

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah Negara kepulauan dengan jumlah pulau yang mencapai sekitar 17.000 pulau. Dari sekian banyak pulau tersebut belum semua pulau yang ditempati manusia dapat menikmati listrik akibat lokasi yang tidak dapat dijangkau oleh jaringan listrik PLN.

Pembahasan sumber daya energi sangatlah penting karena dapat menggambarkan potensi dan prospek pemanfaatannya di masa depan. Penggunaan energi dapat membawa dampak negatif bagi lingkungan dan dapat menimbulkan polusi karena adanya limbah padat, limbah cair, dan gas buang. Seiring dengan meningkatnya penggunaan energi saat ini aspek lingkungan dalam pembangunan mendapat perhatian yang serius.

Keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini hidro (PLTMH) menjadi salah satu solusi alternatif untuk mendapatkan energi listrik yang mandiri. Terutama untuk daerah-daerah terpencil yang kesulitan untuk mendapatkan pelayanan listrik karena sulitnya jaringan listrik untuk mencapai daerah yang sulit dijangkau. Tingkat performansi dari suatu sistem pembangkit listrik terutama PLTMH ditentukan oleh frekuensi output yang dihasilkan. Kestabilan frekuensi sangat diperlukan dalam kelangsungan pelayanan tenaga listrik dari suatu pembangkit listrik. Pemakaian beban konsumen yang tidak menentu menyebabkan frekuensi yang berubah-ubah. Frekuensi yang tidak stabil merusak peralatan (beban) karena beban tidak bisa bekerja secara optimal. Frekuensi pada generator pembangkit listrik yang tidak mempunyai perangkat kestabilan apabila terjadi perubahan beban maka terjadi fluktuasi frekuensi, apabila fluktuasi frekuensi atau perubahan nilai frekuensi yang tidak segera dikondisikan menuju set point sebesar 50 Hz akan mengakibatkan kerusakan pada sistem distribusi listrik.

Dengan melihat besarnya potensi air tiap daerah di Indonesia terutama di daerah Sumatera Utara yaitu desa Parsingkaman kecamatan Adiankoting Kabupaten Tapanuli Utara telah ada sebuah PLTMH yang dibangun dengan kapasitas 750 kW. Namun pada saat pengoprasian governor terkadang bekerja

tidak stabil maka dilakukan analisa pada eksitasi dan governor untuk mengetahui tegangan dan frekuensi pada waktu yang telah ditentukan.

1.2. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui tegangan dan frekuensi keluaran generator pada waktu yang telah di tentukan.
2. Untuk membandingkan hasil teori dengan keluaran generator yang menggunakan air sebagai penggerak mula.

1.3. Perumusan Masalah

Dari uraian diatas tersebut, maka perumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara kerja dari sistem Governor yang ada di PLTMH Aek Raisan I
2. Mengetahui cara kerja sistem eksitasi generator yang ada di PLTMH Aek Raisan I

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang menguraikan hal-hal dalam Tugas Akhir ini yaitu hanya membahas eksitasi dan governor pada keluaran generator pada PLTMH Aek Raisan I.

1.5. Metodologi Penelitian

Didalam memenuhi dan melengkapi data data yang diperlukan untuk memperkuat penulisan skripsi ini, penulis melakukan berbagai macam metode antara lain :

Mempelajari buku-buku (teks book) yang terkait, baik yang bersumber dari media cetak, eletronik maupun internet.

Melakukan diskusi dalam bentuk tanya jawab dengan pihak PLTMH AEK

RAISAN I terkait hal-hal yang berkaitan dengan tegang dan frekuensi pada waktu yang telah ditentukan. Pengamatan lapangan langsung ke PLTMH AEK RAISAN I

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan garis besar penulisan yang memudahkan jalan pemikiran dalam memahami keseluruhan isi, antara lain :

BAB I : Pendahuluan

Pendahuluan membahas tentang latar belakang masalah, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, metode pembahasan, dan sistematika penulisan.

BAB II : Pembangkit listrik tenaga air

Berisikan tentang teori umum PLTA dan komponen pendukung serta fungsi - fungsinya dan penjelasan tentang prinsip kerja pada PLTMH AEK RAISAN I.

BAB III : Teori umum generator dan governor

Berisikan tentang teori umum generator, eksitasi generator dan governor .

BAB IV : Analisa data lapangan

Berisikan tentang analisa data lapangan pada PLTMH AEK RAISAN I .

BAB V : Penutup

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang merupakan rangkuman dari seluruh pembahasan.

BAB II

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

2.1. Teori Umum Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pengertian pembangkit listrik tenaga air (PLTA) bekerja dengan cara merubah energi potensial (dari dam atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbinair) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Pembangkit listrik tenaga air konvensional bekerja dengan cara mengalirkan air dari dam ke turbin setelah itu air dibuang. Pada saat beban puncak air dalam lower reservoir akan di pompa ke upper reservoir sehingga cadangan air pada waduk utama tetap stabil.

PLTA dapat beroperasi sesuai dengan perancangan sebelumnya, bila mempunyai Daerah Aliran Sungai (DAS) yang potensial sebagai sumber air untuk memenuhi kebutuhan dalam pengoperasian PLTA tersebut. Pada operasi PLTA tersebut, perhitungan keadaan air yang masuk pada waduk /dam tempat penampungan air, beserta besar air yang tersedia dalam waduk / dam dan perhitungan besar air yang akan dialirkan melalui pintu saluran air untuk menggerakkan turbin sebagai penggerak sumber listrik tersebut, merupakan suatu keharusan untuk dimiliki, dengan demikian kontrol terhadap air yang masuk maupun yang didistribusikan ke pintu saluran air untuk menggerakkan turbin harus dilakukan dengan baik, sehingga dalam operasi PLTA tersebut, dapat dijadikan sebagai dasar tindakan pengaturan efisiensi penggunaan air maupun pengamanan seluruh sistem, sehingga PLTA tersebut, dapat beroperasi sepanjang tahun, walaupun pada musim kemarau panjang.

Kapasitas PLTA diseluruh dunia ada sekitar 675.000 MW, serta dengan 3,6 minyak barrel minyak atau sama dengan 24% kebutuhan listrik dunia yang digunakan oleh 1 milyar orang. Dalam penentuan pemanfaatan suatu potensi sumber tenaga air bagi pembangkitan tenaga listrik ditentukan oleh tiga faktor yaitu:

- a. Jumlah air yang tersedia, yang merupakan fungsi dari jatuh hujan dan atau salju.
- b. Tinggi terjun yang dapat dimanfaatkan, hal mana tergantung dari topografi daerah tersebut.

- c. Jarak lokasi yang dapat dimanfaatkan terhadap adanya pusat-pusat beban atau jaringan transmisi.

Daya yang dibangkitkan generator yang diputar oleh turbin adalah :

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \dots\dots\dots($$

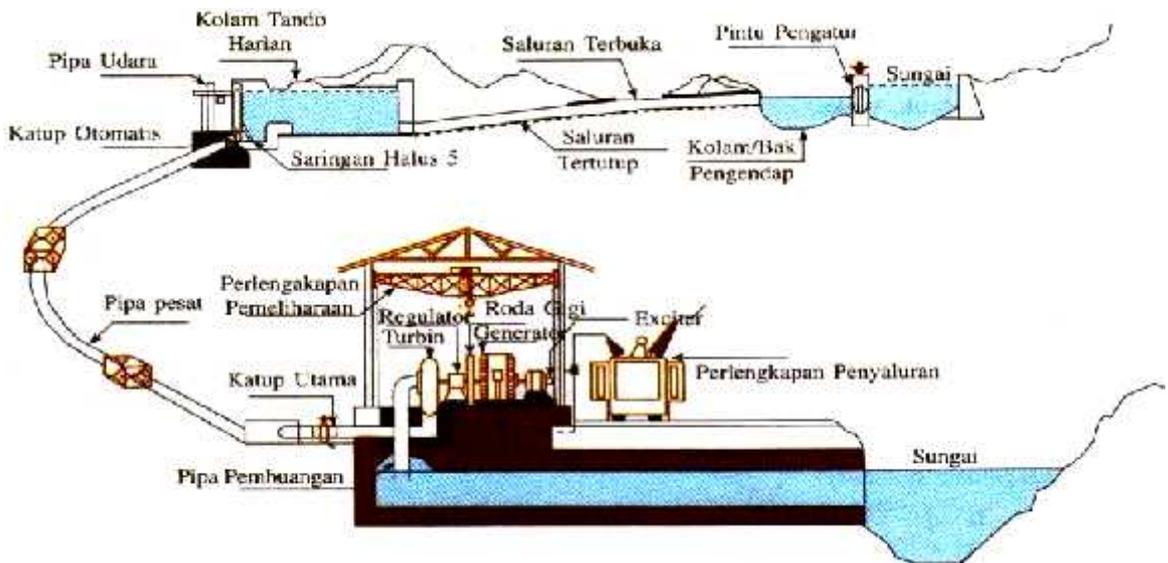
2.1)

Dengan :

- P : daya (kW)
- H : tinggi jatuh air (m)
- Q : debit air (m³/s)
- : efesiensi turbin bersama generator

Berdasarkan output yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air dibedakan atas :

- PLTA Mikro < 100 kW
- PLTA Mini 100 – 999 kW
- PLTA Kecil 1000 – 10.000 kW
- PLTA Besar > 10 MW



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Pembangkit PLTA

2.2. Prinsip PLTA dan Konversi Energi

Pada prinsipnya PLTA mengolah energi potensial air diubah menjadi energi kinetis dengan adanya head, lalu energi kinetis ini berubah menjadi energi mekanis dengan adanya aliran air yang menggerakkan turbin, lalu energi mekanis ini berubah menjadi energi listrik melalui perputaran rotor pada generator. Jumlah

energi listrik yang bisa dibangkitkan dengan sumber daya air tergantung pada dua hal, yaitu jarak tinggi air (head) dan berapa besar jumlah air yang mengalir (debit).

Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air, harus melalui beberapa tahapan perubahan energi, yaitu:

- a. Energi Potensial
- b. Energi kinetis
- c. Energi Mekanis
- d. Energi Listrik

2.2.1. Energi Potensial

Energi potensial yaitu energi yang terjadi akibat adanya beda potensial, yaitu akibat adanya perbedaan ketinggian. Besarnya energi potensial yaitu:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (2.2)$$

Dimana:

E_p : Energi Potensial

m : massa (kg)

g : gravitasi (9.8 kg/m²)

h : head (m)

2.2.2. Energi Kinetis

Energi kinetis yaitu energi yang dihasilkan akibat adanya aliran air sehingga timbul air dengan kecepatan tertentu, yang dirumuskan.

$$E_k = 0,5 \cdot m \cdot v \cdot v \quad (2.3)$$

Dimana:

E_k : Energi kinetis

m : massa (kg)

v : kecepatan (m/s)

2.2.3. Energi Mekanis

Energi mekanis yaitu energi yang timbul akibat adanya pergerakan turbin. Besarnya energi mekanis tergantung dari besarnya energi potensial dan energi kinetis. Besarnya energi mekanis.

dirumuskan:

$$E_m = T \cdot \theta \quad (2.4)$$

Dimana:

E_m : Energi mekanis

T : torsi

θ : sudut putar

t : waktu (s)

2.2.4. Energi Listrik

Ketika turbin berputar maka rotor juga berputar sehingga menghasilkan energi listrik sesuai persamaan:

$$E_l = V \cdot I \cdot t \quad (2.5)$$

Dimana:

E_l : Energi Listrik

V : tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

t : waktu (s)

2.3. Komponen-komponen Utama PLTA

Beberapa komponen utama yang dibutuhkan antara lain :

- 1) Bendungan
- 2) Pipa pesat (Penstock)
- 3) Turbin Air
- 4) Generator

2.3.1. Bendungan

Bendungan, berfungsi untuk menampung air dalam jumlah besar karena turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil. Dengan menaikkan permukaan air sungai untuk menciptakan tinggi jatuh air. Selain itu dam juga berfungsi untuk pengendalian banjir. contoh waduk Jatiluhur yang berkapasitas 3 miliar kubik air dengan volume efektif sebesar 2,6 miliar kubik. Selain menyimpan air, bendungan juga dibangun dengan tujuan untuk menyimpan energi.

Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pusat Listrik Tenaga Air. Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.



Gambar 2.2. Bendungan

2.3.2. Pipa Pesat (Penstock)

Pipa pesat (penstock) adalah penyalur air dari kolam penenang yang akan memutar turbin. Pipa pesat menuju turbin ini dilengkapi dengan pipa pernapasan udara gunanya agar udara yang terjebak dalam pipa bisa keluar dan tidak menghantam sudu-sudu turbin. Pipa pesat ini ditempatkan di atas dasar bak penenang untuk menghindarkan masuknya batu atau benda-benda yang tidak diijinkan terbawa memasuki turbin, karena berpotensi merusak runner turbin. Pipa pesat ini dipilih berdasarkan ketersediaan air dan kapasitas dari pembangkit itu sendiri. Pemasangan pipa pesat ini telah sesuai dengan standart perencanaan pipa pesat yang mencakup pemilihan material, diameter, tebal dan jenis sambungan dan bahan pipa pesat terbuat dari baja. Jenis sambungan pipa pesat itu sendiri dibuat diagonal.



Gambar 2.3.Pipa Pesat(Penstock).

2.3.3. Turbin Air

Turbin air merupakan komponen utama dari sebuah pembangkit listrik tenaga air yang berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air yang masuk ke turbin akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin dapat berputar. Perputaran dari turbin ini dihubungkan langsung ke generator.

Adapun jenis-jenis Turbin adalah sebagai berikut:

- a) Turbin Impuls,
- b) Turbin Reaksi.

2.3.3.1. Turbin Impuls

Jenis-jenis turbin Impuls adalah sebagai berikut :

- a) Turbin pelton
- b) Turbin turgo
- c) Turbin cross-flow

a. Turbin Pelton

Turbin pelton adalah jenis dari turbin impuls dimana salah satu atau lebih semburan air mengenai roda pembawa dan pada ujung roda pembawa tersebut terdapat sejumlah bucket. Tiap semburan air yang melalui sebuah nosel dengan valve berupa jarum sebagai pengatur laju aliran air yang akan mengenai bucket. Gambar 2.4 dibawah ini merupakan contoh dari turbin pelton



Gambar 2.4. Turbin Pelton

b. Turbin turgo

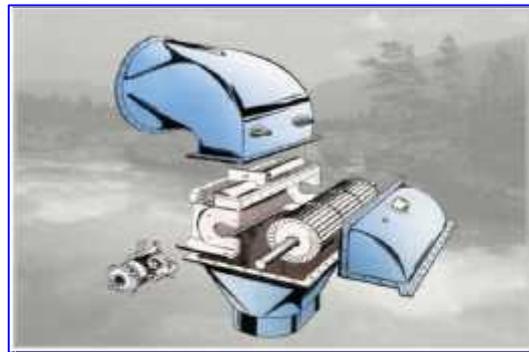
Turbin turgo adalah jenis turbin impuls yang dapat dioperasikan pada head 30-300 m. Seperti halnya turbin pelton, turbin turgo adalah jenis turbin impuls tapi bentuk sudunya berbeda, dimana semburan air akan membentur bidang datar terlebih dahulu, baru kemudian masuk atau mengalir ke sudu turbin pada sudut 20° . Air masuk melalui salah satu sisi penggerak dan kemudian akan keluar dari sisi yang lain. Selain itu turbin turgo juga dapat menampung air yang tidak terbatas, berbeda dengan turbin pelton yang daya tampung dari air yang akan melalui sudunya terbatas dikarenakan arah air yang meninggalkan sudu berlawanan dengan arah air yang akan menuju sudu. Dengan demikian kecepatan yang dihasilkan dari turbin ini lebih tinggi, selain itu juga memungkinkan untuk membuat kopling dan generator secara langsung. Dapat mengembangkan efisiensi dan juga dapat menekan harga perawatan dari turbin ini. Gambar 2.5 dibawah ini merupakan contoh dari turbin pelton.



Gambar 2.5. Turbin Turgo

c. Turbin cross-flow

Turbin cross-flow termasuk juga salah satu jenis turbin impuls yang juga di kenal sebagai Banki-Michell untuk mengenang penemunya serta Ossberger yaitu salah satu perusahaan yang telah membuat turbin tersebut lebih dari 50 tahun. Turbin ini digunakan untuk head yang lebih tinggi dari Kaplan, francis dan pelton. Air masuk ke turbin secara langsung dengan satu atau lebih baling-baling yang ditempatkan di daerah transisi bagian atas dari penggerak, kemudian air mengalir melalui penggerak yang bergerak penuh dengan derajat bebas yang kecil. Contoh dari turbin Cross-Flow dapat dilihat seperti gambar 2.6 dibawah ini :



Gambar 2.6. Turbin Cross-Flow

2.3.3.2. Turbin Reaksi

Yang dimaksud dengan turbin reaksi adalah dimana seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah. Pada turbin ini hanya sebagian dari daya guna air yang dimanfaatkan untuk menghasilkan gaya mekanik sedangkan sebagian lagi hilang menjadi gaya tekan.

Turbin reaksi dibagi atas beberapa jenis, yaitu :

- a. Turbin Francis
- b. Turbin Kaplan
- c. Turbin Propeller (baling-baling).

- a. Turbin Francis.

Turbin francis adalah jenis turbin reaksi dimana air mengalir ke rotor dengan arah radial dan keluar dengan arah aksial. Perubahan arah terjadi sambil melewati rotor. Turbin francis dipakai untuk berbagai keperluan (*wide ring*) 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 tekanan hidrolik yang diterima oleh turbin. Tekanan selebihnya ditahan oleh sudu kukuh (*stay vane*) atau cincin kukuh (*stay ring*). Sudu-sudu antar (*guide vane*) diatur dikeliling luar rotor (*runner*) dan mengatur daya keluar (*output*) turbin dengan mengubah-ubah bukaannya sesuai dengan perubahan beban melalui suatu mekanisme pengatur. Gambar 2.7 berikut merupakan contoh dari turbin francis.



Gambar 2.7. Turbin Francis

b. Turbin Kaplan

Adalah salah satu jenis turbin reaksi yang bekerja dengan aliran aksial, yang umumnya digunakan untuk head yang rendah. Turbin Kaplan mempunyai sudu penggerak yang dapat diatur dan mungkin memiliki atau tidak memiliki sudu pengarah. Jika sudu dari pengarah bisa diatur "*double regulative*", jika sudu pengarah tidak bisa diatur disebut "*singleregulative*". Gambar 2.8 berikut ini merupakan contoh dari turbin kaplan.



Gambar 2.8. Turbin Kaplan

c. Turbin Propeller

Turbin propeller disebut juga turbin baling-baling poros horizontal adalah turbin yang bekerja di dalam air yang dapat mengubah head kecil/rendah menjadi power yang besar. Turbin baling-baling ini mempunyai keuntungan dimana harganya relative murah dan dapat dioperasikan pada kondisi kapasitas air yang relative konstan. Kelemahan turbin ini dibandingkan turbin kaplan adalah sudu turbin airnya tidak dapat diubah-ubah sesuai dengan kondisi pergolakan air. Dengan demikian efisiensinya akan berubah-ubah pula. Gambar 2.9 berikut ini merupakan contoh turbin propeller.



Gambar 2.9. Turbin Propeller

Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan tinggi (*head*) yang didapatkan adalah sebagai berikut ini :

Tabel 2.1 :Ketinggian operasi turbin

No	Jenis Turbin	Variasi Head (<i>meter</i>)
1	Turbin Kaplan dan Propeller	$2 < H < 20$
2	Turbin Francis	$10 < H < 350$
3	Turbin Pelton	$50 < H < 1000$
4	Turbin Cross-Flow	$6 < H < 100$
5	Turbin Turgo	$50 < H < 250$

2.3.4. Generator

Generator, dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Generator selanjutnya merubah energi mekanik dari turbin menjadi energi elektrik. Generator di PLTA bekerja seperti halnya generator pembangkit listrik lainnya. Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan gearbox. Memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet didalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC.

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanis. Generator terdiri dari dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor terdiri dari 18 buah besi yang dililit oleh kawat dan dipasang secara melingkar sehingga membentuk 9 pasang kutub utara dan selatan. Jika kutub ini dialiri arus eksitasi dari Automatic Voltage Regulator (AVR), maka akan timbul magnet. Rotor terletak satu poros dengan turbin, sehingga jika turbin berputar maka rotor juga ikut berputar. Magnet yang berputar memproduksi tegangan di kawat setiap kali sebuah kutub melewati "coil" yang terletak di stator. Lalu tegangan inilah yang kemudian menjadi listrik.

2.4. Parameter yang Mempengaruhi Pengoperasian PLTA

Adapun parameter yang mempengaruhi pengoperasian PLTA yaitu:

A. Keberadaan Air

B. Kontruksi Saluran Air ke Turbin

2.4.1. Keberadaan Air

Untuk dapat mengoptimalkan pengoperasian PLTA, baik dalam keadaan musim penghujan. Maupun musim kemarau panjang, diperlukan perhitungan besar volume air yang tersedia dalam waduk / dam, guna perhitungan berapa besar debit air yang harus dialirkan melalui pintu air yang dialirkan ke turbin. Bila terjadi banjir, berapa besar volume air yang harus dibuang keluar dari waduk / dam melalui pintu pembuangan air, sehingga tetap terjadi keseimbangan air dalam waduk / dam, dengan demikian dapat dihindari kerusakan bangunan waduk / dam maupun perangkat keras pendukung lainnya. Untuk kebutuhan perhitungan keadaan air baik yang akan masuk maupun yang berada dalam waduk / dam, dilakukan pengukuran terhadap parameter yang mempengaruhi keadaan air yang akan masuk maupun yang ada dalam waduk/dam. Pengukuran tersebut dilakukan pada berbagai stasiun ukur yang tersebar pada DAS dalam waduk / dam tersebut.

2.4.2. Konstruksi Saluran Air ke Turbin

Kecepatan gerakan turbin, dipengaruhi oleh besar tekanan aliran air yang dialirkan ke turbin. Besar tekanan aliran air yang dialirkan tersebut, dipengaruhi debit air yang dialirkan beserta konstruksi dan penempatan saluran air yang mengalirkan air tersebut. Semakin lebar diameter dan semakin tinggi pintu saluran air dibuka, semakin besar debit air yang dialirkan, semakin tinggi tekanan air yang terjadi masuk ke turbin. Selain hal tersebut diatas, rancangan dan peletakan saluran air tersebut, juga mempengaruhi tekanan air yang dialirkan ke turbin.

