



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian PLTGU ( Pusat Listrik Tenaga Gas Uap )

PLTGU merupakan kombinasi PLTG dengan PLTU. Gas buang dari PLTG yang umumnya mempunyai suhu diatas  $400^{\circ}\text{C}$ , dimanfaatkan (dialirkan) ke dalam ketel uap PLTU yang menghasilkan uap penggerak turbin uap. Dengan cara ini, umumnya didapat PLTGU dengan daya sebesar 50% daya PLTG. Ketel uap yang digunakan untuk memanfaatkan gas buang PLTG mempunyai desain khusus untuk memanfaatkan gas buang dimana disebut *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Pada gambar 2.1 memperlihatkan bagan dari 3 buah unit PLTG dengan sebuah unit PLTU yang memanfaatkan gas buang dari 3 unit PLTG tersebut, 3 unit PLTG beserta 1 unit PLTU ini disebut 1 blok PLTGU. Setiap unit PLTG mempunyai sebuah ketel uap penampung gas buang yang keluar dari unit PLTG. Uap dari 3 unit PLTG kemudian ditampung dalam sebuah pipa pengumpul uap bersama yang disebut *Common Steam Header*. Dari pipa pengumpul uap bersama, uap dialirkan ke turbin uap PLTU dari turbin tekanan tinggi dan turbin tekanan rendah. Keluar dari turbin tekanan rendah, uap kondensor untuk diembunkan. Dari kondensor, air dipompa untuk dialirkan ke ketel uap.

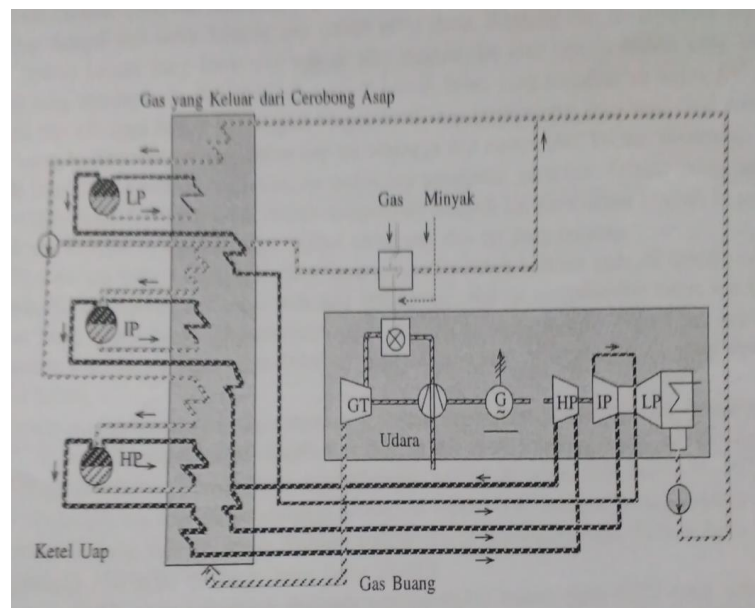
HRSG dalam perkembangannya dapat terdiri dari 3 drum dengan tekanan uap yang berbeda. Tekanan Tinggi (HP), Tekanan Menengah (MP), Tekanan Rendah (LP). Dalam operasinya, unit turbin gas dapat dioperasikan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya listrik, sementara dalam gas buangnya berproses untuk menghasilkan uap dalam ketel pemanfaatan gas buang. Kira-kira 6 jam kemudian, setelah uap dalam ketel cukup banyak, uap dialirkan ke turbin uap untuk menghasilkan daya listrik.

Turbin gas dapat dibedakan berdasarkan siklusnya, kontruksi poros dan lainnya. Menurut siklusnya turbin gas terdiri dari:

1. Turbin gas siklus tertutup (*Close cycle*)
2. Turbin gas siklus terbuka (*Open cycle*)



Perbedaan dari kedua tipe ini adalah berdasarkan siklus fluida kerja. Pada turbin gas siklus terbuka, akhir ekspansi fluida kerjanya langsung dibuang ke udara atmosfer, sedangkan untuk siklus tertutup akhir ekspansi fluida kerjanya didinginkan untuk kembali ke dalam proses awal.



Gambar 2.1 Siklus Fluida Pada PLTGU

Sumber : Djiteng Marsudi, Marsudi. Pembangkit Energi Listrik Edisi Kedua. 2011.

Hal 117

Keterangan :

- G : Generator
- GT : Gas Turbin
- HP : High Pressure (Tekanan Tinggi)
- IP : Intermediate Pressure ( Tekanan Sedang)
- LP : Low Pressure ( Tekanan Rendah)

Karena daya yang dihasilkan turbin uap tergantung pada banyaknya gas buang yang dihasilkan unit PLTG, yaitu kira-kira 50% daya unit PLTG, maka dalam mengoperasikan PLTGU ini, pengaturan daya PLTGU dilakukan dengan mengatur



daya PLTG, sedangkan unit PLTU menyesuaikan dengan gas buang yang diterima dari unit PLTG nya. Lalu ditinjau dari efisiensinya pemakaian bahan bakar, PLTGU tergolong sebagai unit yang paling efisien di antara unit-unit termal (bisa mencapai 45%).<sup>1</sup>

## **2.2 Turbin Uap**

Turbin merupakan suatu penggerak dimana mengubah energi potensial dari uap yang dihasilkan menjadi energi kinetik yang akan berubah menjadi putaran poros turbin. Ide dari pembuatan turbin uap ini diketahui kira-kira tahun 120 SM. Hero di Alexandria membuat prototip yang bekerja pada prinsip reaksi. Yang terdiri dari bejana yang berisikan air, penampang berbentuk bola, pipa-pipa, dan air yang dipanaskan dalam bejana tersebut akan menghasilkan uap yang akan dikeluarkan melalui nosel. Beberapa abad kemudian pada tahun 1629, Giovanni Branca memberikan gambaran pada sebuah mesin yang terdiri dari ketel uap, nosel, roda yang memiliki sudu-sudu, poros dan roda gigi. Uap yang dihasilkan didalam ketel akan dialirkan ke nosel dalam kecepatan tinggi sehingga akan memutar roda dan akhirnya menggerakkan mesinnya tersebut. Dan pada akhirnya berkembanglah hingga saat ini. Turbin uap saat ini secara dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu turbin impuls, reaksi dan gabungan.<sup>2</sup>

Adapun turbin impuls mengubah energi potensial supaya menjadi energi kinetik di dalam nosel. Uap yang keluar dari dalam nosel dengan kecepatan mutlak memasuki sudu-sudu turbin. Hal ini disebabkan oleh perputaran cakram turbin, kecepatan uap pada jalan masuk ke laluan-laluan sudu akan mempunyai relative terhadap laluan sudu, nilai yang berbeda, dan juga arahnya berbeda. Kecepatan ini dikenal sebagai kecepatan relative. Sedangkan turbin reaksi pada umumnya dibuat hanya sebagai turbin nekatingkat. Dalam turbin reaksi mengalami ekspansi baik pada suhu pengarah maupun sudu gerak sehingga mengarahkan dorongan pada sudu dalam arah aksial. Untuk mengurangi dorongan aksial ini biasanya dipasang sudu-

