang kemudian digunakan untuk membuka katup utama dan saat batang servomotor tersebut kembali ke posisi semula dari dalam silinder maka katup akan menutup kembali.



**Gambar 2.5.** Servomotor sistem hidrolik  
(Sumber : PLTA PB SOEDIRMAN, 2017)

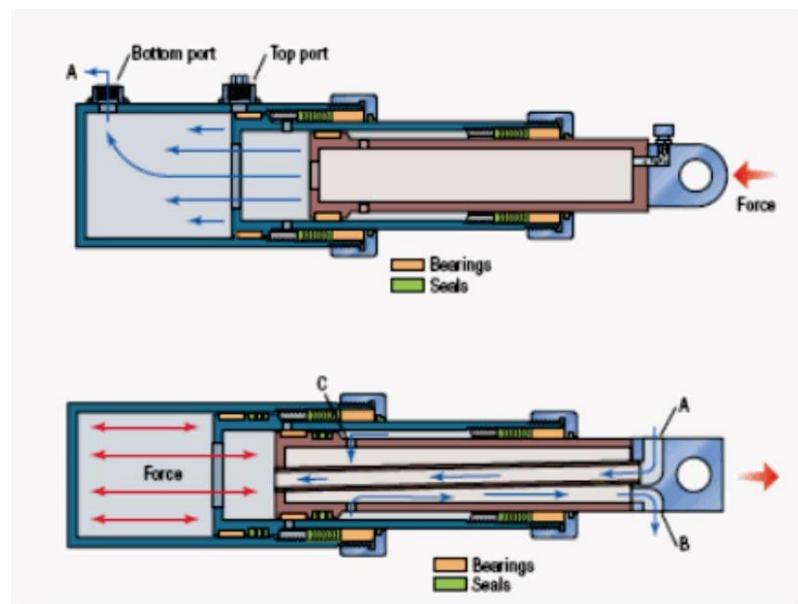
Data teknis dari servomotor pada PLTA PB. Soedirman :

- Jenis = servomotor hidrolik tipe Brandford Cylinder.Ltd
- Cairan Operasi = Minyak
- Tekanan kerja maksimal = 1000 bar
- Lubang = 400 mm
- Stroke = 1382.6 mm
- Diameter batang = 220 mm
- Diamter keseluruhan = 512.5 rpm x 3.125 mm
- Berat = 2.600 kg

- Tekanan kerja = 40 bar
- Tekanan yang diujikan = 60 bar

### 2.2.2.3. Sistem Hidrolik dan Aktuator

Menurut pernama (2010) Sistem hidrolik adalah perangkat yang memindahkan gaya melalui media cairan. Gaya yang dimaksud adalah pemanfaatan sifat dorong atau tarikan untuk merubah posisi atau gerakan terhadap benda. Pada sistem hidrolik cara kerja yang diperoleh dengan mengendalikan jarak tempuh torak dengan tekanan cairan yang berkerja pada luas penampang torak. Prinsip dasar hidrolik adalah penggunaan hukum pascal. Hukum ini menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada suatu cairan akan diteruskan kesegala arah dengan sama besar. Cara kerja sistem hidrolik adalah daya mekanis dari motor listrik digunakan untuk menggerakkan pompa. Oleh pompa daya mekanis ini diubah menjadi daya hidrolik, yang kemudian mengalir melalui silinder daya mekanis untuk menggerakkan suatu alat.

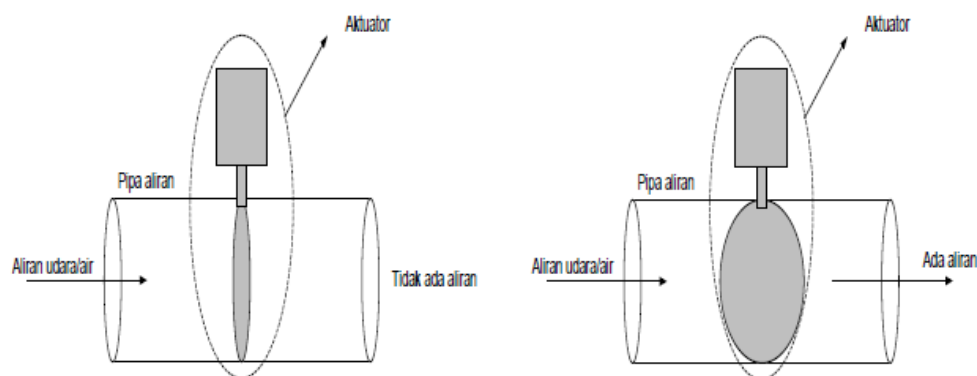


**Gambar 2.6.** Sistem Hidrolik  
(Sumber : artikel-teknologi, 2016)



Menurut pernama (2010) aktuator adalah komponen mekanik yang berfungsi sebagai gerbang aliran udara atau air dalam suatu pipa atau ruang aliran air atau udara. Aktuator dapat berupa valve yang bergerak menutup jalur aliran air atau udara, maupun bergerak membuka. Aktuator dikombinasikan dengan solenoid valve dimana pada saat solenoid valve energized, maka aktuator bergerak membuka, dan pada saat solenoid deenergized, maka aktuator bergerak menutup.

