



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **1.1 Pengertian PLTG**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah pembangkit listrik yang menggunakan gas alam untuk menggerakkan turbin gas yang dikopel langsung dengan generator, sehingga generator tersebut dapat menghasilkan energi listrik. PLTG merupakan peralatan konversi energi yang merubah energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik. Siklus fluida kerjanya merupakan siklus terbuka (open cycle) atau siklus sederhana (simple cycle).

Proses pengubahan energi itu juga melibatkan sistem kerja mekanik yang kemudian oleh generator pada siklus sederhana diubah menjadi tenaga listrik. Data menunjukkan bahwa tingkat efisiensi dari konversi tersebut dapat berkisar sekitar 30 sampai dengan 40 persen. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat sebagian energi yang terbuang, di mana energi tersebut akan berakhir menjadi energi panas dalam proses pembakaran. Proses pembakaran tersebutlah yang nantinya menghasilkan energi tambahan.

Prinsip kerja PLTG adalah dengan memanfaatkan tekanan aliran udara untuk menggerakkan turbin. Pertama-tama udara dinaikkan tekanannya dengan menggunakan kompresor dan kemudian dibakar di ruang pembakaran untuk meningkatkan energinya. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan bahan bakar gas (bisa juga digunakan MFO atau HSDO, tapi dengan efisiensi yang lebih rendah). Udara yang sudah bertekanan tinggi kemudian dialirkan melalui turbin dan menggerakkan generator, sehingga menghasilkan listrik.

Keuntungan lain menggunakan PLTG adalah gas yang dipakai bisa terbilang lebih mudah untuk disiapkan daripada uap, sehingga PLTG bisa mulai berproduksi dengan cepat dari keadaan “dingin” dalam hitungan menit, jauh lebih cepat daripada PLTU. Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada pusat listrik tenaga



gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (BBM) maupun gas (gas alam). Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya.



**Gambar 2.1** Pusat Listrik Tenaga Gas

## 2.2 Komponen PLTG

Generator turbin gas tersusun atas komponen-komponen utama seperti air intake section, compressor section, combustion section, turbine section, dan exhaust section. Berikut ini penjelasan tentang komponen utama turbin gas :

1. *Air Intake Section* Berfungsi untuk menyaring kotoran dan debu yang terbawa dalam udara sebelum masuk ke kompresor. Bagian ini terdiri dari:
  - a. Air Intake Housing, merupakan tempat udara masuk dimana didalamnya terdapat peralatan pembersih udara.
  - b. Inertia Separator, berfungsi untuk membersihkan debu-debu atau partikel yang terbawa bersama udara masuk.
  - c. Pre-Filter, merupakan penyaringan udara awal yang dipasang pada inlet house.
  - d. Main Filter, merupakan penyaring utama yang terdapat pada bagian dalam inlet house, udara yang telah melewati penyaring ini masuk ke dalam kompresor aksial.



2. *Compressor Section* Komponen ini berfungsi untuk mengkompresikan udara yang berasal dari inlet air section hingga bertekanan tinggi sehingga pada saat terjadi pembakaran dapat menghasilkan gas panas berkecepatan tinggi yang dapat menimbulkan daya output turbin yang besar.
3. *Combustion Section* Pada bagian ini terjadi proses pembakaran antara bahan bakar dengan fluida kerja yang berupa udara bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi. Hasil pembakaran ini berupa energi panas yang diubah menjadi energi kinetik dengan mengarahkan udara panas tersebut ke transition pieces yang juga berfungsi sebagai nozzle. Fungsi dari keseluruhan adalah untuk mensuplai energi panas ke siklus turbin. pembakaran ini terdiri dari komponen-komponen berikut yang jumlahnya bervariasi tergantung besar frame dan penggunaan turbin gas. Komponen-komponen itu adalah:
  - a. *Combustion Chamber*, berfungsi sebagai tempat terjadinya pencampuran antara udara yang telah dikompresi dengan bahan bakar yang masuk.
  - b. *Combustion Liners*, terdapat didalam combustion chamber yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya pembakaran.
  - c. *Fuel Nozzle*, berfungsi sebagai tempat masuknya bahan bakar ke dalam combustion liner.
  - d. *Ignitors (Spark Plug)*, berfungsi untuk memercikkan bunga api ke dalam combustion chamber sehingga campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar.
  - e. *Flame Detector*, merupakan alat yang dipasang untuk mendeteksi proses pembakaran terjadi.
4. *Turbin Section* Turbin section merupakan tempat terjadinya konversi energi kinetik menjadi energi mekanik yang digunakan sebagai penggerak compresor aksial dan perlengkapan lainnya. Dari daya total yang dihasilkan kira-kira 60 % digunakan untuk memutar kompresornya sendiri, dan sisanya digunakan untuk kerja yang dibutuhkan.