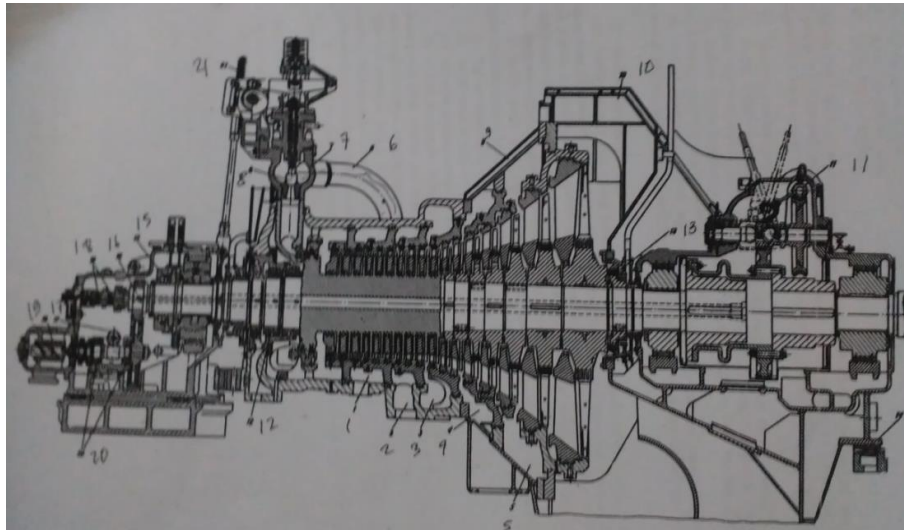
---

<sup>1</sup> Marsudi Djiteng. *Pembangkit Energi Listrik Edisi Kedua*. 2011. Hal 115-117

<sup>2</sup> Shylyakin P. *Turbin Uap*. 1999. Hal. 3



sudu gerak pada drum yang juga berfungsi sebagai rotor. Sudu-sudu pengarah dipasang pada stator turbin.



Gambar 2.2 Kontruksi Turbin Uap

Sumber: P.Shylyakin. Turbin Uap.1999. Hal 9

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 1-5 | : | Ruang Ekstraksi Untuk Pemanasan Air Pengisian Regeneratif |
| 6   | : | Pipa Suplai   |
| 7   | : | Ruang Kosong Uap  |
| 8   | : | Katup   |
| 9   | : | Bagian Las-Lasan  |
| 10  | : | Pipa Buang  |
| 11  | : | Alat Pemutar Poros  |
| 12  | : | Paking Labirin Depan                                      |
| 13  | : | Paking Labirin Belakang                                   |
| 14  | : | Titik Tetap Paking Labirin                                |
| 15  | : | Bantalan Luncur dan Dorong                                |
| 16  | : | Roda Gigi dan Pengatur Kecepatan                          |
| 17  | : | Gigi Cacing Pengatur                                      |
| 18  | : | Pengatur Keamanan   |
| 19  | : | Pompa Roda Gigi   |
| 20  | : | Penurun Tekanan Minyak                                    |



21 : Batang Gigi Untuk Menjalankan Poros

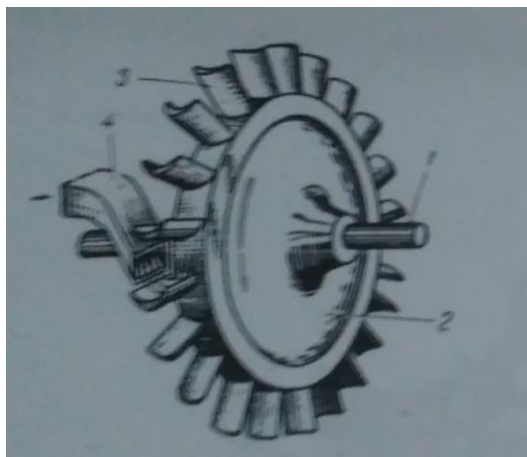
### 2.3 Konstruksi Turbin

#### 1. Nozel

Nozel adalah salah satu diantara komponen terpenting dalam turbin uap yang berfungsi sebagai sarana konversi energi yang mengkonversikan energi thermal menjadi kinetik. Karena memiliki fungsi yang sangat penting maka nozel tersebut harus memiliki syarat diantaranya yaitu dapat menghindari perubahan tiba-tiba dari arah aliran uap khususnya untuk kecepatan-kecepatan tinggi. Nozel sendiri ada dua jenis yaitu *Nozel Konvergen* dan *Nozel Konvergen Divergen*. *Nozel Konvergen* yaitu jenis nozel yang cocok untuk mengekspansikan uap dari tekanan-tekanan tertentu ke tekanan-tekanan yang lebih tinggi dari tekanan kritis yang bersangkutan. Sedangkan *Nozel Konvergen Divergen* adalah jenis nozel yang mengekspansikan uap dari tekanan-tekanan awal tertentu ke tekanan-tekanan yang lebih rendah dari tekanan kritis yang bersangkutan.

#### 2. Sudu-sudu pemandu

Sudu-sudu pemandu (*guide blade*) adalah sejenis sudu-sudu tetap yang berfungsi untuk membalikkan arah uap dari arah keluar menjadi arah masuk. Dalam grup sudu-sudu pemandu tidak terjadi proses konversi energi. Sudu-sudu turbin pemandu dioperasikan hanya pada kelompok turbin kompon. Sudu-sudu pemandu dipasang pada bagian dari casing dalam tegak lurus terhadap sumbu turbin.



Gambar 2.3 Sudu Pada Turbin Uap



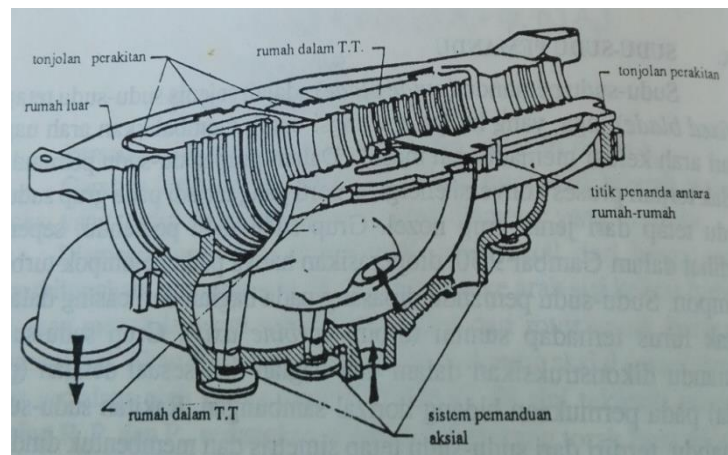
Sumber : Shlyyakin P. Turbin Uap.1999. Hal 5

Keterangan :

- 1 : Poros
- 2 : Cakram
- 3 : Sudu
- 4 : Nosel<sup>3</sup>

### 3. Silinder (Casing)

Silinder (casing) adalah rumah turbin, silinder atau rumah turbin ini memiliki fungsi untuk menyatukan komponen-komponen instalasi turbin dalam satu unit operasional jadi sebagai bingkai turbin. Rumah turbin akan menjadi penyekat ruang uap dan berbentuk yang mengikut bentuk arah aliran uap didalamnya. Turbin-turbin modern umumnya memiliki sebuah silinder ganda (*double sylinder*) dengan maksud bahwa mempunyai rumah bagian dalam (*internal casing*) dan rumah bagian luar (*outernal casing*) sekeliling rumah bagian dalam. Bila perlu uap vertilisasi dapat disirkulasikan antara kedua casing tersebut untuk mengurangi perbedaan temperature antara bagian luar dan bagian dalam.