Berikut adalah gambar penampang aktuator :



**Gambar 2.7.** Aktuator *Deenergized* dan *Energized*

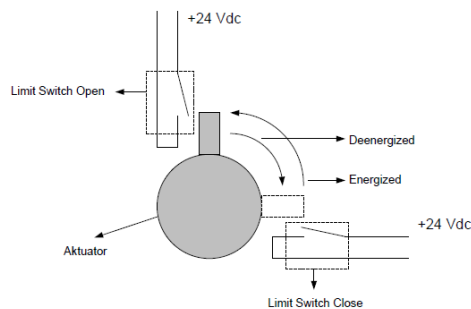
(Sumber : artikel-teknologi, 2016)

Pada gambar di atas, sistem kerja aktuator dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pada kondisi solenoid valve ter-energized, aktuator bergerak  $90^0$  membuka pipa aliran udara atau air (sebelah kiri pada Gambar 2.3), sehingga aliran udara atau air dapat terus mengalir.
2. Pada kondisi solenoid valve deenergized, maka aktuator bergerak  $90^0$  menutup pipa aliran udara atau air (sebelah kanan pada Gambar 2.3), sehingga aliran udara ataupun air dari input tidak dapat mengalir.

Didalam suatu aktuator (valve), terdapat dua buah *limit switch*, yaitu *limit switch* titik maksimal buka (open) dan *limit switch* titik maksimal tutup (close), yang berfungsi sebagai penunjuk atau monitor posisi mekanik dari aktuator tersebut.

Berikut adalah gambar rangkaian *limit switch* terhadap aktuator :



**Gambar 2.8.** *Limit Switch* pada Aktuator  
(Sumber : artikel-teknologi, 2016)

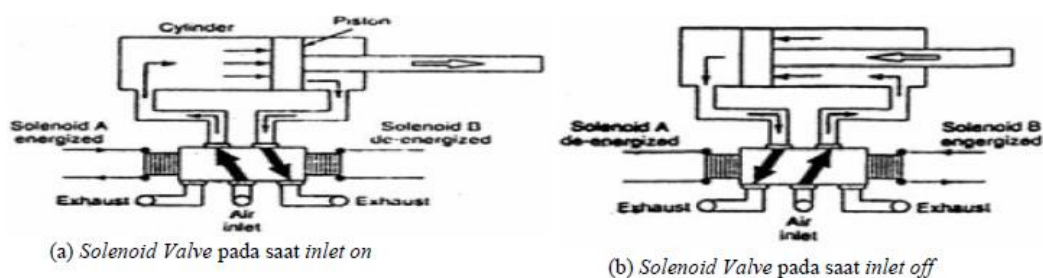
#### 2.2.2.4. *Solenoid Valve*

*Solenoid valve* adalah katup yang digerakan oleh energi listrik, mempunyai kumparan sebagai penggeraknya berfungsi untuk menggerakkan *plunger* yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC. *Solenoid valve* atau katup (*valve*) solenoida mempunyai lubang keluaran, lubang masukan, lubang jebakan udara (*exhaust*) dan lubang *Inlet Main*. Lubang *Inlet Main*, berfungsi sebagai terminal / tempat udara bertekanan masuk atau supply (*service unit*), lalu lubang keluaran (*Outlet Port*) dan lubang masukan (*Outlet Port*), berfungsi sebagai terminal atau tempat tekanan angin keluar yang dihubungkan ke *pneumatic*, sedangkan lubang jebakan udara (*exhaust*), berfungsi untuk mengeluarkan udara bertekanan yang terjebak saat *plunger* bergerak atau pindah posisi ketika *solenoid valve* bekerja.



**Gambar 2.9.** *Solenoid Valve*  
(Sumber : [www.solenoid-valve-info.com/](http://www.solenoid-valve-info.com/) diakses pada 17 Desember 2017)

*Solenoid valve* atau katup listrik merupakan elemen control yang paling sering digunakan dalam suatu aliran fluida dengan cara kerja secara *electromechanically* dimana *solenoid valve* tersebut memiliki kumparan (coil) sebagai penggerakannya, saat kumparan tersebut mendapat *supply* tegangan maka kumparan akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan piston (*plunger*) yang berada didalamnya.