Pada prinsipnya ada beberapa parameter yang mempengaruhi operasi PLTA disebabkan oleh :

1. Keberadaan Air

Untuk dapat mengoptimalkan pengoperasian PLTA, baik dalam keadaan musim penghujan maupun musim kemarau panjang, diperlukan perhitungan besar volume air yang tersedia dalam waduk / dam, guna perhitungan berapa besar debit air yang harus dialirkan melalui pintu air yang dialirkan ke turbin.

Bila terjadi banjir, berapa besar volume air yang harus dibuang keluar dari waduk / dam melalui pintu pembuangan air, sehingga tetap terjadi keseimbangan air dalam waduk / dam, dengan demikian dapat dihindari kerusakan bangunan

waduk / dam maupun perangkat keras pendukung lainnya. Untuk kebutuhan perhitungan keadaan air baik yang akan masuk maupun yang berada dalam waduk / dam, dilakukan pengukuran terhadap parameter yang mempengaruhi keadaan air yang akan masuk maupun yang ada dalam waduk/dam.

Pengukuran tersebut dilakukan pada berbagai stasiun ukur yang tersebar pada DAS dalam waduk / dam tersebut. Data hasil pengukuran yang diperoleh pada stasiun pengukuran, ditransmisikan melalui media komunikasi yang digunakan ke pusat kontrol operasi PLTA untuk diproses sesuai fungsinya dalam sistem kontrol tersebut.

Pada perhitungan keberadaan air tersebut, ada beberapa parameter yang harus diperhatikan antara lain:

2. Aliran permukaan (surface flow)

Aliran permukaan dan aliran dasar dipengaruhi intensitas curah hujan dan lama turunnya hujan. Semakin tinggi intensitas curah hujan dan semakin lama waktu turunnya hujan, semakin besar aliran permukaan dan aliran dasar sungai. Tinggi permukaan dipengaruhi aliran permukaan dan aliran dasar. Semakin besar aliran permukaan dan aliran dasar, semakin tinggi muka air yang terjadi, sehingga semakin besar volume air yang mengalir ke dalam waduk / dam.

3. Aliran dasar (Base flow)

4. Tinggi muka air

5. Kehilangan air karena keadaan lingkungan

Parameter kehilangan air yang disebabkan keadaan lingkungan, dipengaruhi antara lain:

- a. Suhu udara semakin tinggi suhu udara, semakin besar kehilangan air.
- b. Kelembaban semakin kecil kelembaban (humidity), semakin besar kehilangan air.
- c. Kecepatan angin semakin cepat kecepatan angin berhembus, semakin besar kehilangan air.
- d. Penyinaran matahari semakin panas dan semakin lama penyinaran matahari, semakin besar kehilangan air.

6. Keadaan DAS

Parameter keadaan DAS dipengaruhi beberapa parameter, antara lain :

- a. Vegetasi semakin rapat tumbuhnya tumbuh-tumbuhan (pohon) dalam DAS, semakin besar aliran dasar sungai.
- b. Penduduk semakin padat / ramai penduduk yang bermukim dalam DAS, semakin besar kehilangan air.
- c. Industri semakin banyak industri yang beroperasi dalam DAS, semakin besar kehilangan air.

2.5. Klasifikasi PLTA

Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air berdasarkan:

1) Berdasarkan tujuan

Hal ini disebabkan karena fungsi yang berbeda-beda misalnya untuk mensuplai air, irigasi, kontrol banjir dan lain sebagainya disamping produksi utamanya yaitu tenaga listrik.

2) Berdasarkan keadaan hidraulik

Suatu dasar klasifikasi pada pembangkit listrik tenaga air adalah memperhatikan prinsip dasar hidraulika saat perencanaannya. Ada empat jenis pembangkit yang menggunakan prinsip ini. Yaitu:

- a. Pembangkit listrik tenaga air konvensional yaitu pembangkit yang menggunakan kekuatan air secara wajar yang diperoleh dari pengaliran air dan sungai.
- b. Pembangkit listrik dengan pemompaan kembali air ke kolam penampungan yaitu pembangkitan menggunakan konsep perputaran kembali air yang sama dengan mempergunakan pompa, yang dilakukan saat pembangkit melayani permintaan tenaga listrik yang tidak begitu berat.
- c. Pembangkit listrik tenaga air pasang surut yaitu gerak naik dan turun air laut menunjukkan adanya sumber tenaga yang tidak terbatas. Gambaran siklus air pasang adalah perbedaan naiknya permukaan air pada waktu air pasang dan pada waktu air surut. Air pada waktu pasang berada pada tingkatan yang tinggi dan dapat disalurkan ke dalam kolam untuk disimpan pada tingkatan tinggi tersebut. Air akan dialirkan ke laut pada waktu surut melalui turbin-turbin.

- d. Pembangkit listrik tenaga air yang ditekan yaitu dengan mengalihkan sebuah sumber air yang besar seperti air laut yang masuk ke sebuah penurunan topografis yang alamiah, yang didistribusikan dalam pengoperasian ketinggian tekanan air untuk membangkitkan tenaga listrik.

3) Berdasarkan Sistem Pengoperasian

Pengoperasian bekerja dalam hubungan penyediaan tenaga listrik sesuai dengan permintaan, atau pengoperasian dapat berbentuk suatu kesatuan sistem kisi-kisi yang mempunyai banyak unit.

4) Berdasarkan Lokasi Kolam Penyimpanan dan Pengatur.

Kolam yang dilengkapi dengan konstruksi bendungan/tanggul. Kolam tersebut diperlukan ketika terjadi pengaliran tidak sama untuk kurun waktu lebih dari satu tahun. Tanpa kolam penyimpanan, pembangkit/instalasi dipergunakan dalam pengaliran keadaan normal.

5) Berdasarkan Lokasi dan Topografi

Instalasi pembangkit dapat berlokasi didaerah pegunungan atau dataran. Pembangkit di pegunungan biasanya bangunan utamanya berupa bendungan dan di daerah dataran berupa tanggul.

6) Berdasarkan Kapasitas PLTA

Menurut Mesonyi:

- a. Pembangkit listrik yang paling kecil sampai dengan : 100 kW
- b. Kapasitas PLTA yang terendah sampai dengan : 1000 kW
- c. Kapasitas menengah PLTA sampai dengan : 10000 kW
- d. Kapasitas tertinggi diatas : 10000 kW

7) Berdasarkan ketinggian tekanan air

- a. PLTA dengan tekanan air rendah kurang dari : dibawah 15 m
- b. PLTA dengan tekan air menengah berkisar :15 m – 70 m

- c. PLTA dengan tekanan air tinggi berkisar :71 m – 250 m
- d. PLTA dengan tekanan air yang sangat tinggi :diatas 250 m

8) Berdasarkan bangunan/konstruksi utama

Berdasarkan bangunan / konstruksi utama dibagi atas:

- a. Pembangkit listrik pada aliran sungai, pemilihan lokasi harus menjamin bahwa pengalirannya tetap normal dan tidak mengganggu bahan-bahan konstruksi pembangkit listrik. Dengan demikian pembangkit listrik walaupun mempunyai kolam cadangan untuk penyimpanan air yang besar, juga mempunyai sebuah saluran pengatur jalannya air dari kolam penyimpanan itu.
- b. Pembangkit listrik dengan bendungan yang terletak di lembah, maka bendungan itu merupakan lokasi utama dalam menciptakan sebuah kolam penampung cadangan air, dan konstruksi bangunan terletak pada sisi tanggul.
- c. Pembangkit listrik tenaga air dengan pengalihan terusan, aliran air yang dialirkan melalui sebuah terusan ke konstruksi bangunan yang lokasinya cukup jauh dari kolam penyimpanan. Air dari lokasi bangunan dikeringkan ke dalam sungai semula dengan suatu pengalihan aliran air. Pembangkit listrik tenaga air dengan pengalihan ketinggian, tekanan air dialirkan melalui sebuah sistem terowongan dan terusan yang menuju kolam cadangan diatas, atau aliran lain melalui lokasi bangunan ini.

2.6. Kelebihan dan Kekurangan PLTA

2.6.1. Kelebihan

Ada beberapa keunggulan dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang dapat dirangkum secara garis besar sebagai berikut :

- 1. Respon pembangkit listrik yang cepat dalam menyesuaikan kebutuhan beban. Sehingga pembangkit listrik ini sangat cocok digunakan sebagai pembangkit listrik tipe peak untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan.

2. Kapasitas daya keluaran PLTA relatif besar dibandingkan dengan pembangkit energi terbarukan lainnya dan teknologinya bisa dikuasai dengan baik oleh Indonesia.
3. PLTA umumnya memiliki umur yang panjang, yaitu 50-100 tahun.
4. Bendungan yang digunakan biasanya dapat sekaligus digunakan untuk kegiatan lain, seperti irigasi atau sebagai cadangan air dan pariwisata.
5. Bebas emisi karbon yang tentu saja merupakan kontribusi berharga bagi lingkungan.

2.6.2. Kekurangan

Selain keunggulan yang telah disebutkan diatas, ada juga efek negatif pembangunan PLTA/kerugiannya yaitu sebagai berikut:

1. Pada lingkungan, yaitu mengganggu keseimbangan ekosistem sungai/danau akibat dibangunnya bendungan.
2. Biaya investasi paling mahal.
3. Pembangunan bendungan memakan waktu yang lama.
4. Memerlukan lahan yang luas.
5. Di samping itu terkadang, kerusakan pada bendungan dapat menyebabkan resiko kecelakaan dan kerugian yang sangat besar

2.7. PLTMH AEK RAISAN

Latar Belakang PLTMH AEK RAISAN I

Tapanuli Utara merupakan daerah dengan kepadatan penduduk yang tergolong padat dengan luas wilayah kabupaten Tapanuli Utara sekitar 3.800.3 km² terdiri dari dataran 3.793.71 km². Jumlah penduduk kabupaten Tapanuli Utara dengan jumlah penduduk 171.962 jiwa, dengan jumlah rumah tangga (RT) 31,323 RT. Seiring dengan penambahan penduduk di daerah tersebut, maka kebutuhan akan energi listrik pun semakin meningkat. Hal itu sangat berpengaruh terhadap pasokan listrik dari PLN hanya 20 MW dimana daya yang tersedia tidak mencukupi sehingga terjadi pemadaman bergilir di daerah tersebut. Untuk mengatasi hal tersebut, maka PLN berinisiatif untuk membangun sebuah pembangkit skala menengah yang memanfaatkan potensi alam yaitu air. Pada tahun 1984, dibangunlah sebuah pembangkit listrik di Dusun Parsingkaman, Desa Pagaran Lambung I, Kecamatan Adiankoting, Kabupaten Tapanuli Utara. Setelah

selesai dibangun, PLTMH ini diresmikan pada tahun 1987 sekaligus beroperasi pada tahun tersebut. Karena pembangkit ini dibangun dengan memanfaatkan aliran sungai Raisan, maka namanya disebut PLTMH Aek Raisan I. Sampai sekarang, pembangkit ini masih beroperasi dengan kapasitas 750 kW dan telah mampu mensuplai daya ke sebagian daerah di Tapanuli Utara.