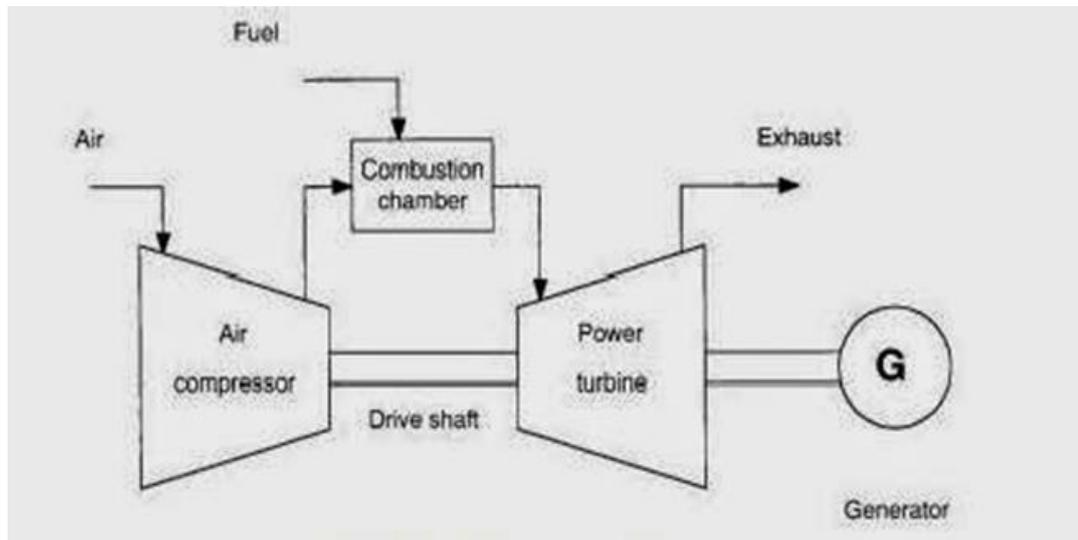


5. *Exhaust Section* Exhaust section adalah bagian akhir turbin gas yang berfungsi sebagai saluran pembuangan gas panas sisa yang keluar dari turbin gas. Exhaust section terdiri dari beberapa bagian yaitu : Exhaust frame assembly, dan exhaust gas keluar dari turbin gas melalui exhaust diffuser pada exhaust frame assembly, lalu mengalir ke exhaust plenum dan kemudian didifusikan dan dibuang ke atmosfer melalui exhaust stack, sebelum dibuang ke atmosfer gas panas sisa tersebut diukur dengan exhaust thermocouple dimana hasil pengukuran ini digunakan juga untuk data pengontrolan temperatur dan proteksi temperatur trip. Pada exhaust area terdapat 18 buah termokopel yaitu, 12 buah untuk temperatur kontrol dan 6 buah untuk temperatur trip.

### 2.3 Siklus PLTG

Turbin gas merupakan alat yang mengkonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanis melalui proses pembakaran, kemudian energi mekanis tersebut dikonversi oleh generator menjadi energi listrik. Prinsip kerja sistem ini adalah udara atmosfer masuk ke dalam kompresor yang berfungsi menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut, sehingga temperaturnya naik. Kemudian udara bertekanan tinggi itu masuk ke dalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar disemprotkan bahan bakar ke dalam arus udara tersebut, sehingga terjadi proses pembakaran.