**Gambar 2.10. Solenoid Valve dua Inlet**

(Sumber : [www.solenoid-valve-info.com/](http://www.solenoid-valve-info.com/) diakses pada 17 Desember 2017)

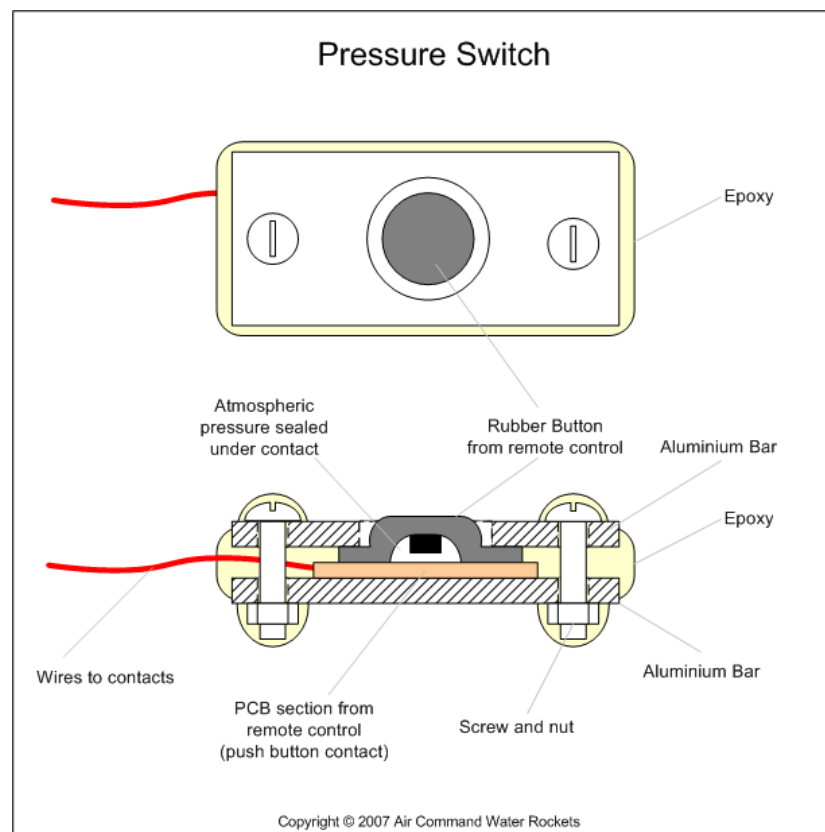
Pada gambar di atas, terlihat sebuah *solenoid valve* actuator memiliki dua inlet yaitu *inlet on* dan *inlet off*. Berikut sistem kerjanya, yaitu :

- pada saat coil magnet teraliri arus (on), maka *solenoid valve* tertarik menuju coil magnet dan inlet *hole* terbuka dan udara tekan masuk menekan batang actuator menggerakkan *valve* actuator on.
- pada saat coil magnet tidak teraliri arus (off), maka *solenoid valve* terdorong menjauh dari coil magnet karena adanya pegas pembalik dan outlet *hole* terbuka dan udara tekan masuk menekan batang actuator menggerakkan *valve* actuator off.

#### 2.2.2.5. Pressure Switch

Menurut Slamet.W (2017), *Pressure Switch* adalah salah satu alat ukur tekanan yang sangat penting dan sering digunakan di dunia industri. Sensor tekanan tentu saja digunakan untuk mengukur besarnya tekanan pada objek yang biasanya berupa gas atau cairan (liquid). Tekanan sendiri dapat disebut sebagai gaya yang

dibutuhkan untuk menahan sebuah fluida agar berekspansi, sementara itu tekanan juga dapat dianggap sebagai besarnya gaya per satu satuan unit area (luas). Seiring dengan perkembangan teknologi, sensor tekanan memiliki fungsi yang tidak hanya berada pada bidang pengukuran tekanan saja, dalam perkembangannya, sensor tekanan juga dapat mengukur aliran gas atau fluida, mengukur kecepatan, level ketinggian air, dan juga ketinggian suatu benda/ tempat dari permukaan air laut atau juga disebut sebagai altitude. Beberapa jenis dari alat ukur tekanan ini adalah pressure transmitter, pressure transducer, pressure senders, pressure indicators, piezometers, dan juga manometer.



**Gambar 2.11.** Konstruksi *Pressure Switch*  
(Sumber : Air Command Water Rockets, 2007)

#### 2.2.2.6. Tangki Penampung dan Penerima Minyak (*Sump Tank and A/O Receiver*)

Berdasarkan *manual book* pada operasi *main inlet valve* PLTA PB SOEDIRMAN, tangki penampung minyak / *Sump Tank* mempunyai fungsi yang sangat penting yaitu :

- Mengumpulkan dan menyimpan cairan hidrolik yang diberikan oleh sistem.
- Memecahkan gelembung-gelembung yang terjadi pada sistem karena udara yang terlarut pada cairan hidrolik.
- Mengendalikan partikel-partikel yang berat, lumpur dan air dari cairan hidrolik. Menjaga temperatur cairan agar selalu dalam batas yang di ijin.
- Sebagai penyangga dan dudukan pompa, motor, filter dan beberapa peralatan lainnya. Bentuk dari penampung minyak ini biasanya berupa bak segi empat dengan ukuran yang berbeda-beda sesuai dengan kegunaannya.