Gambar 2.4 Silinder atau Casing Turbin Uap

<sup>3</sup> Shlyyakin P. Turbin Uap. 1999. Hal. 10-12



Sumber : A. Muin Syamsir. Pesawat-Pesawat Konversi energi II (Turbin Uap).

1993. Hal 85

#### 4. Katup penutup uap

Uap dari super heater mengalir melalui dua sistem kontrol uap masuk yang dipasang secara paralel. Prinsip dasar dari fungsi kedua sistem ini “mengalir atau tidak” atau disebut dengan sistem go/no go dan keduanya disebut katup penutup uap (*stop valve*). Katup dengan kedudukan tunggal, pas dengan sebuah katup pemandu (*pilot valve*) yang dipergunakan juga untuk menyeimbangkan tekanan uap pada kedua sisi dari katup utama (*main valve*), atau untuk memungkinkan aliran uap yang lebih perlahan-lahan pada awal pembukaan katup. Katup-katup penutup (*stop valve*) digerakkan oleh sebuah motor servo hidrolik tunggal atau ganda dengan sebuah pegas spiral untuk mengembalikan posisi katup pada kedudukannya pada penurunan tekanan kerja fluida (minyak hidrolik). Motor Servo katup dikontrol oleh peralatan pengaman turbin (*turbine safety equipment*). Peralatan ini memeriksa bahwa kondisi operasional turbin adalah normal. Apabila salah satu peralatan tidak bekerja maka katup penutup uap akan menutup dengan sempurna. Untuk membukanya kembali sesudah suatu kejadian maka sistem pengaman harus distel kembali.

#### 5. Katup kontrol

Katup kontrol adalah jenis katup dengan kedudukan tunggal yang bekerja berdasarkan jumlah aliran uap yang sepadan dengan gerakan alat kontrol. Uap dari masing-masing katup mengalir melalui suatu pemipaan yang terpisah ke gelang saluran masuk turbin yaitu suatu ruangan yang berbentuk lingkaran pada sisi masuk, untuk mensuplai uap ke sudu-sudu tetap.

#### 6. Governor

Governor adalah sebuah pengontrol kecepatan tipe sentrifugal. Pada puncak governor terdapat ruang oli dengan tekanan tetap lebih atau kurang. Piston terdapat ruangan yang dihubungkan ke ruang atas melalui sebuah saluran dalam piston dan juga dengan sebuah lubang pembuang. Oli keluar melalui lubang tersebut tergantung pada perbedaan antara poros pengontrol kecepatan bobot balans



dan pangkal dari poros berlubang yang terpasang di piston. Jadi begitu putaran bertambah maka poros pengontrol bobot balans mengangkat, mengurangi sepanjang saluran keluar oli dan tekanan didalam ruangan yang berada di piston switch. Gaya pegas yang terpakai untuk piston berkurang dan piston bergerak naik. Poros governor menggerakkan katup kontrol untuk mereduksi jumlah aliran uap.

#### 7. Superheaters

Superheater adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk memanaskan uap basah menjadi uap kering. Dimana sisa-sisa terakhir dari uap air dari uap jenuh yang meninggalkan tabung boiler dapat dipindahkan. Hal ini juga meningkatkan suhu di atas suhu penyerapan. Panas gas pembakaran dari boiler perapian juga digunakan kembali. Uap yang dipanaskan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi ukuran turbin,, membuat sudu-sudu turbin tetap kering ketika uap sedang dipanaskan, dan untuk mencegah dan menghilangkan korosi pada sudu-sudu turbin.<sup>4</sup>

#### 8. Economiser

Economiser adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk menyerap panas dari gas buang keluaran untuk memelihara temperatur dari jumlah atau volume air menuju kondensor. Economiser menaikkan efisiensi 16 temperature boiler hingga 10-20 %. Sehingga, 5-15 % dapat menghemat konsumsi bahan bakar.

#### 9. Pemanas awal udara (air preheater)

Pemanas awal udara digunakan untuk memperoleh kembali panas dari cerobong gas sejak panas dari cerobong gas tidak bisa diproses di economisor. Efisiensi kerja boiler meningkat 1% jika rata-rata temperature udara ditingkatkan sebesar 20°C. Sebelum udara menuju ke kipas, udara yang dipanaskan oleh beberapa pemanas sehingga udara yang masuk menuju ke Pemanas Awal Udara sudah dalam kondisi yang panas. Sehingga tidak akan terjadinya pengembunan dan korosi pada pipa gas di pemanas awal udara.

#### 10. Kondensor

---

<sup>4</sup> Nag.PK.Power Plant Engineering Second Edition.2002.Hal 52-54





Kondensor adalah untuk mengembalikan exhaust steam dari turbin ke fase cairnya agar dapat dipompakan kembali ke boiler dan digunakan kembali. Kondensor terbagi diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu Jet Kondensor dan Surface Kondensor. Pada Jet Kondensor, uap dikondensasikan dengan air pendingin. Secara alami, temperature dan air pendingin adalah sama ketika melewati kondensor. Oleh karena itu, proses kondensasi tidak bisa dilakukan kembali secara langsung untuk penggunaan sebagai tekanan untuk air menuju boiler. Disisi lain pada permukaan kondensor, tidak ada kontak langsung antara uap yang dikondensasikan dan sirkulasi pada cooling water. Sedangkan pada surface Condensor, air pendingin yang melalui tabung dan uap melalui sekelilingnya. Melewati tabung air pendingin disirkulasikan. Oleh piring penyekat, jumlah air dibagi menjadi dua bagian, terletak dibagian tabung atas dimana air pendinginnya sedikit lebih panas. Uap pembuangannya dari turbin masuk menuju kondensor dari atas dan menuju tabung yang lebih panas. Dan akhirnya terkondensi pada tabung pendingin bagian bawah dan dikirim oleh pompa ekstraksi menuju boiler melalui economizer.<sup>5</sup>

#### **2.4 Prinsip Kerja Turbin Uap**

Uap hasil pembakaran dari sisa gas buang pada PLTG akan melalui nosel. Nosel tersebut berfungsi mengubah energi panas dari uap menjadi energi kinetis. Dimana uap tersebut akan disemprotkan ke turbin uap yang terdiri dari sebuah cakram yang dikelilingi oleh daun-daun cakram yang disebut sudu-sudu. Sudu sudu ini berputar karena tiupan dari uap bertekanan yang berasal dari nosel, yang telah dipanasi terdahulu dengan menggunakan bahan bakar padat, cair dan gas. Energi panas dari uap yang dihasilkan akan diubah menjadi energi kinetis Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dibandingkan ketika uap masuk ke dalam nosel, tetapi kecepatan uap saat keluar dari nosel yang diarahkan ke sudu-sudu turbin. Sehingga uap akan mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin dan diarahkan kearah lengkungan dari sudu-sudu turbin tersebut. Dimana perubahan

---

<sup>5</sup> Nag.PK.Power.Plant Engineering Second Edition.2002.Hal 52-54



kecepatan uap tersebut akan menimbulkan gaya yang mendorong dan memutar rotor turbin. Uap tersebut kemudian dibagi dengan menggunakan control valve yang akan dipakai untuk memutar turbin yang dikopelkan langsung dengan pompa dan juga sama halnya dikopel dengan sebuah generator sinkron untuk menghasilkan energi listrik.