Proses pembakaran tersebut berlangsung pada tekanan konstan, sehingga bisa dikatakan bahwa ruang bakar hanyalah digunakan untuk menaikkan temperatur udara. Gas pembakaran yang bertemperatur tinggi itu kemudian masuk ke dalam turbin gas dimana energinya dipergunakan untuk memutar sudu turbin  $\pm 60\%$  dari daya yang dihasilkan turbin untuk memutar kompresornya sendiri, sisanya baru digunakan untuk memutar generator. Siklus ideal ini terdiri dari 2 proses isobar yang terjadi di ruang bakar dan proses pembuangan gas bekas, serta 2 proses isentropik yang terjadi pada kompresor dan ekspansi gas pada turbin.



**Gambar 2.2** Siklus PLTG

## 2.4 Pengertian Generator

Generator adalah adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik). Energi yang menggerakkan generator sendiri sumbernya bermacam macam. Pada pembangkit listrik tenaga gas misalnya generator bergerak karena adanya turbin yang berputar karena gas. Generator bekerja berdasarkan prinsip hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (garis gaya listrik) yang mempunyai satuan volt.



**Gambar 2.3** Generator

## **2.5 Generator Sinkron**

Generator sinkron adalah mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub – kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub – kutub rotor tidak dapat tiba – tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala – jala. Generator sinkron mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Adapun sumber dari energi mekanik tersebut adalah prime mover, baik mesin diesel, turbin uap, turbin gas, turbin air atau perangkat sejenis lainnya. Tegangan output dari generator sinkron adalah tegangan bolak-balik, karena itu generator sinkron disebut juga generator AC.



**Gambar 2.4** Generator Sinkron

### 1.6 Prinsip kerja Generator Sinkron

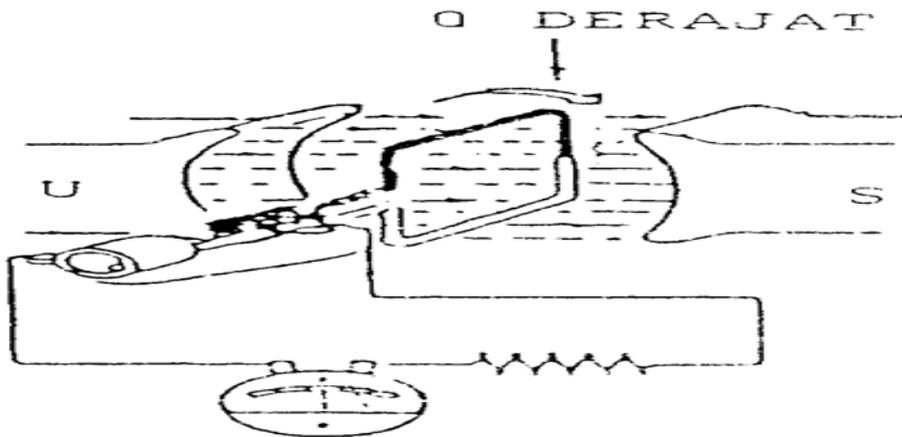
Perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC adalah untuk generator DC, kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak di antara kutub-kutub magnet yang tetap di tempat, diputar oleh tenaga mekanik. Pada generator sinkron, konstruksinya sebaliknya, yaitu kumparan jangkar disebut juga kumparan stator karena berada pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik. Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh tenaga air atau tenaga lainnya, maka pada kumparan rotor timbul medan magnet atau flux yang bersifat bolak-balik atau flux putar. Flux putar ini akan memotong-motong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dari flux putar tersebut. Gaya gerak listrik (GGL) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.

Untuk menjelaskan prinsip dasar kerja generator, pada Gambar 2.1 kita anggap bahwa kawat jangkar berputar searah jarum jam dengan posisi awal pada 0 derajat (titik A). Pada titik A, kawat jangkar tegak lurus terhadap medan magnet, dan