*Sump Tank* pada PLTA PB Soedirman, tiap unit dapat menampung level cairan sebesar 1.100 L dari keseluruhan minyak hidrolik pada saat level kerja normal dan terdapat dua *switch alarm* level yaitu *thermometer* dengan sekat penyaring. Bagian *sump tank* juga terdapat dua pompa yang bekerja, pompa pertama sebagai pompa utama dan pompa kedua sebagai *standby*.

*Air/oil Receiver* digunakan untuk men-*supply* minyak ke sistem hidrolik. Minyak tersebut berasal dari tangki minyak (*sump tank*) yang sebelumnya melewati saringan filter untuk memastikan minyak yang masuk kedalam *air/oil receiver* terjamin kualitas kebersihannya dari lepasan puing-puing atau bahan lain seperti pembersih material, pembersih bahan pelarut atau air yang dapat mengurangi pengaruh sifat-sifat dari minyak (Syarifudin Azzuhri, 2017).

Berdasarkan *manual book* pada operasi *main inlet valve* PLTA PB SOEDIRMAN, udara pada *air/oil receiver* ditunjukkan untuk menjaga tekanan dan adapuan acuan standar kerja yaitu :

- Kondisi sistem hidup : 58 – 61 bar
- Kondisi sistem stanby : 57 – 60 bar



**Gambar 2.12.** *Air/Oil Receiver dan Sump Tank*  
(Sumber : PLTA PB SOEDIRMAN, 2017)

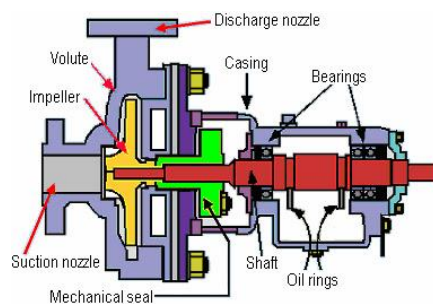
Sehingga menghasilkan tekanan yang tepat untuk menggerakkan servomotor.

Data teknis air/oil receiver pada PLTA PB Soedirman adalah sebagai berikut :

- Buatan = Boving – Saddlers Ltd
- Temperature = 100°
- Tekanan yang bekerja = 60 bar
- Tekanan yang dirancang = 64 bar
- Tekanan yang diujikan = 96 bar
- Kapasitas normal yang bekerja = 5000 Liter
- Diameter internal = 915 mm
- Dimensi keseluruhan = 960 mm x 3.485 mm
- Berat = 1.000 kg

### 2.2.3. Pompa dan Kompresor

Menurut Kanda Septian (2009) pompa merupakan suatu peralatan yang dibuat sedemikian rupa berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari tekanan yang rendah menuju tekanan yang lebih tinggi. Prinsip dasarnya dengan membuat suatu gerakan/putaran sehingga terjadi perbedaan tekanan dan akan mengakibatkan terjadinya aliran, dalam praktik pada umumnya pompa bekerja untuk memindahkan zat cair dimana jumlah perpindahannya merupakan perpaduan antara kecepatan dan tekanan didalam pipa, serta bergantung dari besar, panjang pendeknya instalasi pompa instalasi pompa yang baik akan cenderung lebih banyak menggunakan proses perpindahan horizontal dan memperkecil perubahan perpindahan yang terjadi (tikungan/belokan).



**Gambar 2.13.** Desain Pompa  
(Sumber : supplierpompa.wordpress.com, 2011)

Kompresor menurut definisi rekayasa mekanika adalah sebuah alat mekanika yang berfungsi untuk *meningkatkan tekanan fluida* mampu mampat, yaitu gas atau udara. Tujuan meningkatkan tekanan dapat untuk mengalirkan atau kebutuhan proses dalam suatu sistem proses yang lebih besar (dapat system fisika maupun kimia contohnya pada pabrik-pabrik kimia untuk kebutuhan reaksi). Mesin kompresor udara memiliki prinsip kerja yang sudah terorganisir dengan baik. Prinsip kerja kompresor merupakan satu kesatuan yang saling mendukung, sehingga kompresor dapat bekerja dengan maksimal.

PLTA PB Soedirman mempunyai 3 unit kompresor yang memiliki fungsi untuk mencatu udara bertekanan ke tangki udara/minyak (Air/Oil Tank) *main inlet valve* dan tangki udara/minyak turbin. Udara tekan yang digunakan bertekanan 68 bar yang dicatu oleh sebuah kompresor tiga tingkat, bila tekanan turun sampai 65

bar maka kompresor kerja hidup dan bila tekanan kerja turun 60 bar maka kompresor *stand by* ikut bekerja. Kompresor yang digunakan memiliki sistem pendingin udara dengan motor listrik sebagai penggerakannya. Pada kondisi normal operasi, main kompresor hanya bekerja satu unit sedangkan dua unit lainnya digunakan sebagai cadangan dan sistem udara kompresor bisa bekerja secara otomatis ataupun manual (Bangkit, 2017).