PLTMH Aek Raisan I merupakan type PLTMH RUN OF RIVER dan memiliki letak power house semi bawah tanah. PLTMH ini terletak di desa Pangaran Lambung I, Kecamatan Adiankoting, Kabupaten Tapanuli Utara. Prinsip pembangkitan dari PLTM hampir sama dengan PLTA . Energi potensial diubah menjadi energi kinetik dan energi kinetik tersebut akan berubah menjadi energi mekanik di dalam turbin dan selanjutnya proses dari turbin akan berputar. Putaran turbin inilah yang digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Air yang berasal dari sungai Raisan dialirkan ke bendungan penampung air untuk keperluan pembangkitan energi listrik. Air dari bendungan tersebut masuk ke kanal melalui intake gate. Pada bendungan tersebut di pasang filter mekanis untuk memisahkan air dan kotoran yang hendak masuk ke kanal. Dan air dari kanal mengalir ke kolam penenang melalui pipa pesat yang di atur oleh pintu pengatur yang terdapat di kanal dan air akan di tenangkan di kolam penenang. Air dalam kolam penenang akan di salurkan ke turbin melalui pipa pesat.

Pembangunan PLTMH ini sangat bermanfaat bagi masyarakat di daerah Sibolga-tarutung. Disamping pemenuhan akan kebutuhan akan pasokan energi listrik, ada beberapa keuntungan lain dari pembangunan PLTMH ini antara lain :

- a. Air tidak perlu dibeli karena air disediakan oleh alam sehingga biaya pembangkit relatif murah.
- b. Tidak menimbulkan polusi.
- c. Tidak menimbulkan kebisingan karena jauh dari pemukiman.
- d. Mempunyai useful life yang lama.
- e. Air bisa digunakan kembali sebagai irigasi.
- f. Dapat meningkatkan perekonomian masyarakat karena dengan pembangunan PLTMH ini akan membutuhkan tenaga kerja.

Akan tetapi disamping keuntungannya, PLTMH Aek Raisan I ini juga mempunyai kekurangan / kerugian yaitu :

- a. Jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan biaya transmisi yang besar.
- b. Biaya pembangunan relatif besar.

2.8. Lokasi PLTMH Aek Raisan I

Di dalam pembangunan sebuah pembangkit, banyak hal yang harus dipertimbangkan demi kelangsungan pembangkit itu sendiri. Hal-hal yang perlu diperhatikan yang paling utama adalah denah atau lokasi pembangunan. Lokasi dari pembangkit itu sendiri harus dekat dengan sumber air karena proses pembangkitan tenaga listrik memanfaatkan energi dari air untuk menggerakkan turbin. Pembangunan PLTMH Aek Raisan I sangat tepat dan strategis terhadap sumber air, dimana sumber air yang digunakan PLTMH tersebut yaitu air sungai Raisan.

2.9. Komponen Utama PLTMH Aek Raisan I

Seperti halnya PLTA, PLTMH juga memerlukan komponen-komponen utama yang dibutuhkan untuk menghasikan energi listrik baik dari komponen esensial maupun komponen pada power house. Dari hasil pengamatan dan penelitian pada PLTMH Aek Raisan I, beberapa komponen utama yang dibutuhkan antara lain :

- a. Bendungan
- b. Kanal
- c. Kolam Penenang (Forebay Tank)
- d. Pintu pengatur
- e. Pintu penguras
- f. Pipa pesat (Penstock)
- g. Rumah pembangkit (Power House)
- h. Turbin air
- i. Saluran buang (Spill Way)
- j. Generator

k. Transformator

2.10. Sistem Sinkronisasi PLTMH Aek Raisan I

Operasi paralel pusat-pusat tenaga listrik pada dasarnya merupakan perluasan bekerja paralel satu pembangkit dengan pembangkit yang lain, dengan tambahan resistansi dan reaktansi saluran-saluran interkoneksi. Proses menghubungkan paralel satu pembangkit tenaga listrik dengan pembangkit yang lainnya dinamakan sinkronisasi, atau dapat juga dikatakan bahwa Sinkronisasi pada pembangkit adalah memparalelkan kerja dua buah pembangkit atau lebih untuk mendapatkan daya sebesar jumlah pembangkit tersebut dengan syarat syarat yang telah ditentukan.

Sinkronisasi atau menghubungkan paralel perlu dipenuhi syarat untuk sistem yang akan diparalelkan yaitu:

- 1) Besar tegangan harus sama.
- 2) Frekuensi harus sama (mempunyai frekuensi yang sama).

Proses sinkronisasi pada PLTMH Aek Raisan I

Mula-mula mengatur putaran turbin hingga mencapai putaran nominal 375 rpm. Setelah mencapai putaran nominal tersebut generator akan beroperasi dan menghasilkan tegangan 380 Volt dan frekuensi 50 Hz. Setelah itu sistem akan menyamakan tegangan hingga 380 Volt dan frekuensi 50 Hz dengan AVR agar memenuhi persyaratan interkoneksi terhadap generator. Setelah tegangan, frekuensi generator dengan sistem sudah sama maka lambang sinkronisasi dengan menggunakan arah jarum jam pada panel akan berhenti dan tidak bergerak-gerak ke kiri dan ke kanan sehingga dapat di sinkron kan dengan cara menekan tombol sinkron pada kotak panel.

Syarat utama agar generator dapat beroperasi adalah putaran turbin harus 375 rpm. Pada saat debit air menurun maka putaran turbin akan turun dan secara otomatis tegangan generator akan berkurang sehingga putaran turbin kembali normal. Untuk mengurangi penurunan output dari generator digunakan governor untuk melebarkan sirip dari sudut-sudut turbin agar air yang masuk melalui pipa

pesat menuju turbin mempunyai tekanan yang lebih kuat terhadap sudut-sudut turbin. Sehingga putaran dari turbin dapat bertambah, setelah itu keluaran dari generator akan naik semaksimal mungkin.



Gambar 2.10. Synchroscope PLTMH Aek Raisan I

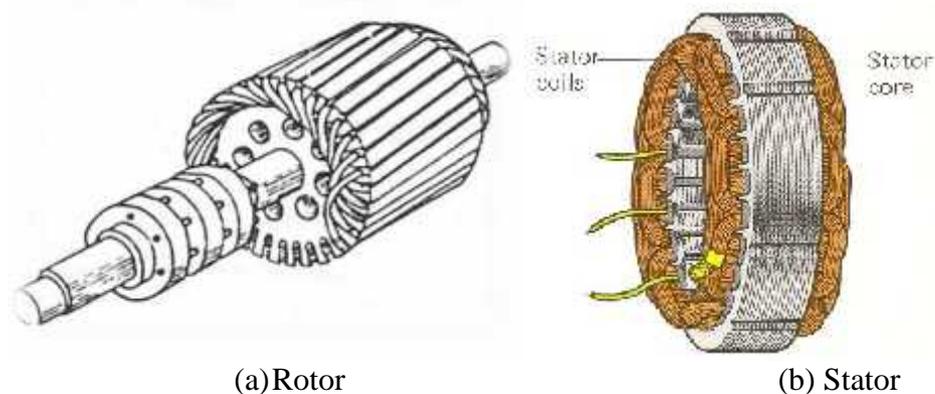
Ketepatan sudut fasa dapat dilihat dari Sinchroscope. Bila jarum penunjuk berputar berlawanan arah jarum jam berarti frekuensi dan tegangan generator lebih rendah dan bila searah jarum jam berarti frekuensi dan tegangan generator lebih tinggi. Pada saat jarum jam telah diam dan menunjuk pada kedudukan vertikal berarti beda fasa generator dan sistem telah 0 (nol) dan selisih frekuensi telah 0 (nol). Maka pada kondisi ini saklar diONkan.

BAB III

TEORI UMUM GENERATOR DAN GOVERNOR

3.1. Umum

Generator adalah sebuah alat yang mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik (arus tegangan). Generator dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Untuk pembangkit tenaga listrik yang lazim dipakai adalah generator sinkron. Generator dihubungkan dengan turbin melalui kopling langsung sehingga ketika baling-baling turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Generator selanjutnya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik ini dikonversi menggunakan media medan magnet. Komponen utama generator terdiri dari bagian yang berputar disebut rotor dan bagian yang tidak berputar disebut stator.



Gambar 3.1. Konstruksi Generator

3.2. Prinsip Dasar Generator Sinkron

Generator sinkron bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Generator sinkron mempunyai belitan jangkar yang merupakan elemen diam pada stator dan belitan eksitasi itu dimagnetisasikan oleh arus searah yang dipasok oleh sumber arus searah dari luar atau dari generator itu sendiri dengan jalan mengambil sebagian arus yang keluar dari stator lalu diserahkan sebagai penguat. Jika stator generator sinkron diputar pada suatu kecepatan tertentu yang disebut dengan putaran sinkron, belitan medan magnet pada rotor tersebut dialiri arus searah, sehingga menghasilkan fluksi yang turut berputar dan memotong belitan jangkar yang terdapat pada bagian stator. Akibat adanya perubahan fluksi persatuan waktu yang dirasakan oleh belitan jangkar, maka pada belitan jangkar akan terjadi tegangan induksi.

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula (*prime mover*), dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus searah maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya fluks) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub. Garis-garis gaya fluks yang

berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar distator, sehingga menimbulkan *EMF* atau *GGL* atau tegangan induksi, yang besarnya :

$$E = N \frac{d\Phi}{dt}$$

..... (3.)

1)

Dengan:

E = Gaya Gerak Listrik (*volt*)

N = jumlah belitan

$\frac{d\Phi}{dt}$ = perubahan fluks magnet (*weber/sec*).

3.2.1. Kecepatan Putaran Generator Sinkron

Kecepatan putaran suatu generator sinkron tergantung kepada penggerak mulanya, Seperti pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA), penggerak mulanya berupa turbin. Jadi apabila putaran turbinnya tinggi, maka putaran pada generator juga akan tinggi. Dan jika sebaliknya, jika putaran turbin rendah maka putaran pada generator juga akan rendah. Putaran pada generator selalu dijaga konstan agar frekuensi dan tegangan yang dihasilkan generator sinkron tetap konstan. Untuk menentukan besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh generator dapat dicari berdasarkan besarnya jumlah putaran dan banyaknya jumlah pasang kutub pada generator sinkron, sehingga diperoleh hubungan

$$f = \frac{p.n}{120}$$

..... (3.)

2)

Dengan :

f = frekuensi listrik (Hz)

p = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan putaran rotor (rpm).

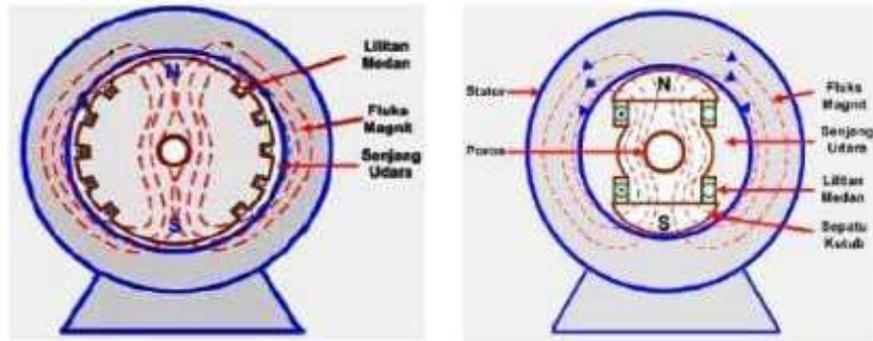
Umumnya frekuensi listrik yang dihasilkan suatu generator sinkron di Indonesia 50 Hz. Ini berarti untuk generator sinkron yang mempunyai satu pasang

kutub diperlukan sebanyak 25 putaran setiap detik atau sama dengan $60 \times 25 = 1500$ putaran per menit. Untuk menjaga frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sebesar 50 Hz dan untuk generator sinkron yang mempunyai jumlah kutub pada rotornya lebih dari satu pasang maka jumlah putarannya ini disesuaikan dengan persamaan di atas. Kecepatan putaran juga sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan generator sinkron. Jika putarannya turun maka tegangan generator sinkron juga akan turun dan apabila putarannya bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya tegangan yang dihasilkan oleh generator. Jadi, jika putaran generator sinkron bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya kemampuan pembangkitan daya dari generator sinkron. Tetapi biasanya dalam pengoperasiannya jumlah putaran generator sinkron dijaga konstan dan yang diatur biasanya adalah arus penguat medannya.