Setelah melewati turbin uap, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi tadi muncul menjadi uap bertekanan rendah. Panas yang sudah diserap oleh kondensor menyebabkan uap berubah menjadi air yang kemudian dipompakan kembali menuju boiler. Sisa panas dibuang oleh kondensor mencapai setengah jumlah panas semula yang masuk. Hal ini mengakibatkan efisiensi termodinamika suatu turbin uap bernilai lebih kecil dari 50%. Turbin uap yang modern mempunyai temperatur boiler sekitar 5000C sampai 6000C dan temperatur kondensor 200C sampai 300C. Ketika uap masih memiliki kecepatan saat meninggalkan sudu-sudu turbin maka hanya sebagian energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis kinetis yang meninggalkan sudu-sudu turbin dapat dimanfaatkan secara maksimal maka dipasang sudu gerak lebih dari satu baris. Sebelum melewati satu baris, antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang sudu tetap yang berfungsi untuk mengubah arah kecepatan uap dimana uap bisa masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat. Kecepatan uap ketika meninggalkan sudu gerak haruslah dibuat sekecil mungkin karena energi kinetis yang ada bisa dimanfaatkan semaksimal mungkin. Sehingga efisiensi turbin menjadi lebih tinggi dikarenakan kehilangan energi yang relative kecil.

Turbin uap digunakan sebagai penggerak mula pada pembangkit listrik tenaga termal, seperti untuk menggerakkan pompa, kompresor dan mesin-mesin lain. Jika dibandingkan dengan penggerak generator listrik yang lain, turbin uap mempunyai kelebihan antara lain:

1. Penggunaan panas yang lebih baik.
2. Pengontrolan putaran yang lebih mudah.
3. Tidak menghasilkan loncatan bunga api listrik.
4. Uap bekasnya dapat digunakan kembali untuk proses.



## 2.5 Generator<sup>6</sup>

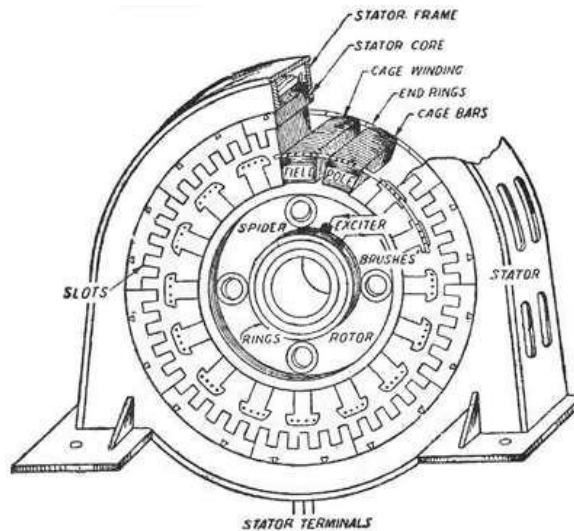
Generator merupakan instrumen pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi mekanis sebagai masukan menjadi energi listrik sebagai keluaran dimana kecepatan putar dari rotornya sama dengan kecepatan putar dari statornya. Generator terdiri dari bagian yang berputar yang disebut rotor dan bagian yang diam yang disebut stator. Kumputan rotor merupakan rangkaian tertutup dari suatu penghantar, bila diberi tegangan arus searah akan menimbulkan fluks magnet. Rotor tersebut diputar dengan suatu penggerak mula atau prime mover sehingga fluks tersebut memotong konduktor-konduktor yang ada di stator yang selanjutnya pada kumputan stator akan terimbas tegangan. Sebuah generator digerakkan oleh penggerak mula ( turbin uap, turbin air dan lain sebagainya) menggambarkan perputaran dengan 2 torsi berputar yang berbeda.  $T_m$ , torsi mekanik, berperan untuk menambah kecepatan ketika  $T_e$  torsi elektrik, melakukan perlambatan. Ketika  $T_m$  dan  $T_e$  mempunyai nilai yang sama, kecepatan putaran  $\omega$ , akan konstan. Pergerakan  $T_m$  disebabkan oleh penggerak mula, sedangkan  $T_e$  disebabkan oleh perubahan beban. Ketika beban listrik bertambah maka  $T_e > T_m$  seluruh sistem yang berputar akan melambat. Jika dibiarkan melambat terlalu lama maka akan menimbulkan beberapa kerusakan oleh karena itu, diperlukan suatu usaha untuk meningkatkan  $T_m$  sehingga tercapai kembali titik keseimbangan antara  $T_e$  dan  $T_m$ . Hal ini akan mengembalikan putaran ke nilai yang dapat diterima.

## 2.6 Konstruksi Generator

Pada prinsipnya, konstruksi Generator sinkron sama dengan motor sinkron. Secara umum, konstruksi generator sinkron terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris. Selain itu generator sinkron memiliki celah udara ruang antara stator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotor ke-stator.

Pada Gambar 2.5 dapat dilihat konstruksi sederhana dari sebuah generator sinkron secara umum :

<sup>6</sup> Robandi,imam (2006). Desain Sistem Tenaga Modern.yogyakarta.penerbit ANDI Yogyakarta



Gambar 2.5 Konstruksi Generator Sinkron Secara Umum

(Sumber : <http://documents.tips/documents/teori-generator-sinkron.html> )

#### 1. Rotor

Rotor terdiri dari beberapa komponen utama yaitu :

##### 1. Slip Ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasangkan ke-*slip ring* ini kemudian dihubungkan kesumber arus searah melalui sikat (*brush*) yang letaknya menempel pada *slip ring*.

##### 2. Sikat

Sebagian dari generator sinkron ada yang memiliki sikat ada juga yang tidak memiliki sikat. Sikat pada generator sinkron berfungsi sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus DC ke-kumparan medan pada rotor generator sinkron. Sikat terbuat dari bahan karbon tertentu.