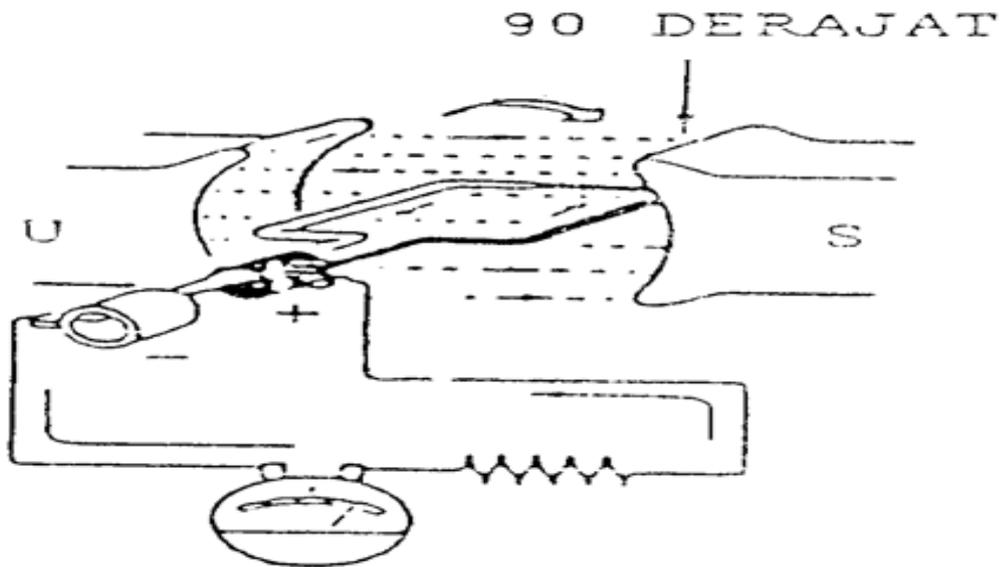


konduktor dari kawat jangkar yang berwarna hitam dan putih bergerak paralel terhadap medan magnet. Karena konduktor tidak memotong garis gaya, maka tidak ada ggl yang dibangkitkan. Dengan tidak adanya yang diinduksikan berarti tidak ada arus yang mengalir melewati sirkuit.

Gambar 2.2 memperlihatkan konduktor yang telah diputar dari titik A ke titik B, jumlah garis-garis gaya yang terpotong adalah maksimum. Ggl yang diinduksikan pada konduktor timbul dari nol pada 0 derajat menjadi suatu nilai maksimum pada 90 derajat. konduktor yang berwarna hitam bergerak kebawah memotong medan magnet dan pada saat bersamaan konduktor warna putih bergerak keatas memotong medan magnet. Ggl yang di induksikan pada kedua konduktor berada dalam hubungan seri, dan tegangan yang dihasilkan sikat (brush) adalah merupakan penjumlahan dari kedua ggl yang diinduksikan tersebut.

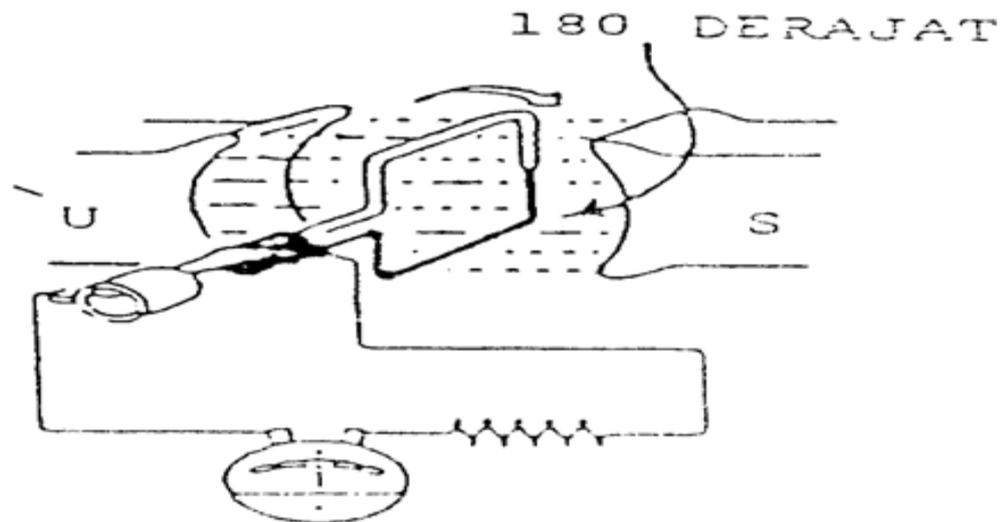


**Gambar 2.5** Konduktor pada posisi titik A (0 derajat)



**Gambar 2.6** Konduktor Pada Posisi Titik B (90 Derajat)

Gerakan antara titik A ke B ditunjukkan oleh amper meter yang semakin bergerak kearah kanan. Pada saat jangkar terus berputar dari titik B (90 derajat) menuju titik C (180 derajat), konduktor tersebut memotong garis-garis gaya lebih sedikit dari pada ketika berada di titik B yang memotong pada jumlah maksimum. Pada titik C, konduktor bergerak paralel dengan medan maknit dan tidak banyak garis-garis gaya yang terpotong. Dengan demikian ggl yang diinduksikan akan berkurang pada saat konduktor bergerak dari 90 derajat ke 180 derajat seperti diperlihatkan pada amper meter Gambar 2.3.