3.2.2. Konstruksi Generator Sinkron

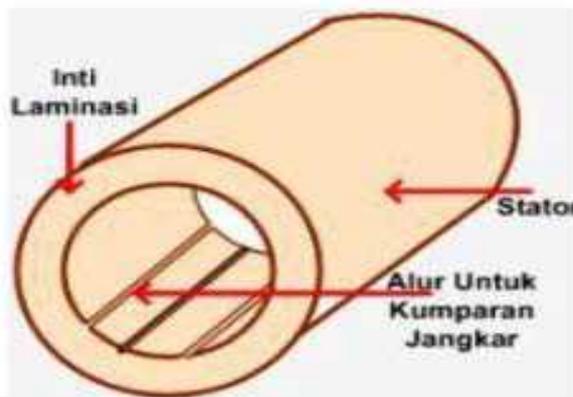
Pada dasarnya konstruksi dari generator sinkron adalah sama dengan konstruksi motor sinkron, dan secara umum biasa disebut mesin sinkron. Ada dua struktur kumparan pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC atau disebut kumparan medan dan sebuah kumparan atau disebut kumparan jangkar tempat dibangkitkannya GGL arus bolak-balik. Hampir semua mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar berupa stator yang diam dan struktur medan magnet berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada struktur medan yang berputar dihubungkan pada sumber DC luar melalui cincin geser (slip ring) dan sikat arang (carbon brush), tetapi ada juga yang tidak mempergunakan sikat arang yaitu sistem brushless excitation.

Untuk medan rotor yang digunakan tergantung pada kecepatan mesin, mesin dengan kecepatan tinggi seperti turbo generator mempunyai bentuk silinder seperti pada gambar 3.2a, sedangkan mesin dengan kecepatan rendah seperti Hydroelectric (PLTA) atau Generator Listrik Diesel mempunyai rotor kutub menonjol seperti pada gambar 3.2b.



Gambar 3.2.a. Bentuk rotor kutub silinder. Gambar 3.2.b. Bentuk Stator

Stator dari Mesin Sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik, yang berbentuk laminasi agar dimaksudkan untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan inti ferromagnetik yang bagus berarti mengandung bahan yang memiliki permeabilitas dan resistivitas tinggi. Gambar 3.3 memperlihatkan alur stator yang terdapat kumparan jangkar. Kumparan/belitan jangkar pada stator yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa, ada dua tipe yaitu : a. Belitan satu lapis (Single Layer Winding). b. Belitan berlapis ganda (Double Layer Winding).



Gambar 3.3 Inti Stator dan Alur pada Stator

3.2.3. Generator Tanpa Beban

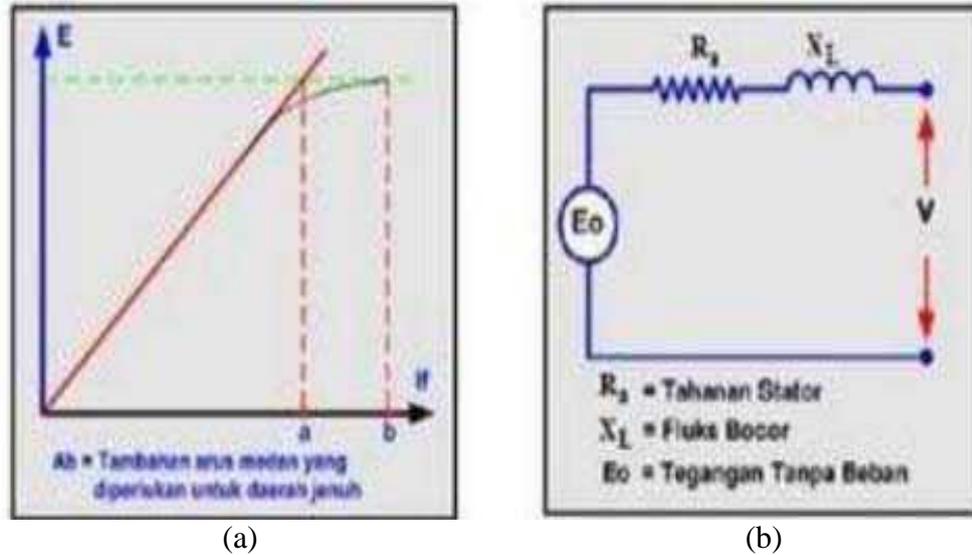
Apabila sebuah mesin sinkron difungsikan sebagai generator dengan diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), maka pada kumparan jangkar stator akan diinduksikan tegangan tanpa beban (E_o), yaitu sebesar:

$$E_o = 4,44 \cdot K_d \cdot K_p \cdot f \cdot m \cdot T \text{ Volt}$$

..... (3.3)

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan keluaran juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh), seperti diperlihatkan pada gambar 3.4. Kondisi

generator tanpa beban bisa digambarkan rangkaian ekuivalennya seperti diperlihatkan pada gambar 3.4.b.



Gambar 3.4.a. Kurva generator tanpa beban

Gambar 3.4.b. Rangkaian ekivalen generator tanpa beban

3.2.4. Generator Berbeban

Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V akan berubah-ubah pula, hal ini disebabkan adanya kerugian tegangan pada :

- a. Resistansi Jangkar

Resistansi jangkar/fasa R_s menyebabkan terjadinya kerugian tegangan jatuh/fasa dan $I \cdot R_a$ yang sefasa dengan arus jangkar.

- b. Reaktansi Bocor Jangkar

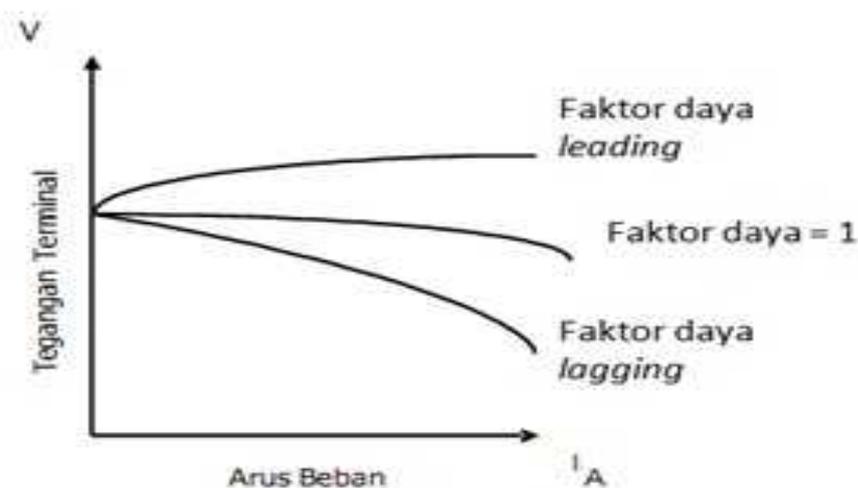
Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak mengimbas pada jalur yang telah ditentukan, hal seperti ini disebut "fluks bocor".

- c. Reaksi Jangkar

Adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat generator dibebani akan menimbulkan fluks jangkar (A) yang berintegrasi dengan fluks yang dihasilkan pada kumparan medan rotor (F), sehingga akan dihasilkan suatu fluks resultan sebesar $R = A + F$

Tiga macam sifat beban jika dihubungkan dengan generator, yaitu : beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Akibat pembeban ini akan berpengaruh terhadap tegangan beban dan faktor dayanya. Gambar

3.5 menunjukkan jika beban generator bersifat resistif mengakibatkan penurunan tegangan relatif kecil dengan faktor daya sama dengan satu. Jika beban generator bersifat induktif terjadi penurunan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya terbelakang (lagging). Sebaliknya, Jika beban generator bersifat kapasitif akan terjadi kenaikan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya mendahului (leading).



Gambar 3.5 Karakteristik generator berbeban

3.3.Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron

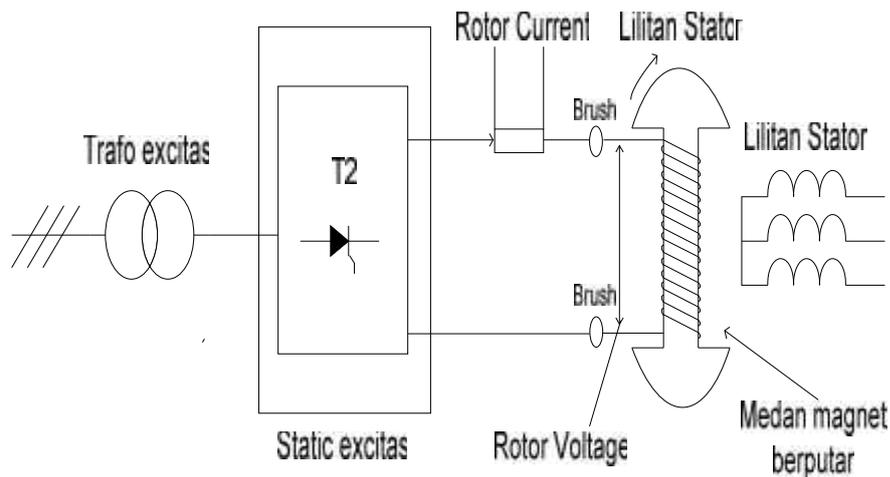
Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besar arus eksitasinya. Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik dan pada perkembangannya, sistem Eksitasi pada generator listrik ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

1. Sistem Eksitasi dengan menggunakan sikat (brush excitation).
2. Sistem Eksitasi tanpa sikat (brushless excitation).

3.3.1. Sistem Eksitasi dengan menggunakan sikat (brush excitation)

Pada Sistem Eksitasi menggunakan sikat, sumber tenaga listriknya berasal dari generator arus searah (DC) atau generator arus bolak balik (AC) yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan rectifier.

Jika menggunakan sumber listrik listrik yang berasal dari generator AC atau menggunakan Permanent Magnet Generator (PMG) medan magnetnya adalah magnet permanen. Dalam lemari penyearah, tegangan listrik arus bolak balik diubah atau disearahkan menjadi tegangan arus searah untuk mengontrol kumparan medan eksiter utama (main exciter). Untuk mengalirkan arus eksitasi dari main exciter ke rotor generator digunakan cincin geser (slip ring) dan sikat arang (carbon brush), demikian juga penyaluran arus yang berasal dari pilot exciter ke main exciter. Gambar 3.6 menunjukkan sistem eksitasi dengan sikat.