**Gambar 2.14.** Kompresor  
(Sumber : PLTA PB SOEDIRMAN, 2017)

Adapun data teknis kompresor di PLTA PB SOEDIRMAN :

- Merek/Model = Bristol Pneumatic Ltd / BPH England
- Kecepatan = 2870 Rpm
- Lubricating Oil = Tennecoanderol 500
- Lubricating Oil Capacity = 1.56 L
- *OFF Load-Onload* = 65 Bar – 68 Bar
- Tekanan Tingkat 1 = 7.9 Bar
- Tekanan Tingkat 2 = 44.8 Bar
- Tekanan Tingkat 3 = 310 Bar
- Supply = Hidrolik Turbin = 40 Bar  
Hidrolik MIV = 68 Bar



#### 2.2.4. Pipa Pesat

Pipa pesat merupakan bagian dari unit pembangkitan listrik tenaga air dan tersedia di PLTA PB SOEDIRMAN. Pipa pesat berfungsi mengalirkan air langsung dari bangunan pengambil air (*intake*) ke turbin dan untuk mendapatkan tekanan hidrostatik yang sebesar-besarnya, didalam pipa pesat terjadi perubahan energi potensial air dalam waduk menjadi energi kinetik berdasarkan kecepatan sesuai dengan tinggi jatuh air, pada PLTA PB SOEDIRMAN pemasangan pipa pesat terletak dibawah permukaan tanah yang langsung terhubung dengan *Main Inlet Valve* sebanyak tiga unit (Kanda Septian, 2009).

Berikut data teknis pipa pesat PLTA PB SOEDIRMAN :

- Diameter pipa = 7.50 s.d 8.50 m
- Panjang pipa utama = 570 m
- Kapasitas penyaluran air = 1050 m<sup>3</sup>/s
- Jenis konstruksi = Besi lapis beton

Peralatan yang melengkapi pipa pesat adalah :

a. *Man Hole* (Lubang Manusia)

Lubang yang dapat dilewati oleh manusia, yang digunakan saat mengadakan pemeriksaan, pemeliharaan atau perbaikan dalam pipa pesat.

b. *Main Valve* (Katup Utama)

Katup yang berfungsi untuk membuka atau menutup aliran air dari pipa pesat pada saat mesin kontrol mulai operasi maupun sesudah operasi.

c. *By-pass Valve Arrangement*

Katup dimana sebelum *Main Valve* terbuka, katup ini terlebih dahulu untuk mengisi casing turbin agar tekanan air sebelum dan sesudah memiliki nilai yang sama, sehingga *Main Valve* mudah dan ringan dibuka.

d. *Drain Valve*

Katup pembuangan air pada saat mengosongkan pipa pesat.

e. Sambungan Ekspansi

Sambungan yang dapat menyesuaikan terhadap pemuaian yang terjadi pada pipa pesat.

f. *Angker Block*

Sebuah pemberat untuk menahan pipa pesat agar tetap pada tempatnya, terletak pada jarak tertentu, tikungan dan perubahan pada diameter pipa.

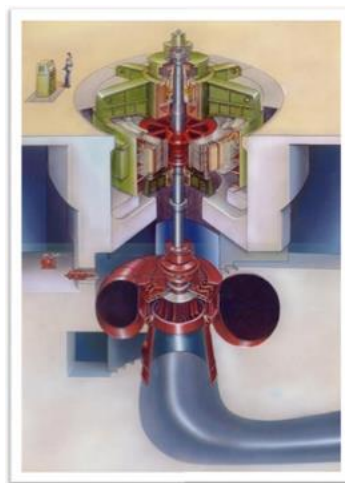


**Gambar 2.15.** Pipa Pesat (PENSTOCK)

(Sumber : <https://www.slideshare.net/benuuuu/pembangkit-listrik-tenaga-air>)

**2.2.5. Turbin Francis**

Turbin merupakan peralatan yang digunakan sebagai mesin penggerak mula pada setiap instalasi listrik air. Prinsip kerja turbin air adalah mengubah energi potensial atau kinetis menjadi energi yang berupa tenaga putaran pada poros turbin. Putaran poros turbin membawa daya yang kemudian sebagai pemutar poros rotor generator. Saluran air ke turbin dapat diisolasi oleh *main inlet valve*.



**Gambar 2.16.** Turbin Francis

(Sumber : Chongqing Hydropower, 2017)

Pusat listrik tenaga air di PLTA PB SOEDIRMAN terdiri dari tiga turbin air sebagai pemutar generator. Turbin tersebut adalah turbin francis dengan poros tegak yang berputar pada 230 rpm, head bersih setinggi 88.5 m dan mampu menghasilkan daya rata-rata sebesar 60 mw (Agung, 2017).