**Gambar 2.7** Konduktor Pada posisi titik C (180 derajat)

Kembali pada Gambar 2.2 dan 2.3, jelas terlihat bahwa dari 0 derajat ke 180 derajat kawat konduktor telah berputar pada arah yang sama melewati medan magnet. Polaritas ggl yang diinduksikan adalah tetap sama. Ketika kawat jangkar mulai berputar melampaui 180 derajat menuju titik A (0 derajat), arah pemotongan konduktor tersebut yang berwarna hitam memotong medan magnet menjadi terbalik. Sekarang konduktor yang berwarna hitam memotong medan magnet ke atas dan konduktor yang warna putih memotong medan magnet dengan arah kebawah. Polaritas ggl yang diinduksikan dan aliran arusnya menjadi terbalik. Seperti terlihat pada Gambar 9, dari titik C (180 derajat) menuju ketitik D (270 derajat) kembali ke titik A (0 derajat), aliran arus akan mempunyai arah berlawanan dengan aliran dari titik A menuju titik C. Tegangan terminal generator akan tetap sama sejak dari titik A sampai ketitik C kecuali kalau polaritasnya dibalik.

Dari rotor generator merupakan bagian yang bergerak maka kita bisa mengetahui berapa besar nilai putaran sator dan rotor pada generator. Dimana ini dipengaruhi oleh frekuensi.



Untuk mencari berapa besar nilai putaran sinkron maka di dapat rumus :

$$N_s = \frac{120.f}{p} \dots\dots\dots 2.1$$

Untuk mencari nilai tegangan per fasa :

$$V_t = \frac{v_s}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots 2.2$$

Untuk mencari nilai arus (saat sebelum dan sesudah start) beban penuh :

$$I = \frac{p}{\sqrt{3}.v_s} \dots\dots\dots 2.3$$

Menghitung nilai reaktansi pada saat rotor berputar di dapat rumus :

$$X_s = \frac{v_t}{I} \dots\dots\dots 2.4$$

Mencari nilai  $\alpha$  dalam radian listrik :

$$\alpha = \frac{2E\alpha}{2E_x} \dots\dots\dots 2.5$$

kemudian baru di dapat nilai P sinkron :

$$P = \frac{\alpha . E . E}{x_s} \dots\dots\dots 2.6$$

Sesudah itu menghitung nilai momen putar ( Torsi ) sinkron :

$$T = \frac{3 . P_{sy} . 60}{2 . \pi . N_s} \dots\dots\dots 2.7$$

Bila kerapatan fluks akibat arus listrik ( I ) dinyatakan dengan  $B_s$ , sedangkan kerapatan fluks akibat kumparan medan adalah  $B_r$ , maka dapat di tulis :

$$T = K . B_r . B_s \sin \Phi \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan menganggap  $B_r$  dan  $B_s$  sebagai fungsi arus rotor dan arus stator, persamaan kopel menjadi :

$$T = K . I_r . I_s . \sin \Phi \dots\dots\dots 2.9$$



Keterangan :

$T$  = torsi ( Nm )

$B_r$  = kerapatan fluks rotor ( Wb / m<sup>2</sup> )

$B_s$  = kerapatan fluks stator ( Wb / m<sup>2</sup> )

$K$  = konstanta ( l x r )

$I$  = arus ( A )

$P_{sy}$  = daya sinkron ( Watt )

## **1.7 Bagian-Bagian Generator sinkron**

### **2.7.1 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). Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan inti ferromagnetik yang bagus berarti permeabilitas dan resistivitas dari bahan tinggi.