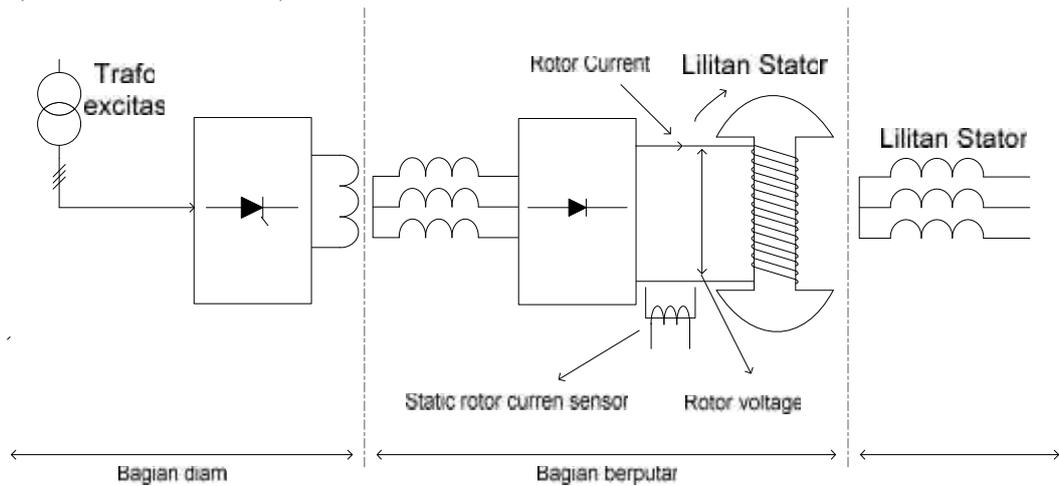
Gambar 3.6. Sistem Eksitasi dengan sikat (Brush Excitation).

Prinsip Kerja Sistem Eksitasi dengan Sikat (Brush Excitation) adalah sebagai berikut: Generator penguat yang pertama, adalah generator arus searah hubungan shunt yang menghasilkan arus penguat bagi generator penguat kedua. Generator penguat (exciter) untuk generator sinkron merupakan generator utama yang diambil dayanya. Pengaturan tegangan pada generator utama dilakukan dengan mengatur besarnya arus eksitasi (arus penguatan) dengan cara mengatur potensiometer atau tahanan asut. Potensiometer ini mengatur arus eksitasi generator pertama dan generator penguat kedua menghasilkan arus eksitasi generator utama. Dengan cara ini arus eksitasi yang diatur tidak terlalu besar nilainya (dibandingkan dengan arus generator penguat kedua) sehingga kerugian daya pada potensiometer tidak terlalu besar. PMT arus eksitasi generator utama dilengkapi tahanan yang menampung energi medan magnet generator utama karena jika dilakukan pemutusan arus eksitasi generator utama harus dibuang ke dalam tahanan. Sekarang banyak generator arus bolak-balik yang dilengkapi penyearah untuk menghasilkan arus searah yang dapat digunakan bagi penguatan generator utama sehingga penyaluran arus searah bagi penguatan generator utama, oleh generator penguat kedua tidak memerlukan slip ring karena penyearah ikut berputar bersama poros generator. Slip ring digunakan untuk menyalurkan arus dari generator penguat pertama ke medan penguat generator penguat kedua. Nilai arus eksitasi kecil sehingga penggunaan slip ring tidak menimbulkan masalah. Pengaturan besarnya arus eksitasi generator utama dilakukan dengan pengatur tegangan otomatis supaya nilai tegangan klem generator konstan. Pengaturan tegangan otomatis ini pada awalnya berdasarkan prinsip

mekanis, tetapi sekarang sudah menjadi elektronik menggunakan Automatic Voltage Regulator (AVR).

3.3.2. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (Brushless Excitation)

Perkembangan sistem eksitasi pada generator sinkron dengan sistem eksitasi tanpa sikat, karena sikat dapat menimbulkan loncatan api pada putaran tinggi. Untuk menghilangkan sikat digunakan dioda berputar yang dipasang pada jangkar. Gambar 3.7 menunjukkan sistem eksitasi tanpa sikat. Penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor, generator mempunyai kelemahan karena besarnya arus yang mampu dialirkan pada sikat arang relatif kecil. Untuk mengatasi keterbatasan sikat arang, digunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (brushless excitation).



Gambar 3.7 Sistem Eksitasi tanpa sikat (Brushless Excitation)

Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat, antara lain adalah:

1. Energi yang diperlukan untuk eksitasi diperoleh dari poros utama (main shaft), sehingga keandalannya tinggi .
2. Biaya perawatan berkurang karena pada sistem eksitasi tanpa sikat tidak terdapat sikat arang, komutator dan slip ring.
3. Pada sistem eksitasi tanpa sikat tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada farnish akibat sikat arang.
4. Mengurangi kerusakan (trouble) akibat udara buruk (bad atmosfere) sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup
5. Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat arang, sehingga meningkatkan keandalan operasi dapat berlangsung terus pada waktu yang lama.

6. Pemutus medan generator (generator field breaker), field generator dan bus exciter atau kabel tidak diperlukan lagi .
7. Biaya pondasi berkurang, sebab aliran udara dan bus exciter atau kabel tidak memerlukan pondasi.

Prinsip kerja sistem Eksitasi tanpa sikat (Brushless Excitation) adalah sebagai berikut: Generator penguat pertama disebut pilot exciter dan generator penguat kedua disebut main exciter (penguat utama). Main exciter adalah generator arus bolak-balik dengan kutub pada statornya. Rotor menghasilkan arus bolak-balik disearahkan dengan dioda yang berputar pada poros main exciter (satu poros dengan generator utama). Arus searah yang dihasilkan oleh dioda berputar menjadi arus eksitasi generator utama. Pilot exciter pada generator arus bolak-balik dengan rotor berupa kutub magnet permanen yang berputar menginduksi pada lilitan stator.

Tegangan bolak-balik disearahkan oleh penyearah dioda dan menghasilkan arus searah yang dialirkan ke kutub-kutub magnet yang ada pada stator main exciter. Besar arus searah yang mengalir ke kutub main exciter diatur oleh pengatur tegangan otomatis (Automatic Voltage Regulator atau AVR). Besarnya arus eksitasi berpengaruh pada besarnya arus yang dihasilkan main exciter, maka besarnya arus main exciter juga mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator utama. Pada sistem Eksitasi tanpa sikat, permasalahan timbul jika terjadi hubung singkat atau gangguan hubung tanah di rotor dan jika ada sekering lebur dari dioda berputar yang putus, hal ini harus dapat dideteksi. Gangguan pada rotor yang berputar dapat menimbulkan distorsi medan magnet pada generator utama dan dapat menimbulkan vibrasi (getaran) berlebihan pada unit pembangkit.

3.4. Governor

Governor adalah alat yang berfungsi untuk mengatur kecepatan turbin sesuai dengan yang direncanakan pada beban yang dibutuhkan dengan tingkat sensitifitas dan kestabilan tertentu.

Prinsip kerja governor secara umum adalah suatu alat pengontrol atau pengatur putaran turbin-generator secara terus menerus dan otomatis pada beban yang berbeda agar turbin tetap pada putaran tetap pada putaran nominalnya.

Jika ditinjau dari makna governor memiliki arti sebagai pengatur yang banyak digunakan mesin-mesin penggerak mula. Guna membuat mesin tersebut yang kerja dengan kondisi putaran relatif konstan sehingga kecepatan putaran sebuah mesin tidak memiliki putaran kritisnya walaupun daya yang dihasilkan cenderung bervariasi.

Ada dua mode operasi *governor*, yaitu *droop* dan *isochronous*. Pada mode *droop*, *governor* sudah memiliki “*setting point*” *p_{mech}* (daya mekanik) yang besarnya sesuai dengan *rating* generator atau menurut kebutuhan. Dengan adanya “*fixed point*” ini, output daya listrik generator nilainya tetap dan adanya perubahan beban tidak akan mengakibatkan perubahan putaran pada turbin (daya berbanding lurus dengan putaran).

Lain halnya dengan *isochronous*, “*set point*” putaran *governor* ditentukan berdasarkan kebutuhan daya listrik sistem pada saat itu (*real time*). Kemudian melalui *internal* proses di dalam *governor* (sesuai dengan kontrol logic dari manufaktur), *governor* akan menyesuaikan nilai *output* daya mekanik turbin supaya sesuai dengan daya listrik yang dibutuhkan sistem. Pada saat terjadi perubahan beban, *governor* akan menentukan setting point yang baru sesuai dengan aktual beban sehingga dengan pengaturan putaran ini diharapkan frekuensi listrik generator tetap berada didalam “*acceptable range*” dan generator tidak mengalami “*out of synchronization*”.

Governor sentrifugal atau mekanis menggunakan *flyweight* yang berputar sebagai alat standar operasinya, prinsip kerjanya serupa dengan sistem maju mekanis distributor, saat mesin dan pompa injeksi bahan bakar berputar, bekerja gaya sentrifugal pada *flyweight* yang berputar yang mengontrol posisi batang berigi atau batang pengontrol bahan bakar pompa injeksi. *Governor* terdiri dari dua buah *flyweight* (A) yang beraksi pada batang penghubung (*Sliding Yoke*) E. poros pompa injeksi yang menggerakkan mesin mengakibatkan *flyweight* bergerak kearah luar sehingga mendesak *sliding yoke* pada pegas *governor* (D). Tekanan pada pegas *governor* mengontrol posisi *throttle*, tekanan lemah pada *idle*, tekanan kuat pada *throttle* membuka penuh, pada saat batang penghubung bergerak kembali karena tekanan pegas *governor*. Ia juga mengontrol posisi batang pengontrol bahan bakar (C) sehingga mengontrol penyaluran bahan bakar dan kecepatan mesin, semakin lemah tekanan pegas *governor* maka semakin kecil kecepatan mesin yang diperlukan untuk menggerakkan pembebanan sentrifugal keluar untuk mengurangi penyaluran bahan bakar dan menjaga kecepatan mesin agar tetap perlahan, semakin kuat tekanan pegas *governor* maka semakin besar

kecepatan mesin yang diperlukan untuk menggerakkan beban sentrifugal keluar untuk mengurangi penyaluran bahan bakar.

Kerja dasar *governor* adalah saat mesin telah berhenti, pegas *governor* menahan batang penghubung dan batang pengontrol bahan bakar pada posisi bahan bakar penuh. Pada saat mesin *distarter* terdapat gaya sentrifugal yang menggerakkan beban ke luar, beban mengadakan aksi pada batang *yoke* dan menggerakkannya melawan pegas *governor* yang bertekanan rendah, sehingga mendesak batang bergigi pengontrol ke arah bahan bakar yang lebih sedikit (*idle*) atau posisi kecepatan mesin yang rendah. Saat tekanan *throttle* meningkat maka tekanan pada pegas *governor* meningkat sehingga mendesak batang *yoke* kembali pada posisi bahan bakar penuh untuk meningkatkan kecepatan mesin. Akhirnya dicapai suatu titik dimana beban bergerak keluar dengan gaya sentrifugal yang mencukupi untuk mengurangi kembali peningkatan penyaluran bahan bakar, sehingga menjaga kecepatan mesin yang konstan. Bahan bakar penuh diperoleh saat tekanan pegas *governor* cukup untuk menahan *yoke* terhadap gaya sentrifugal beban, sehingga terjadi penyaluran bahan bakar dan kecepatan yang maksimum.

Governor ini menggunakan kevakuman dari intake manifold dan mempunyai stabilitas kecepatan yang baik sekali, *pneumatic governor* dipasang pada bagian belakang pompa injeksi, di mana fungsi pompa injeksi bahan bakar pada motor diesel untuk memasukkan bahan bakar ke dalam ruang pembakaran melalui pengabut pada saat yang telah ditetapkan dalam jumlah sesuai dengan daya yang dihasilkan.