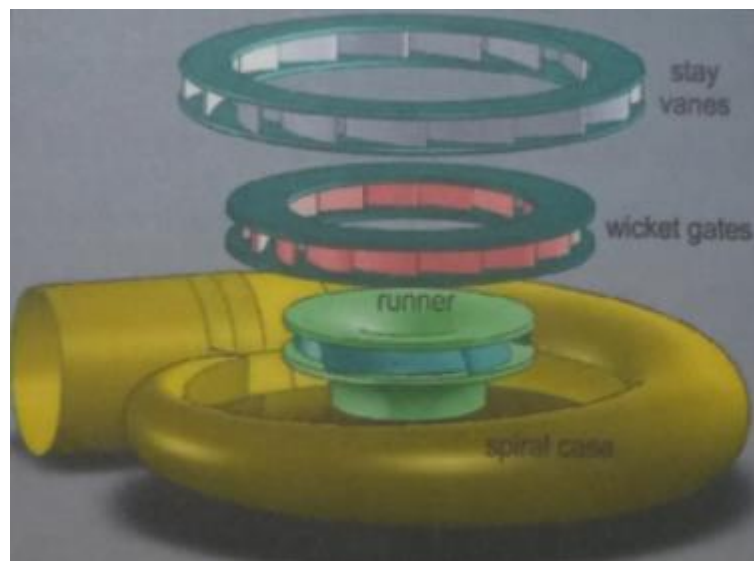
Menurut komelius (2017) pemasangan turbin francis dengan posisi vertikal/poros tegak digunakan untuk unit pembangkitan pada daya tinggi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah dibagian keluar.

Berikut data spesifikasi turbin francis PLTA PB SOEDIRMAN :

- Merek / Tipe = Boving Company / Francis Tegak
- Kapasitas Daya = 3 x 61.5 MW
- Putaran = 230.8 rpm
- Debit Air = 3 x 74 m<sup>3</sup>/det
- Head Rate = 88.5 m
- Arah putaran dilihat dari arah = searah dengan jarum jam

#### **2.2.5.1. *Spiral Casing***

Menurut komelius (2017) rumah siput dapat diartikan sebagai rumah siput atau rumah turbin dan merupakan bagian dari komponen turbin francis. *Spiral casing* berfungsi menahan bagian terbesar dari beban tekanan hidrolis yang diterima oleh turbin dan fungsi lainnya mengumpulkan, mendistribusikan serta mengarahkan aliran air kearah guide vane dan selanjutnya ke arah sudu-sudu pada runner dengan kecepatan dan tekanan yang sama untuk menghasilkan daya keluaran turbin yang optimal.



**Gambar 2.17.** Bentuk Spiral Casing pada PLTA PB SOEDIRMAN  
(Sumber : PLTA PB SOEDIRMAN, 2017)

Adapun Pemasangan turbin casing pada PLTA PB SOEDIRMAN dilakukan dengan *stay ring* dilapisi beton dari atas bottom cover yang mengelilingi runner. *Spiral casing* terhubung langsung dengan pipa pesat untuk menyalurkan aliran air, pada bagian dalam *spiral casing* terdapat lubang yang ukurannya sesuai sudu atur yang berfungsi sebagai lubang masuk menuju runner dari ujung yang terhubung dengan pipa pesat diameter *spiral casing* sama dengan diameter pipa pesat, sedangkan dari ujung yang terhubung dari pia pesat akan semakin mengecil membentuk lingkaran hingga ujung spiral casing dan kembali lagi menuju ujung lingkaran dengan diameter yang lebih kecil. Bagian spiral casing ini tidak terlihat dari luar karena ditanam dengan beton sehingga hanya dari dalam pipa untuk pengecekan komponen turbin didalam spiral casing (Syarifudin, 2017).

Berikut ini data spesifikasi spiral casing di PLTA PB SOEDIRMAN :

- Overall Dimensions = 10.163 mm x 9.128 mm x 3.410 mm
- Weight = 20.105 kg
- Material = Steel BS 1501-223-490

Pada *spiral casing* (rumah turbin) memiliki beberapa komponen pendukung operasi sistem pembangkit terutama pada katup masuk utama/main inlet valve yaitu :

- *Stay Vane*

*Stay vane* berfungsi untuk menahan *spiral case* serta berguna untuk mengarahkan dan mendistribusikan aliran air secara merata menuju *guide vane*.

- *Guide Vane*

*Guide vane* berfungsi untuk mengatur air masuk Turbin dari debit maksima sampai debit nol.

#### **2.2.6. Sistem Kendali**

Secara umum sistem pengendalian merupakan susunan komponen fisik yang dirakit dengan canggih sehingga mampu mengatur sistem sesuai yang diinginkan. Sistem kendali atau yang disebut sistem kontrol adalah sebuah proses pengaturan maupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau range tertentu (Pakpahan, 1998).

Menurut irwan kurniawan (2013) sistem kendali dapat dikategorikan dalam beberapa sistem yakni sistem kendali secara manual maupun otomatis, sistem kendali jaringan tertutup (*closed loop*) serta jaringan terbuka (*open loop*), kontinyu (analog) dan diskontinyu (digital).

Sistem kendali memiliki peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi serta dibutuhkan dalam proses produksi pada pabrik dan industri modern, sebagai contoh sistem kendali pada tekanan, suhu, kelembapan, viskositas, pengerjaan dengan mesin perkakas, penanganan maupun perakitan bagian-bagian mekanik dalam industri manufaktur (Yusuf Umardani, 2015).