**Gambar 2.8** Stator

Bagian yang diam (stator) terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

#### 1.1 Inti Stator

Bentuk dari inti stator ini berupa cincin laminasi-laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy (eddy current losses). Pada inti ini terdapat slot-slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnetnya. Untuk menghindari arus pusar dan panas yang timbul, maka inti stator dibuat dari lempengan baja tipis dan isolasi satu terhadap yang lain.

#### 2.1 Belitan stator

Bagian stator yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang terdapat di dalam slot-slot dan ujung-ujung kumparan. Masing-masing slot dihubungkan untuk mendapatkan tegangan induksi.

#### 3.1 Rumah stator

Bagian dari stator yang umumnya terbuat dari besi tuang yang berbentuk silinder. Bagian belakang dari rumah stator ini biasanya memiliki sirip-sirip sebagai alat bantu dalam proses pendinginan.



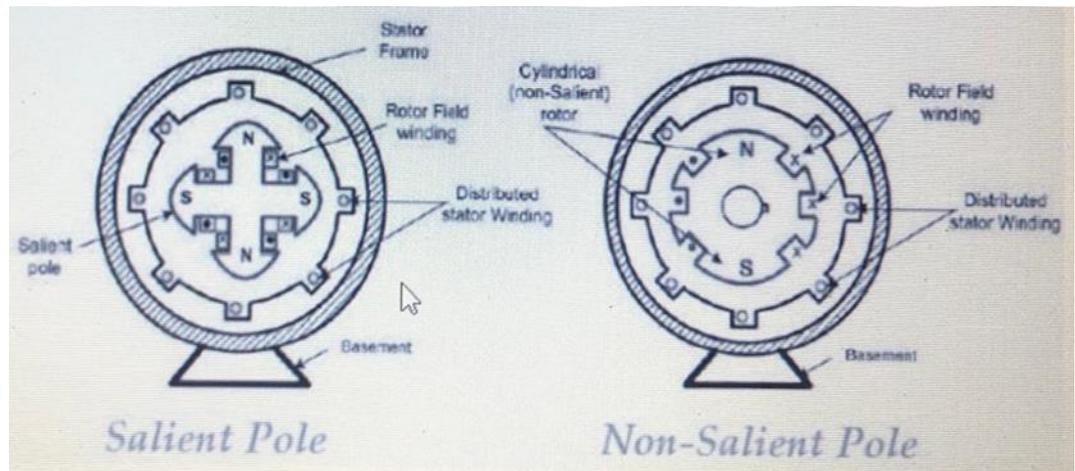
### 2.7.2 Rotor

Rotor adalah bagian generator yang bergerak atau berputar. Antara rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara (air gap). Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang kemudian tegangan dihasilkan dan akan diinduksikan ke stator. Rotor terdiri dari dua bagian umum, yaitu:

- Inti kutub
- Kumparan medan

Pada bagian inti kutub terdapat poros dan inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan. Pada kumparan medan ini juga terdapat dua bagian, yaitu bagian penghantar sebagai jalur untuk arus pemacuan dan bagian yang diisolasi. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient pole (kutub menonjol) dan non salient pole (kutub silinder).

- a. Rotor Bentuk Menonjol (Salient Pole) Pada jenis salient pole, kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medannya dihubungkan seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Rotor kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi dan konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.
- b. Rotor Bentuk Silinder (Non-Salient Pole) Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 rpm). Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan putar tinggi karena konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi dan distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