##### 3. Kumparan rotor (kumparan medan)

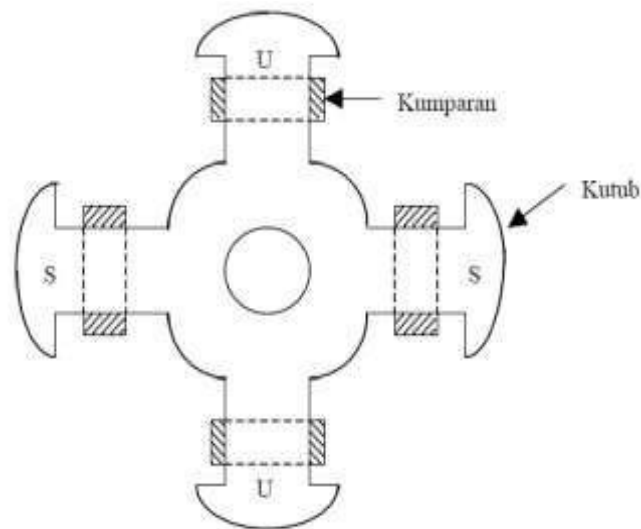
Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi.



#### 4. Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

Bentuk suatu rotor dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6 Rotor Generator

(Sumber : <http://gloopic.net/article/penerbangan/genset-dan-acos-bagian-iii>)

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa *salient pole* (kutub menonjol) dan non salient pole (kutub silinder atau tak menonjol).

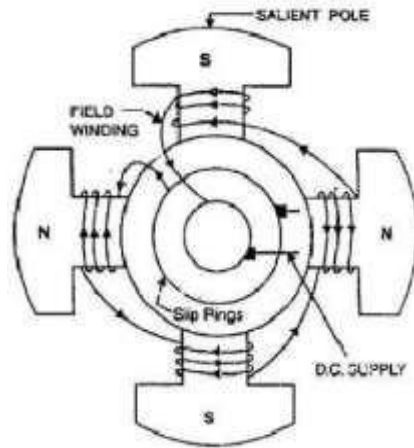
##### 1. Rotor kutub menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy, kumparan-kumparan medannya terdiri dari bilah tembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek.

Selain itu jenis kutub *salient pole*, kutub magnetnya menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medan dihubung seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub yang



berlawanan. Bentuk kutub menonjol generator sinkron tampak seperti Gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7 Rotor Kutub Menonjol Generator Sinkron

(Sumber :Ahmad Faisal, 2011)

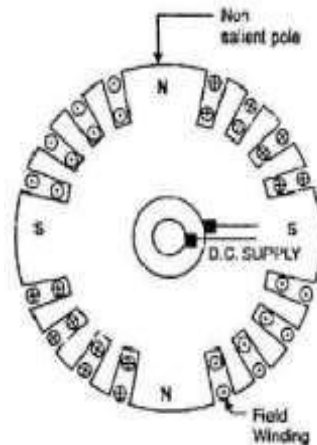
Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

1. Konstruksi kutub menonjol tidak terlalu kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.
  2. Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.
2. Rotor kutub tak menonjol (Rotor Silinder)

Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slotslot dan juga kumparan medan yang terletak pada rotor maka jumlah kutub pun sedikit yang dapat dibuat. Belitan-belitan medan dipasang pada alur- alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang dimana pasokan listrik dipasok oleh eksiter. Rotor ini biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya



lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol (salient pole rotor). Gambar bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8 Rotor Kutub Silinder Generator Sinkron

(Sumber : <http://documents.tips/documents/teori-generator-sinkron.html>)

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran tinggi (1500 atau 3000 rpm) biasanya digunakan untuk pembangkit listrik berkapasitas besar misalnya pembangkit listrik tenaga uap dan gas. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan tinggi karena:

1. Distribusi disekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.
2. Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik pada kecepatan putar tinggi.
3. Stator

Stator atau armatur adalah bagian generator yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui armatur, komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Armatur selalu diam (tidak bergerak). Oleh sebab itu komponen ini juga disebut sebagai stator.

Bentuk suatu stator dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut:



Gambar 2.9 Stator Generator Sinkron

(Sumber : <https://rekayasalistrik.wordpress.com/2013/08/13/bagian-dan-cara-kerja-motor-induksi/>)

Stator terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

1. Rangka Stator

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang merupakan inti jangkar generator sinkron.

2. Inti Stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang kerangka stator.

3. Alur (*slot*) dan Gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator yaitu kumparan jangkar. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu, terbuka, setengah terbuka, dan tertutup. Ketiga bentuk alur (*slot*) tersebut tampak seperti Gambar 2.10 berikut





Gambar 2.10 bentuk – bentuk alur

(Sumber :Ahmad Faisal, 2011)

#### 4. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan timbulnya GGL induksi.

### 2.7 Prinsip Kerja Generator

Sesuai dengan hukum Faraday di atas, prinsip kerja generator atau alternator menerapkan prinsip pembangkitan listrik berdasarkan induksi.

Besarnya tegangan yang diinduksikan pada kumparan tergantung pada :

(Menurut PT PLN : 2013)

1. Panjang penghantar dalam kumparan
2. Kecepatan putaran (gerakan)
3. Kuat medan magnet

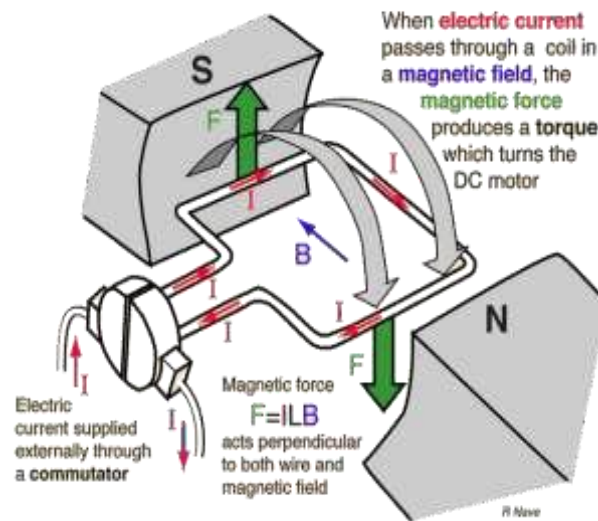
Maka dari pembangkitan tegangan secara induksi didapatkan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$E = -N \frac{d\theta}{dt} \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana :  $E$  = Gaya gerak listrik induksi

:  $N$  = Jumlah lilitan kumparan

:  $\frac{d\theta}{dt}$  = Laju perubahan fluks magnet terhadap waktu (Wb/s)



Gambar 2.11 Proses Pembangkit GGL

(Sumber: <http://hydrogen.physik.uniwuppertal.de/hyperphysics/hyperphysics/hbase/magnetic/motdc.html>)

Dalam pembangkitan energi listrik pada generator yaitu pada saat rotor diputar oleh penggerak mula (motor listrik, diesel, turbin atau penggerak lainnya), maka kutub rotor generator akan berputar. Jika kumparan kutub medan rotor dialiri arus searah maka pada kumparan medan rotor akan timbul medan magnet yang kecepatannya sama dengan kecepatan putar kutub. Rotor yang berputar tersebut akan memotong garis gaya magnet yang ada pada stator sehingga pada kutub medan rotor akan timbul tegangan induksi.