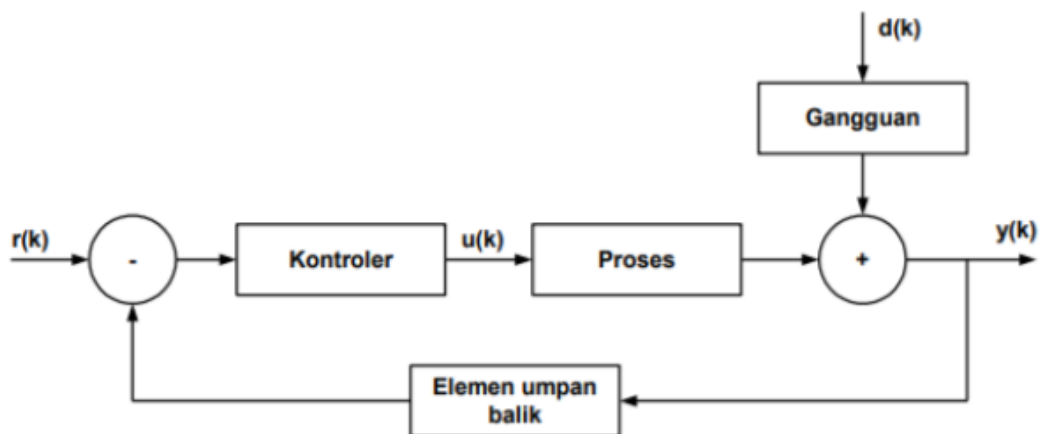
Sistem kendali / kontrol yang dikenal secara luas di industri dapat dibedakan menjadi beberapa jenis meliputi :

- Sistem kendali umpan balik (*Feedback Control System*).
- Sistem kendali umpan maju (*Feedforward Control System*).

- Sistem Kendali urutan (*Sequential Control System*).

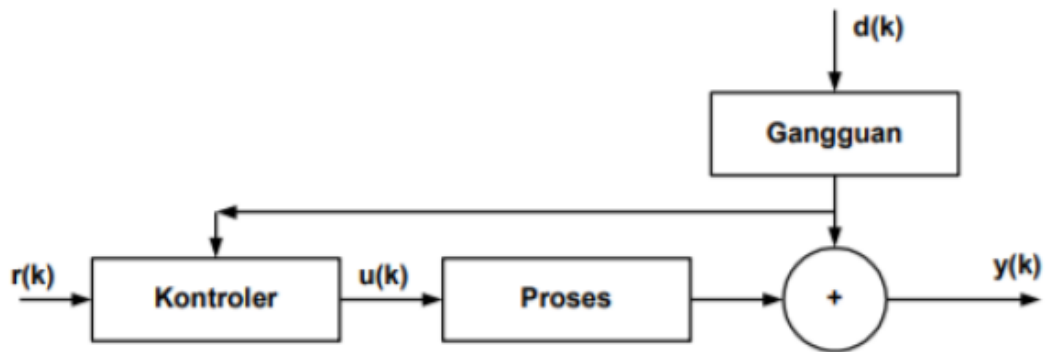
Pada ketiga jenis sistem kontrol diatas, elemen utama yang menjalankan fungsi kontrol adalah *controller*. *Controller* dapat dipandang sebagai “otak” yang menentukan keputusan apa yang harus dilakukan oleh suatu sistem kontrol berdasarkan input/data yang diterimanya.

Sistem kendali umpan balik (*Feedback Control System*) bekerja dengan mendeteksi nilai output proses dan membandingkan dengan nilai *set point*. Nilai *error* (perbedaan antara output proses dengan nilai set point) digunakan sebagai dasar penentuan sinyal kontrol yang akan diberikan pada proses. Prinsip sistem kontrol umpan balik diperlihatkan pada gambar dibawah terlihat bahwa  $r(k)$  adalah *set point* atau nilai yang dikehendaki,  $u(k)$  merupakan sinyal kontrol,  $y(k)$  adalah *output* proses, sedangkan  $d(k)$  merupakan gangguan yang mempengaruhi proses.



**Gambar 2.18.** Sistem Kontrol Umpan Balik  
(Sumber : Teknik Fisika FTI-ITS, 2012)

Sistem kendali umpan maju (*Feedforward Control System*) merupakan pendeteksi adanya nilai gangguan yang terjadi terhadap proses. Berdasarkan sumber gangguan yang ada, maka yang dilakukan pada sistem ini akan menghasilkan sinyal kontrol yang akan diberikan pada proses. Pada gambar dibawah merupakan prinsip kerja sistem kendali umpan maju.