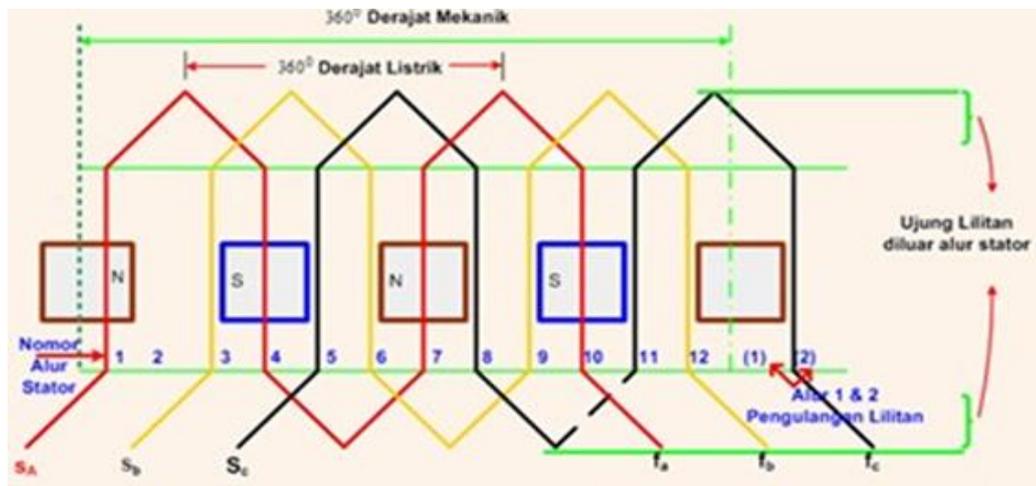


**Gambar 2.9** Rotor bentuk menonjol dan bentuk silinder

### 2.7.3 Belitan Jangkar

Belitan jangkar atau lilitan jangkar merupakan belitan yang diletakkan pada alur stator. Belitan jangkar yang umum digunakan oleh generator atau mesin sinkron tiga fasa ada dua tipe, yaitu:

#### 1. Belitan Satu Lapis (*Single Layer Winding*)

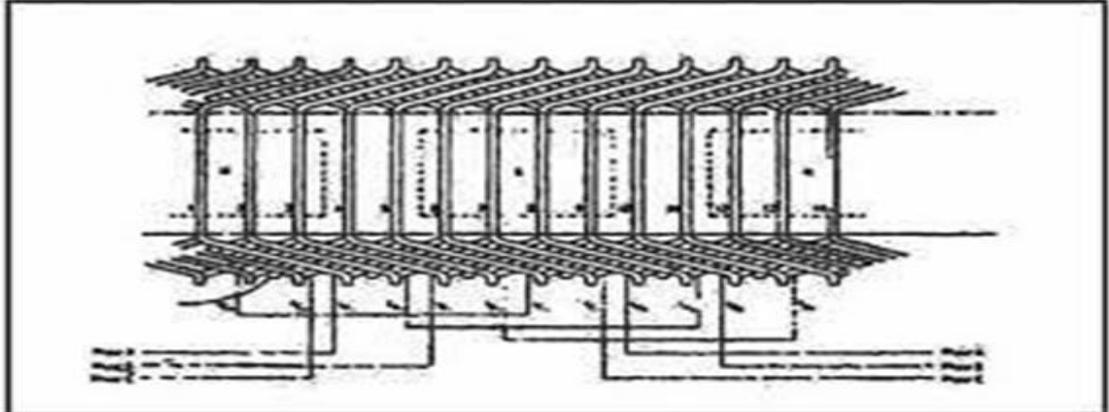


**Gambar 2.10** Belitan satu lapis Generator Sinkron tiga fasa

Gambar di atas memperlihatkan belitan satu lapis karena hanya ada satu sisi lilitan di dalam masing-masing alur. Bila kumparan tiga fasa dimulai pada  $S_a$ ,  $S_b$ , dan  $S_c$  dan berakhir di  $F_a$ ,  $F_b$ , dan  $F_c$  bisa disatukan dalam dua cara yaitu hubungan bintang dan segitiga.



## 2. Belitan Berlapis Ganda (*Double Layer Winding*)



**Gambar 2.11** Belitan lapis ganda

Kumparan jangkar yang diperlihatkan pada gambar di atas hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing-masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama. Masing-masing tegangan fasa akan sama untuk menghasilkan tegangan per penghantar dan jumlah total dari penghantar per fasa. Dalam kenyataannya caraseperti ini tidak menghasilkan cara yang efektif dalam penggunaan inti stator, karena variasi kerapatan flux dalam inti dan juga melokalisir pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik.

### 2.7.4 Exciter

Exciter/Eksitasi adalah alat yang mengaktifkan medan magnet buatan sehingga generator dapat menghasilkan gaya gerak listrik.