Pada generator, jumlah kutub arus bolak balik tergantung dari kecepatan rotor dan frekuensi dari gaya gerak listrik induksi yang dibangkitkan.

Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan 2.2 :

$$f = \frac{p \cdot n}{120} \dots \dots \dots 2.2$$

- Dimana
- :  $f$  = Frekuensi tegangan (Hz)
  - :  $P$  = Jumlah kutub pada rotor
  - :  $n$  = kecepatan rotor (rpm)

Dari rumus di atas terlihat bahwa frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub magnet pada



generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Perubahan kecepatan rotor ini secara langsung akan mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan generator.

Jika frekuensi yang dikeluarkan generator diharapkan mempunyai nilai yang konstan, maka kecepatan putaran rotor harus dijaga konstan. Kuat medan elektromagnetik dapat berubah-ubah sesuai besarnya arus penguatan yang mengalir menuju kumparan medan rotor. Dengan demikian besarnya tegangan AC yang dibangkitkan secara langsung tergantung pada besar kecilnya tegangan eksitasinya.

### **2.8 Sistem Governor**

Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi para pelanggan dengan frekuensi yang praktis dan konstan. Penyimpangan frekuensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi yang diperbolehkan. Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan frekuensi sistem tenaga listrik., sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif dan daya reaktif selalu berubah-ubah sepanjang waktu. Oleh karena itu, untuk mempertahankan frekuensi dalam batas toleransi yang diperbolehkan, pembangkitan daya aktif dalam sistem harus disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan atas daya aktif, harus selalu disesuaikan dengan beban daya aktif. Perubahan beban mengakibatkan terjadi perubahan kecepatan putar turbin-generator perubahan kecepatan ini berhubungan dengan perubahan frekuensi. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur besarnya kopel penggerak generator. Penambahan kopel pemutar generator memerlukan penambahan bahan bakar pada pembangkit termis dalam hal ini, adalah produksi uap. Pengaturan pemberian pasokan uap ini di atur oleh sistem governor. Pada saat beban listrik bertambah, permintaan daya listrik ( $P_e$ ) bertambah.  $P_e$  meminta daya mekanis ( $P_m$ ) untuk menambah putarannya. Penambahan putaran daya mekanis adalah dengan mengatur katup masukan uap ke turbin untuk menyesuaikan putaran permintaan beban serta mengembalikan frekuensi pada nilai nominal.

Sistem *governor* memiliki tiga dasar prinsip kerja, yaitu pengendalian kecepatan/beban, pengendalian kecepatan lebih, dan pembukaan darurat karena kecepatan putar lebih. Pengendalian kecepatan/beban pada dasarnya merupakan

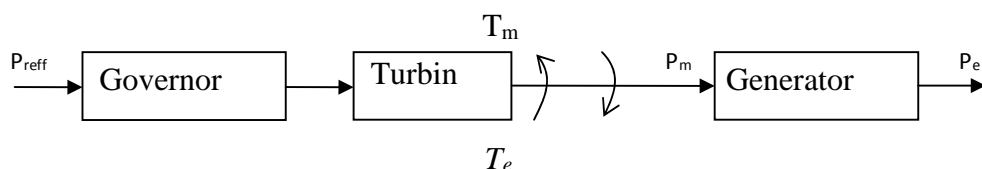


pengendalian katup CV, seperti terlihat pada gambar 2.8 pengendalian kecepatan pada *governor disetting* pada 4 - 5 % *speed droop*. Tujuannya adalah untuk mengatur posisi CV untuk memberikan pembukaan katup uap yang sesuai.

Pengendalian kecepatan lebih, kinerja sebuah turbin bergantung pada kemampuan turbin dalam membatasi kecepatan putar yang akan mengakibatkan pelepasan beban dan mengembalikan kecepatan turbin pada keadaan tunak. Tujuan utama dari pengendalian kecepatan lebih adalah untuk menghindari pemutusan darurat yang disebabkan oleh putaran lebih yang akan mengakibatkan pelepasan beban. Biasanya pembukaan darurat *disetting* pada 110%-115% dari kecepatan normal, maka pengendalian kecepatan lebih harus *disetting* sebesar 0.5%-1% dibawah kecepatan pembukaan darurat. Pada turbin uap terdapat dua sistem katup terpisah yang dapat mengendalikan *pasokan* uap, yaitu sistem katup CV dan sistem katup IV. Dikarenakan uap juga terdapat pada pemanas ulang maka peran katup IV pada kondisi ini sangat penting untuk mengendalikan uap ke turbin LP. Bersama dengan CV membangkitkan sekitar 60%-80% total daya mekanis turbin.

Pembukaan darurat adalah proteksi terakhir yang dilakukan dikarenakan kesalahan kegagalan pada kecepatan normal dan putaran lebih. Pembukaan darurat ini di rancang terpisah dari pengendalian putaran lebih. Pembukaan darurat dilakukan oleh katup pembuka secara cepat oleh *Main and reheat Stop Valve (MSV)*, tujuannya adalah menghentikan uap dari sistem pembangkit uap.

Peran *governor* pada sebuah pembangkit listrik tenaga termal dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.12 peran governor pada pembangkit

Keterangan:

$T_m$  = Torsi Mekanik

$T_e$  = Torsi Elektrik



$P_m$  = Daya Mekanik

$P_e$  = Daya elektrik

$P_L$  = Daya beban

Integritas suatu turbin uap tergantung kepada kemampuan turbin dalam mengendalikan kecepatan rotor. Kecepatan rotor berhubungan erat dengan pasokan uap. Ada 2 sistem katup yang berbeda untuk mengendalikan pasokan energi uap. Sistem katup *Control Valve* ( CV) dan Sistem katup *Intercept Valve* (IV).

### 2.8.1 Sistem Katup CV

Aliran uap dari sistem pembangkit uap masuk ke dalam turbin HP melalui Control Valve dan Main Stop Valve. Konstruksi dari Control Valve sering disebut sebagai Steam Chest. Uap ini masuk ke dalam Steam Chest dan jalur pemipaan menuju turbin HP. Semua katup yang bersifat Stop valve dianggap konstan/linier, sehingga tidak perlu dimodelkan. *Control Valve* (CV) berperan sebagai governor. Seperti sudah diketahui sebelumnya bahwa control valve menggabungkan aliran uap yang menuju turbin dan perubahan frekuensi/beban selama operasi normal. Respon dari aliran uap terhadap sebuah perubahan pada control valve ditandai dengan konstanta waktu yaitu konstanta waktu dari steam chest dan pemipaan yang menuju ke turbin HP.

### 2.8.2 Sistem katup IV

Keluaran dari turbin HP melewati Moisture Separator Reheater (MSR) untuk pemanasan ulang sebelum masuk ke turbin LP. Sebelum masuk ke turbin LP uap melewati katup IV Intercept Valve biasanya digunakan untuk pengendalian daya mekanik turbin sehubungan dengan kejadian kecepatan putaran berlebih.