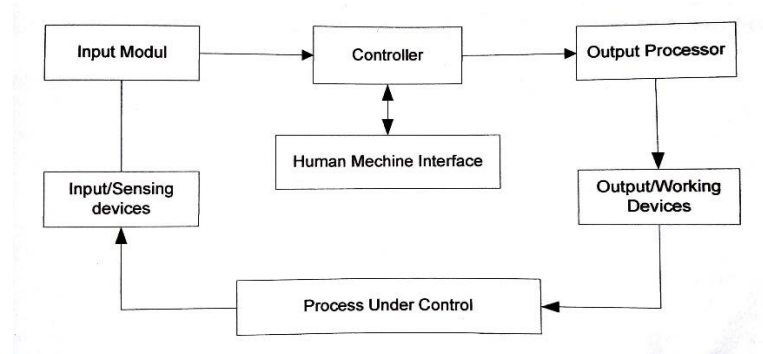
**Gambar 2.19.** Sistem Kontrol Umpan Maju  
(Sumber : Teknik Fisika FTI-ITS, 2012)

Sistem kendali sekuens (*Sequence Control System*) merupakan sistem kendali yang berfungsi menjalankan suatu sistem secara urutan tertentu untuk menjalankan proses, urutan-urutan ini dapat meliputi dari beberapa proses untuk menjalankan proses unit lain yang lebih kompleks, pada umumnya sistem kendali ini digunakan pada industri dengan *Programmable Logic Controller* (PLC).

#### 2.2.6.1. Sistem Kendali PLTA PB SOEDIRMAN

Menurut syarif (2017), sistem kendali PLTA PB SOEDIRMAN menggunakan PLC dengan jenis Schenider (*Mouk Rounting*) yang di komunikasikan melalui Human Machine Interface(HMI).

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



**Gambar 2.20.** Hubungan PLC terhadap sistem kontrol pembangkit  
(Sumber : PLTA PB SOEDIRMAN, 2008)

Dalam aplikasi PLC dipasang/ditempatkan dalam berbagai konfigurasi sesuai dengan kebutuhan. Kriteria kebutuhan tersebut meliputi :

- Perkembangan sistem kontrol yang berkelanjutan
- Tingkat keandalan sistem
- *Computerize control system*
- *Management information system*

Konfigurasi PLC yang diterapkan dalam sistem kontrol sekarang ini secara umum dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Konfigurasi PLC terhadap sistemnya sendiri (*Self Configuration*)

*Self Configuration* adalah bagaimana suatu PLC yang dipasang untuk mengontrol suatu sistem memiliki performa dan keandalan yang cukup baik.

- b. Konfigurasi PLC terhadap sistem kontrol keseluruhan (*Overall Configuration*)

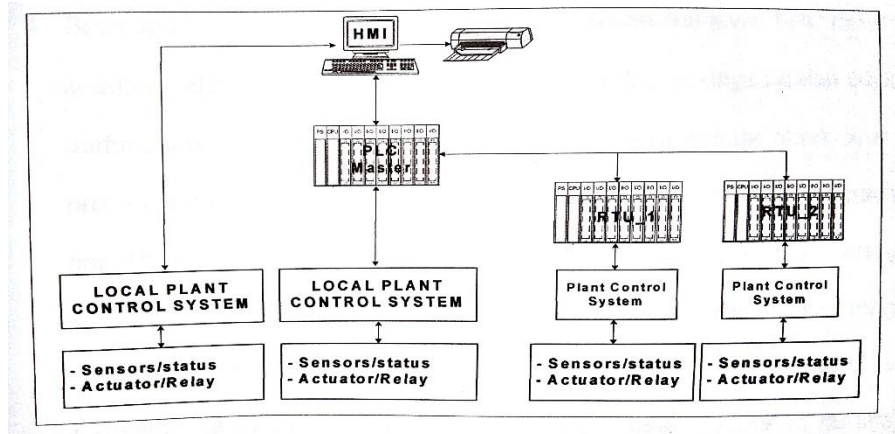
*Overall Configuration* pada saat ini, PLC telah mengalami banyak perkembangan yang sama dengan teknologi PC. Saat ini PLC banyak digunakan sebagai *Supervisory Control* dan *Remote Station* yang akhirnya berkembang pula ke arah manajemen informasi (Anto, 2017).

Dilihat dari sisi pemakaiannya terhadap sistem kontrol keseluruhann konfigurasi PLC terdiri dari 4 (empat) macam, yaitu :

- *Direct Digital Control* (DDC)
- *Data Acquisition and Monitoring System* (DAS)
- *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA)
- *Distributed Control System* (DCS)

Dari keempat konfigurasi tersebut yang dipakai pada PLTA PB SOEDIRMAN khususnya dalam pengoperasian sequence start-stop-emergency adalah *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Menurut Syarif (2017), *Human Machine Interface* tidak saja hanya dipakai untuk memonitor besaran parameter ukur dari *plant*, lebih dari itu HMI harus dapat digunakan untuk mengontrol/mengatur bekerjanya peralatan secara terintegrasi, fungsi kontrol secara ini lebih dikenal dengan nama "*Remote Control System*".





**Gambar 2.21.** Contoh Sederhana Konfigurasi Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

(Sumber : Amarnotes, 2009)