Governor ini dipisahkan oleh diafragma menjadi 2 ruangan (ruang A dan B). Ruang A dihubungkan dengan venturi oleh selang dan dengan saringan udara oleh katup *trottle*, ruang B dihubungkan dengan katup *throttle* (venturi pembantu) bagian manifolda diagram dihubungkan dengan salah satu ujung kontrol *rock* dan selalu dalam keadaan terdorong oleh pegas utama ke bagian penyemprotan maksimum. Ketika mesin bekerja, diafragma ini bergerak dengan adanya perbedaan tekanan antara vakum dan saringan udara dan pengontrolan bahan bakar dipengaruhi oleh keseimbangan antara diafragma dan pegas utama. Prinsip Kerja *governor pneumatic* adalah pada saat mesin mati pegas pengembalian

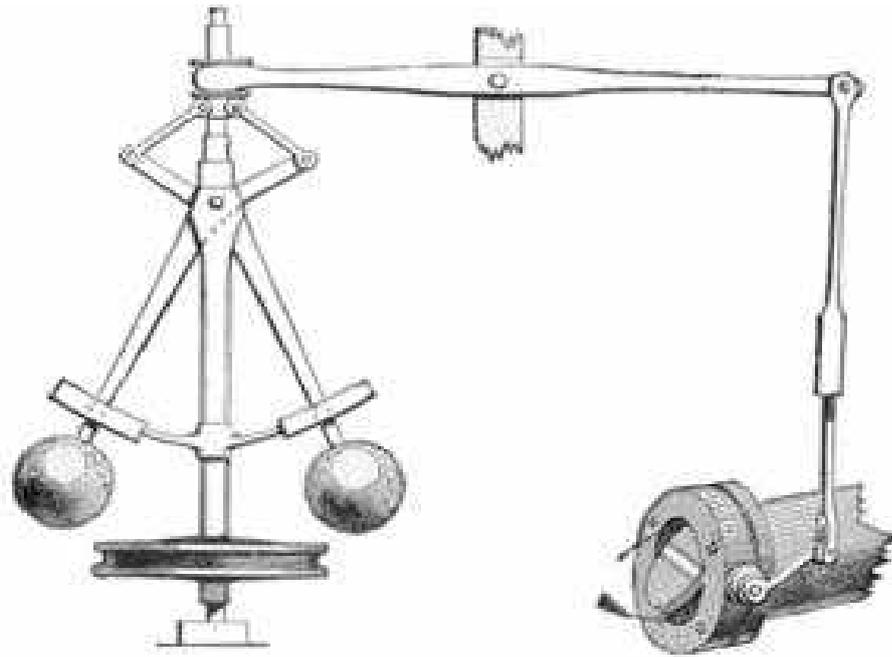
diafragma menekan diafragma dan bidang bergerigi ke arah kiri pada posisi bahan bakar penuh. Jika mesin distarter sumber vakum dan plat *throttle* bekerja mendorong diafragma ke arah kanan sehingga mengurangi penyaluran oleh pompa injeksi dan mengontrol kecepatan mesin sesuai dengan posisi *throttle*. Saat *throttle* dibuka *supply* vakum pada diafragma menurun sehingga diafragma terdesak ke kiri oleh pegas pengembalian yang memungkinkan penyaluran bahan bakar dan kecepatan mesin. vakum manifold menjadi lubang pada saat *throttle* penuh, sehingga pegas pengembalian mendesak diafragma pada posisi bahan bakar penuh. Vakum manifold yang tertinggi adalah pada saat posisi *throttle* menutup dan diafragma terdesak pegas pengembalian menggerakkan batang bergerigi pada posisi bahan bakar minimum.

Sistem kerja dari governor sangat bergantung dari kecepatan poros yang dihasilkan oleh motor dan pembebanan yang diberikan sehingga mempengaruhi kedudukan oleh motor.

Jenis-jenis *governor* :

Governor mekanis mempunyai konstruksi yang bermacam-macam sesuai dengan keperluan yang ada.

Jenis *governor* yang dikenal adalah sebagai berikut :



Gambar 3.8. Governor mekanis

Pada dasarnya mesin-mesin penggerak mula sering kali harus bekerja atau beroperasi pada kondisi putaran relatif konstan, walaupun daya yang harus dihasilkan cenderung bervariasi. Untuk mencapai kondisi ini, diperlukan alat yang disebut pengatur (*governor*). Fungsi *governor* secara terperinci adalah untuk memantapkan kecepatan mesin yang diinginkan terlepas dari pergantian beban yang dikenakan pada mesin

Governor mekanis mempunyai berbagai macam dan ragam yang tergantung kepada keperluannya. *Governor* mekanis dapat digolongkan sebagai berikut :

1. *Governor* jenis sentrifugal
 - a. *Pendulum type*
 - b. *Loaded type*
 - c. *Gravitasi type*
 - d. *Combined gravity and spring*
 - e. *Bearing controlled type*
2. *Governor* jenis *inertia & flywheel*

Governor mekanis yang terdapat dilaboratorium pada fakultas teknik mesin universitas pancasila adalah *governor* jenis sentrifugal sehingga dikenal

dengan nama *governor* sentrifugal. *Governor* sentrifugal adalah merupakan salah satu pengontrol kecepatan putaran dari sebuah mesin agar tidak melebihi putaran kritisnya.

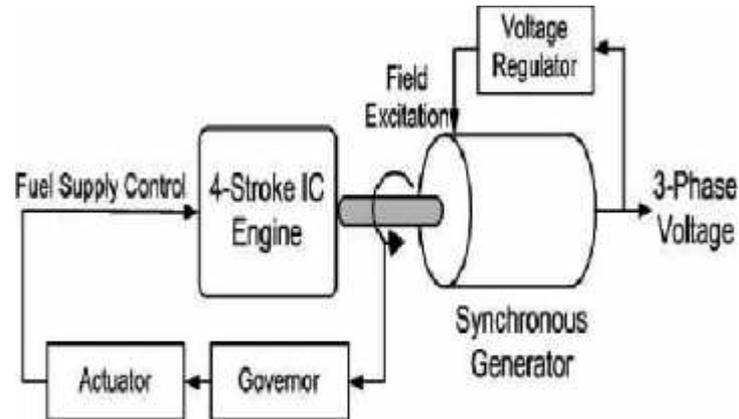
Governor adalah alat yang digunakan untuk mengontrol kecepatan dari penggerak mula / utama dari kecepatan berlebihan dan menstabilkan kecepatan putaran mesin yang diinginkan. *Governor* mengatur kecepatan rata-rata mesin atau penggerak mula apabila terjadi variasi kecepatan frekuensi beban. Jika beban motor konstan maka kecepatan motor konstan dari suatu siklus ke siklus lainnya. Jika beban meningkat, kecepatan motor menurun dan sudut *governor* akan bertambah dengan perubahan, sehingga menggerakkan katup terbuka untuk memperbanyak fluida kerja yang meningkatkan beban

1. Penurunan kecepatan, atau berkurangnya kecepatan mesin dari tanpa beban ke beban penuh yang dinyatakan dalam putaran/menit atau sebagai presentase dari kecepatan normal/ rata-rata.
2. Pengaturan Isohkorik, yaitu mempertahankan kecepatan mesin konstan pada segala beban, pengaturan kecepatan yang mungkin dari penurunan kecepatan nol.
3. Kepekaan/sensitif atau perubahan kecepatan yang diperlukan sebelum *Governor* akan melakukan gerakan.
4. Kestabilan yaitu kemampuan mengatur waktu mempertahankan kecepatan mesin yang diinginkan tanpa naik turun atau konstan.
5. Ayunan, yaitu naik turun yang kontinyu dari mesin terhadap kecepatan yang diperlukan meskipun ketika beban tidak bertambah.
6. Ketangkasan, kecepatan aksi pengatur. Biasanya dinyatakan sebagai waktu dalam detik yang diperlukan *governor* untuk menggerakkan kendali bahan bakar dari kedudukan tanpa batasan bahan sampai beban penuh.
7. Daya dari pengatur, gaya yang ditimbulkan pada *governor* untuk mengatasi tahanan dalam sistem kendali bahan bakar.

Konstruksi pengaturan dari *governor* bermacam-macam berdasarkan tipenya, karena itu bagian ini hanya membicarakan macam beban sentrifugal saja.

- a. Putar tuas pengontrol putaran kearah katup throttle karburator, membuka dan mengunci dengan memutar tuas kupu-kupu.

- b. Tempatkan obeng pada lubang poros pengatur dan putarlah sehingga beban pengatur. Seperti dibicarakan di atas, pengaturannya harus dipasang sedemikian rupa sehingga waktu katup throttle karburator terbuka lebar waktu beban pengatur pada posisi tertutup rapat.



Gambar 3.9. Diagram Governor

3.5. Gaya – Gaya yang Bekerja Pada Governor

Gaya adalah penyebab timbulnya percepatan. Jika dalam suatu gerakan ada percepatan maka harus ada gaya sebagai penyebabnya. Hal ini dinyatakan dalam hukum newton II :

$$F = m \cdot a$$

..... (3.

4)

Hubungan ini menunjukkan bahwa arah gaya selalu sama dengan arah percepatan sebab massa (m) selalu berharga positif.

Adapun gaya-gaya yang bekerja pada governor, yaitu :

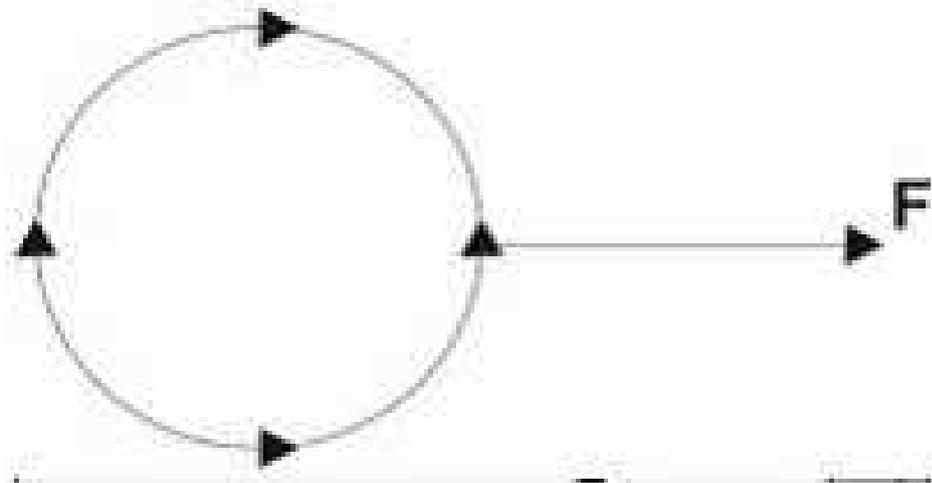
1. Gaya Setrifugal

Merupakan sebuah gaya yang ditimbulkan akibat adanya gerakan suatu benda atau partikel sebuah lintasan lengkung sehingga gaya yang ditimbulkan keluar lingkaran.

$$F = m \cdot v^2/R$$

.....(3.)