## 2.9 Sistem Proteksi<sup>7</sup>

Sistem Proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat pada standar IEC 6255-20. Dengan demikian sekarang

<sup>7</sup> Samaullah.Hazairin.Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik.2002.Hal 52



bagaimana caranya supaya gangguan yang terjadi seminim mungkin berakibat terhadap konsumen. Sedikit dan sesingkat mungkin. Salah satu cara ialah dengan sistem pengaman yang baik, dalam hal ini disamping perangkat kerasnya (rele) juga terdapat perangkat lunaknya diantaranya penyetelannya. Apabila penyetelan rele ini tidak benar, maka dapat tidak selektif atau akan terjadi salah kerja (*miss trip*). Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan secara dini atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan padamana bagi konsumen.

Rele proteksi adalah susunan peralatannya yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya yang tidak normal pada peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel. Rele proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterima misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya dengan besaran yang telah ditentukan kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya.

### 2.9.1 Fungsi sistem proteksi

Fungsi Proteksi adalah memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi dengan cara sebagai berikut:

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya (*fault detection*).
2. Melepaskan bagian sistem yang terganggu (*fault clearing*).
3. Memberitahu operator adanya gangguan dan lokasinya (*announcement*).

Untuk pengamanan bagian sistem yang lebih penting, digunakan sistem proteksi yang terdiri dari seperangkat peralatan proteksi yang komponen-komponen terpentingnya adalah:

1. *Relay* Proteksi : sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan atau



keadaan abnormal lainnya (*fault detection*).

2. Pemutus Tenaga (PMT) : sebagai pemutus arus gangguan di dalam sirkit tenaga untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu. Dengan kata lain membebaskan sistem dari gangguan (*fault clearing*). PMT menerima perintah (sinyal trip) dari relay proteksi untuk membuka.
3. Trafo Arus dan/atau Trafo Tegangan : untuk meneruskan arus dan/atau tegangan dengan perbandingan tertentu dari sirkit primer (sirkuit tenaga) ke sirkit sekunder (sirkuit *relay*) dan memisahkan sirkit sekunder dari sirkit primernya.
4. *Battery* : sebagai sumber tenaga untuk PMT bekerja dan catu daya untuk relay (*relay digital/ relay static*) dan relay bantu (*auxiliary relay*).

### 2.9.2 Syarat sistem proteksi

Gangguan pada pusat pembangkit listrik dapat terjadi kapan saja, untuk itu diperlukan sistem proteksi, yang berfungsi selain mengamankan peralatan pada pusat pembangkit juga untuk melokalisir dampak dari gangguan. Alat pendeteksi gangguan adalah relay, yang selanjutnya memberi perintah kepada *trip coil* untuk membuka pemutus tenaga (PMT).

Persyaratan utama sistem proteksi yaitu: kepekaan (*sensitivity*), keandalan (*reliability*), selektif (*selectivity*), kecepatan (*speed*).

1. Kepekaan (*sensitivity*),
2. Keandalan (*reliability*),
3. Selektif (*selectivity*),
4. Kecepatan (*speed*).

### 2.9.3 Cara kerja sistem proteksi<sup>8</sup>

Fungsi utama peralatan proteksi atau perlindungan adalah melepaskan atau memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem keseluruhannya guna memperkecil kerusakan yang dapat terjadi dan sebanyak mungkin mempertahankan kontinuitas penyediaan tenaga listrik. Peralatan pengaman harus melakukannya dalam waktu yang secepatnya sehingga perlu seluruhnya dilaksanakan secara otomatis. Hal ini dilakukan dengan rele pengaman.

<sup>8</sup> Samaullah.Hazairin.Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik.2004.Hal 9



#### **2.9.4 Pembagian tugas sistem proteksi**

Karena Adanya kemungkinan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (back up protection). Dengan demikian pengaman menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

##### 1. Pengaman Utama

Pengaman utama pada umumnya selektif dan bahkan jenis tertentu mempunyai sifat mutlak, misalnya rele diferensial dan digunakan sebagai pengaman utama atau inti.

##### 2. Pengaman Cadangan

Pengaman cadangan umumnya memiliki perlambatan waktu, hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama untuk bekerja dahulu, dan jika pengaman utama gagal baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak selektif dengan pengaman utama. Pada pengaman ini dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu :

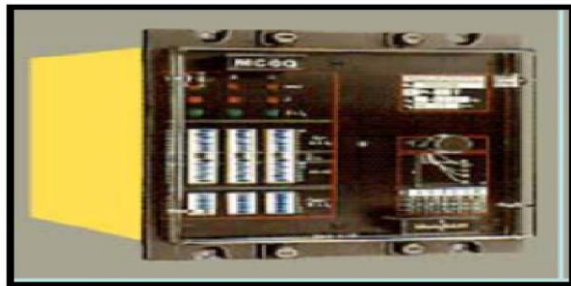
1. Pengaman Cadangan Setempat, yang berfungsi menginformasikan adanya gangguan tersebut kepada seluruh pemutus tenaga (PMT) yang terkait dengan kegagalan sistem proteksi sehingga pemutus tenaganya terbuka.
2. Pengaman Cadangan Remot (Remote), dalam hal ini bila terdapat suatu kegagalan suatu pengaman maka pengaman disisi hulunya harus dapat mendeteksi dan kemudian bekerja dengan suatu perlambatan waktu. Disamping itu hal diatas pada sistem pengaman (Protection Zone), dalam hal ini semua komponen peralatan dalam sistem tenaga listrik harus termasuk didalam daerah pengamanan, sehingga tidak ada daerah yang mati.

#### **2.10 Jenis-Jenis Rele Proteksi**

##### 1. Rele Arah

dasarnya rele ini menggunakan prinsip dasar rele induksi dengan satu besaran input. Pada rele arah ini besarn input terdiri dari besar penggerak arus, dan pembanding arus dan tegangan.





Gambar 2.13 Rele Arah

## 2. Rele Diferensial

Rele Diferensial mempunyai bentuk yang bermacam-macam tergantung dari peralatan yang diamankan. Pengertian diferensial itu sendiri mengandung unsur membedakan satu dengan yang lainnya, semua besaran yang masuk rele. Batasan rele Differential menurut Mason adalah “Rele Diferensial adalah suatu rele yang bekerja bila ada perbedaan vector dari dua besaran listrik atau lebih yang melebihi besaran yang telah ditentukan. Dengan demikian setiap rele, bila dihubungkan dengan cara tertentu dapat dibuat bekerja seperti rele diferensial. Dengan kata lain tidak begitu banyaksusunan rele yang telah dihubungkan dengan cara tertentu dalam sirkuit yang membuat rele tersebut bekerja sebagai rele diferensial.



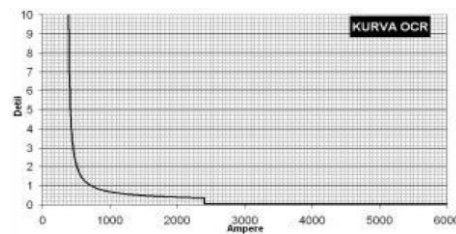
Gambar 2.14 Rele Diferensial

## 3. Rele Arus Lebih (OCR)

Rele arus lebih – OCR memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan rele Rele Arus Gangguan tanah atau Ground Fault Relay (GFR). Prinsip kerja GFR sama dengan OCR, yang membedakan



hanyalah pada fungsi dan elemen sensor arus. OCR biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa) sedangkan GFR ahnya memiliki satu sensor arus (satu fasa ). Waktu kerja rele OCR maupun GFR tergantung nilai setting dan karakteristik waktunya. Elemen tunda waktu pada rele ini pada 2, yaitu elemen low set dan elemen high set. elemen low set bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubungsingkat yang relatif kecil, sedangkan elemen high set bkerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar



Gambar 2.15 Grafik karakteristik waktu tunda rele OCR

#### 4. Rele Tegangan

Rele ini bekerja menggunakan tegangan sebagai besaran uku, disini rele akan bekerja bila tegangan yang terdeteksi melebihi atau dibawah tegangan settingnya. Oleh karena itu rele tegangan diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu Over Voltage Relay (OVR) rele yang bekerja berdasarkan kenaikan tegangan yang mencapai atau melebihi nilai settingnya, Under Voltage Relay (UVR) yang bekerja berdasarkan turunya tegangan atau dibawah nilai settingnya.

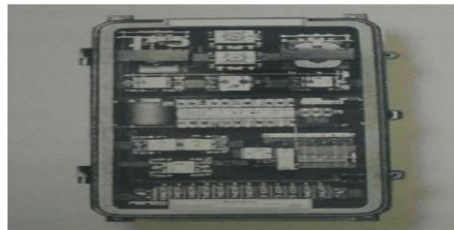


Gambar 2.16 Rele Tegangan (OVR)



### 5. Rele Jarak

Dalam Rele jarak terdapat keseimbangan antara tegangan dan arus perbandingannya dinyatakan dalam impedansi- impedansi yang merupakan ukuran listrik untuk suatu saluran transmisi. Pada umumnya yang disebut impedansi dapat berupa tahanan resistansi (R), reaktansi (X) atau kombinasi dari keduanya. Dalam terminology rele pengaman, impedansi rele mempunyai karakteristik yang berhubungan dengan seluruh komponen impedansi.



Gambar 2.17 Rele Jarak

### 6. Rele Over Speed

Over Speed adalah sebuah kejadian dimana putaran pada turbin melebihi dari putaran nominalnya. Dimana biasanya rele over speed ini memiliki toleransi putaran sebesar 10-12%. Dimana jika suatu putaran nominal turbin 3000 rpm maka sebesar sekitar 3300 rpm rele akan bekerja.



Gambar 2.18 Rele Over Speed



### **2.11 Overspeed**

Overspeed adalah kecepatan lebih pada generator atau putaran lebih pada kondisi operasional turbin. Overspeed akan terjadi ketika turbin torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi yang dihasilkan beban. Gaya yang dihasilkan melebihi dari name plat atau desain motor jika diteruskan akan melebihi material atau kapasitas motor maka akibatnya rotor akan rusak dan Kemungkinan terjadinya overspeed Gangguan yang akan terjadi pada generator jika overspeed yaitu:

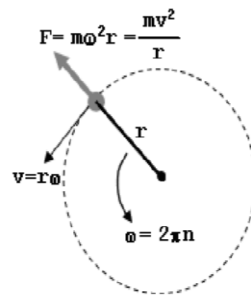
1. Gangguan Listrik (electrical fault )
  1. Gangguan mekanis/panas (mechanical/termal fault )
  2. Gangguan sistem (sistem fault )
2. Penyebab overspeed :
  1. Gangguan pada sistem tenaga listrik sehingga lepas beban
  2. Governor tidak mampu mengembalikan putaran normal
3. Akibatnya :
  1. Terjadinya overspeed
  2. Bisa mengakibatkan terjadinya vibrasi balancing pada putaran tertentu.
  3. Bisa merusak bearing generator/ motor
  4. Frekuensi naik

Dan overspeed dapat dikurangi secara normal dengan kondisi koordinasi ketika pembukaan circuit breaker dan penutupan steam valve serta sistem proteksi yang digunakan berfungsi untuk menjaga kecepatan turbin agar tidak melebihi kecepatan maksimum yang mampu ditahan oleh tiap unit generator.



### 2.11.1 Perhitungan Waktu Overspeed<sup>9</sup>

*Over Speed Trip* menggunakan prinsip dasar berupa gaya sentrifugal, seperti menurut Gambar 7.



Gambar 2.19 Gerakan overspeed karena gaya sentrifugal.

Keterangan :

F = gaya (N)

M = masa (kg)

W = kecepatan sudut (rad/s)

V = kecepatan linear (m/s)

R = jari – jari lintasan (m)

Sehingga mempunyai persamaan gaya sentrifugal adalah :

$$F = mrw^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dan persamaan waktu dari over speed trip adalah :

$$T_{C,rotor} = \frac{0.619 \times N_{rated}^2 \times wr^2 \times 0.042}{10^6 \times hp_{rated}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Kemudian persamaan percepatan dari over speed trip adalah :

$$\alpha = k \times \frac{P_{g(max)}}{N_T \times wr^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

<sup>9</sup> Rachmanu Fatkur.(2019).Studi Simulasi OverspeedTrip (OST) Pada Turbin uap Shinko 1000 KW berbasis FEM dalam jurnal Elektra.(volume 4,No.1,Januari 2019,Hal 13-19



$F$  = gaya (N)

$M$  = masa (kg)

$W$  = kecepatan sudut (rad/s)

$R$  = jari-jari lintasan (m)

$N_{\text{rated}}^2$  = kecepatan (rpm)

$H_{\text{rated}}$  = daya poros/mekanik (hp)

$K$  = faktor koreksi kecepatan (rpm<sup>2</sup>, lb.fr<sup>2</sup>/(hp.s))

$P_{\text{g(max)}}$  = daya net maks turbine (hp)

$\alpha$  = percepatan, inisial (rpm/sec)

$T_{C,rotor}$  = konstanta waktu (sec)

### 2.11.2 Menghitung Nilai *Overspeed* Pada Generator

Tabel 2.1 Nilai *Overspeed* pada generator

| DESCRIPTION                  | SIGNAL NAME | ALARM | SET     |
|------------------------------|-------------|-------|---------|
| MAIN OVERSPEED TRIP          | 12H         | -     | 110%SPD |
| BACKUP OVERSPEED TRIP        | 12H_P_ALM   | -     | 111%SPD |
| SPEED SENSOR TROUBLE TRIP    | 86NH_ALM    | -     | -       |
| OVERSPEED TEST MODE SELECTED | 83HOST      | -     | -       |

Generator akan melukan trip apabila sensor rpm pada generator melebihi angka

110% dari yang diatur dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Overspeed setting} = \text{Nilai RPM Spesifikasi} \times 110\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

Nilai rpm spesifikasi = putaran nominal turbin

110% = toleransi