5)



Gambar 3.10. Gaya Sentrifugal

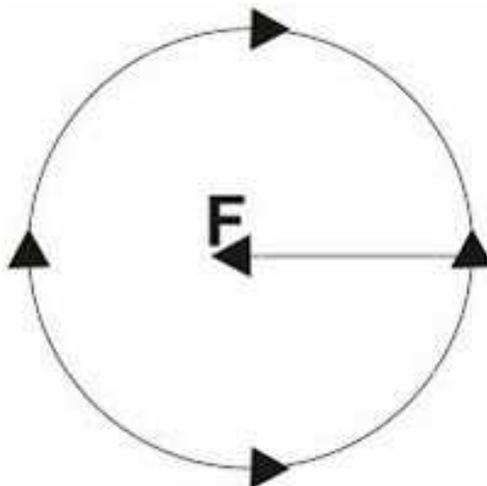
2. Gaya Sentripetal

Yaitu gaya yang diperlukan agar benda dapat tetap bias bergerak melingkar. Jika arah gaya sentrifugal mengarah keluar maka arah gaya sentripetal mengarah ke dalam lingkaran.

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

.....(3.)

6)



Gambar 3.11. Gaya Sentripetal

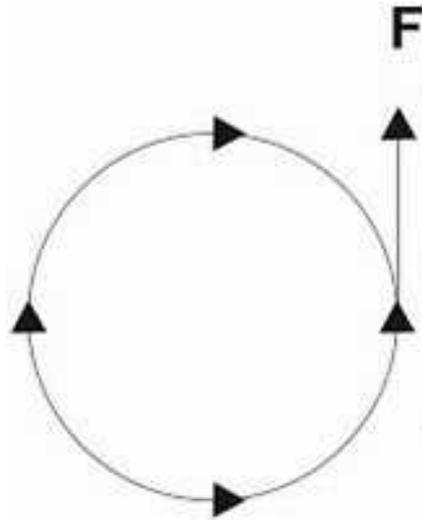
3. Gaya Tangensial

Yaitu gaya dalam yang bekerja sejajar dengan bidang penampang potong atau tegak lurus terhadap sumbu batang.

$$F_t = T / dp/2 \text{ (Kg)}$$

.....(3.

7)



Gambar 3.12 Gaya Tangensial

Berdasarkan cara kerjanya governor dibedakan atas dua bagian, yaitu

a. Sentrifugal governor

b. Inersia governor

Sentrifugal *governor* bekerja berdasarkan momen inersia yang timbul karena terjadinya percepatan sudut. Karena lebih rumit, maka jenis yang kedua tidak banyak digunakan walaupun responnya lebih cepat. Dalam percobaan ini digunakan sentrifugal *governor*.

Pada dasarnya governor dalam keadaan seimbang bila gaya sentrifugal yang besar yang dicapai pada awal *stroke* dengan putaran dan sudut yang dibentuk oleh kedua lengan *governor* sebelum konstan.

Governor mengatur dan mengendalikan aliran bahan bakar supaya kecepatan penggerak tetap konstan,

Dengan mengabaikan beban dan gangguan lain atau akibat perubahan akibat dari kondisi operasi seperti perubahan penyetelan kecepatan. Di lain pihak *flywheel* bertindak mengatur variasi kecepatan yang disebabkan oleh fluktuasi

momen puntir dalam siklus operasi dan tidak mengatur variasi kecepatan yang disebabkan oleh beban yang bervariasi.

Menurut posisi massa yang berputar dan cara pemasangannya pada penggerak mula, yang secara umum ada dua *type* :

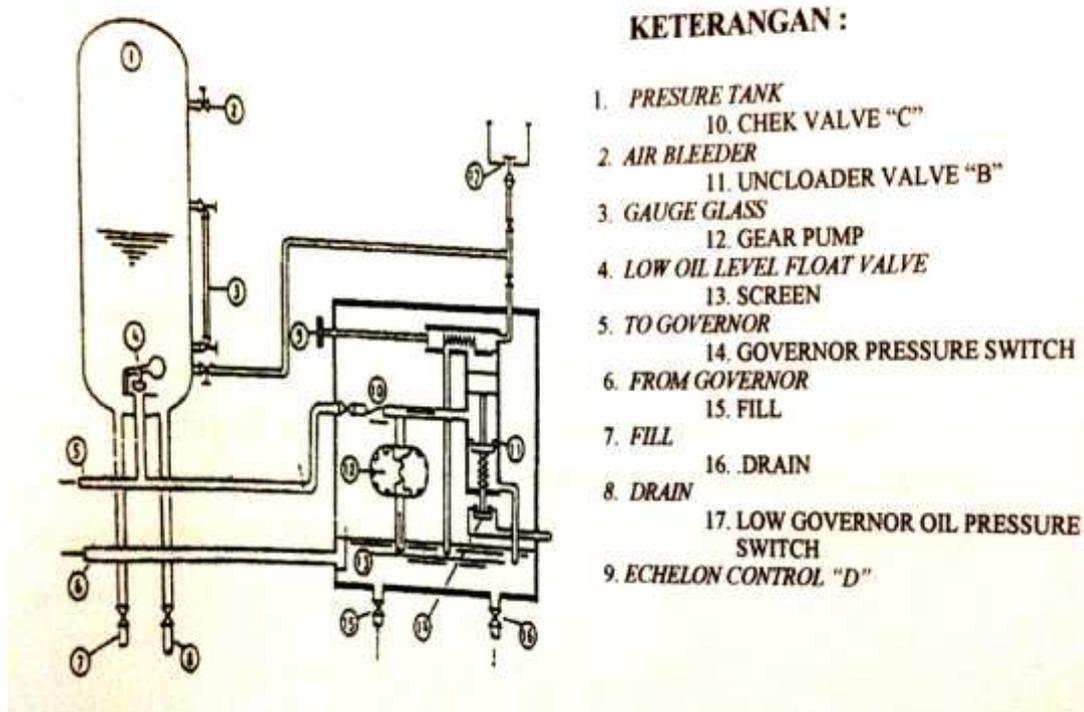
1. *Type flywheel governor* :
 - a. *Gravity load governor*
 - b. *Whell governor*
 - c. *Porter governor*
 - d. *Proel governor*
 - e. *Spring governor*
 - f. *Hartnell governor*
2. *Type Shaft governor*
 - a. *Centrifugal governor*
 - b. *inersia governor*

Dapat pula dikatakan bahwa *governor* merupakan suatu alat kontrol otomatis yang selalu berperan sebagai pengatur dan pengendali *output* mesin. Jika terjadi perubahan beban yang diinginkan maka *governor* selalu berfungsi mengatur suplai untuk mengatur *output*. *Governor* mengatur kecepatan rata-rata mesin atau penggerak mula, apabila terjadi variasi beban atau fluktuasi kecepatan. Jika beban motor konstan, maka kecepatan rata-rata juga konstan dari satu siklus ke siklus berikutnya. Jika beban motor meningkat, kecepatan motor menurun dan sudut *governor* akan bertambah dengan perubahan sehingga menggerakkan katup untuk memperbanyak fluida kerja yang meningkatkan beban motor dalam siklus operasi dan tidak mengatur kecepatan yang bervariasi karena fluktuasi beban.

3.6. Bagian-Bagian Governor

1. Sistem minyak tekan
2. Minyak Governor
3. Pilot Valve dan Relay Valve
4. Katup distribusi

3.6.1. Sistem minyak tekan



Gambar 3.13. Sistem minyak tekan governor

Sistem minyak governor terdiri dari pompa, sump tank, saluran minyak dan tangki tekan. Tangki tekan merupakan sumber minyak pada governor untuk menggerakkan servoarm MIV dan guide vane. Level minyak pada tangki tekan di pertahankan $\frac{1}{3}$ hingga level $\frac{1}{4}$ dari volume tangki tekan. Apabila tekanan kurang dari 60 bar maka kompresor akan hidup, setelah tekanannya mencapai 60 bar maka kompresor akan mati kembali.

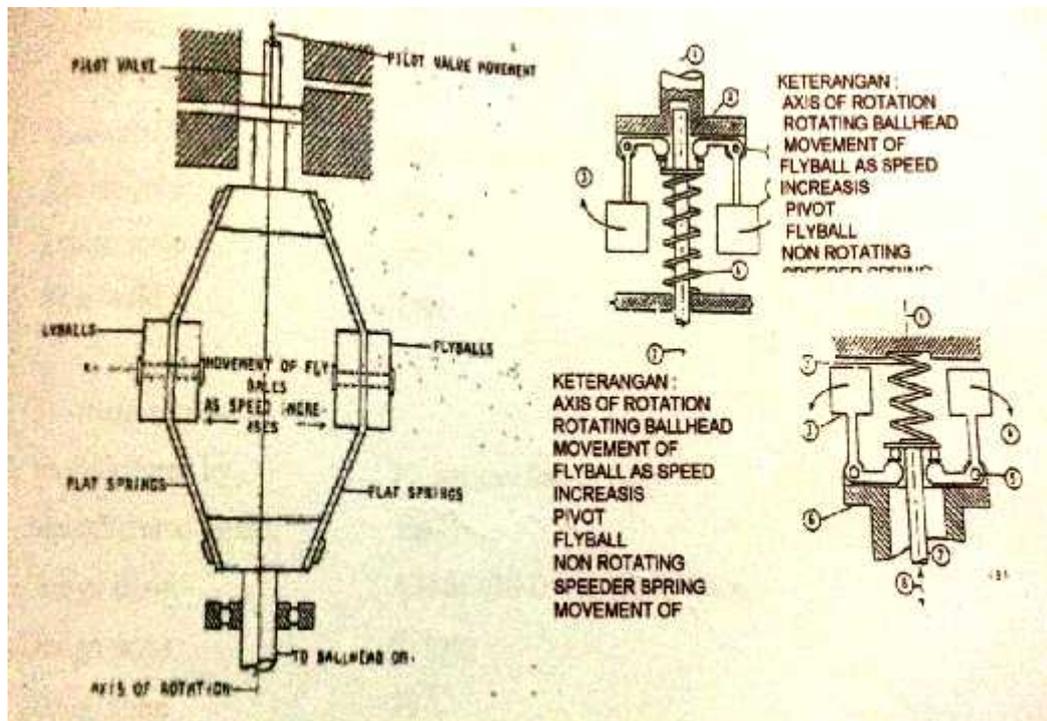
3.6.2. Minyak Governor

Minyak governor pada umumnya mempunyai kekentalan dan kualitas yang sama dengan minyak pelumas pada system bantalan. Minyak pelumas yang digunakan pada governor harus memiliki kualitas melumasi yang baik, menghilangkan udara yang terbawa dengan cepat menjadi padat pada operasi normal.

3.6.3. Pilot Valve dan Relay Valve

Pilot Valve dan Relay Valve merupakan dua peralatan yang mempunyai prinsip kerja yang hampir sama. Pilot Valve dikendalikan oleh speed sensor. Pada

dasarnya Pilot Valve ini berfungsi untuk menaikkan daya dorong atau tarik yang langsung dari tuas dengan gaya besar sehingga dapat mengangkat tuas servo.



Gambar 3.14. Pilot Valve yang digerakkan secara langsung dan tidak langsung.

3.6.4. Katup Distribusi

Katup distribusi untuk guide vane dioperasikan oleh minyak tekan yang dikontrol melalui pendulu valve, kemudian mengoperasikan. Governor merupakan suatu alat yang harus menjaga stabilitas terhadap fluktuasi kecepatan unit turbin generator. Karena itu generator dilengkapi dengan system control seperti:

1. Speed dropp
2. Speed level control
3. Gate limit control
4. Sistem proteksi