## 2.8 Sistem Eksitasi Pada Generator Sinkron

Eksitasi atau penguatan medan merupakan bagian yang penting dari sebuah generator sinkron. Tidak hanya untuk menjaga tegangan terminal tetap konstan tetapi juga harus merespon terhadap perubahan beban yang tiba-tiba. Eksitasi pada



generator sinkron adalah pemberian arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor. Sesuai dengan prinsip elektromagnet, apabila suatu konduktor yang berupa kumparan yang dialiri listrik arus searah maka kumparan tersebut akan menjadi magnet sehingga akan menghasilkan fluks-fluks magnet. Apabila kumparan medan yang telah diberi arus eksitasi diputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar yang terdapat pada stator akan terinduksi oleh fluks-fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan sehingga akan menghasilkan tegangan bolak-balik. Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung kepada besarnya arus eksitasi dan putaran yang diberikan pada rotor. Semakin besar arus eksitasi dan putaran, maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator.

Sistem ini merupakan sistem yang vital pada proses pembangkitan listrik. Pada perkembangannya, sistem eksitasi pada generator listrik ini dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

- Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat (*brush excitation*).
- Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*).

Sistem eksitasi mempunyai berbagai fungsi. Fungsi tersebut antara lain :

- a. Mengatur tegangan keluaran generator agar tetap konstan (stabil).
- b. Mengatur besarnya daya reaktif.
- c. Menekan kenaikan tegangan pada pelepasan beban (*load rejection*).

Karena mempunyai fungsi seperti di atas maka sistem eksitasi harus mempunyai sifat antara lain ;

- a. Mudah dikendalikan.
- b. Dapat mengendalikan dengan stabil/ sifat pengendalian stabil.
- c. Mempunyai respon/tanggapan yang cepat.
- d. Tegangan yang dikeluarkan harus sama dengan tegangan yang diinginkan.

Sistem yang banyak digunakan saat ini baik dengan generator sinkron tipe kutub sepatu (*salient pole*) maupun tipe rotor silinder (*non-salient pole*) adalah



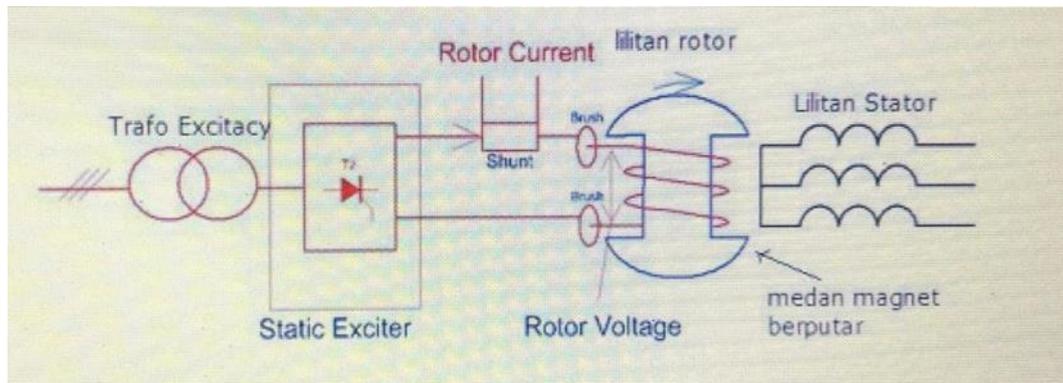
sistem tanpa sikat. Pengeksitasi ac mempunyai jangkar yang berputar, keluarannya kemudian disearahkan oleh penyearah dioda silikon yang juga dipasang pada poros utama.

Keluaran yang telah disearahkan dari pengeksitasi ac, diberikan langsung dengan hubungan yang diisolasi sepanjang poros ke medan generator sinkron yang berputar. Keluaran dari pengeksitasi ac, dan berarti tegangan yang dibangkitkan oleh generator sinkron, dapat dikendalikan dengan mengubah kekuatan medan pengeksitasi ac. Jadi sistem eksitasi tanpa sikat tidak mempunyai komutator, cincin-slip atau sikat-sikat yang sangat menyederhanakan pemeliharaan mesin. Setelah generator ac mencapai kepesatan yang sebenarnya oleh penggerak mulanya, medannya dieksitasi dari catu dc. Ketika kutub lewat di bawah konduktor jangkar yang berada pada stator, fluksi medan yang memotong konduktor menginduksikan ggl kepadanya. Ini adalah ggl bolak-balik, karena kutub dengan polaritas yang berubah-ubah terus-menerus melewati konduktor tersebut.

Karena tidak menggunakan komutator, ggl bolak-balik yang dibangkitkan keluar pada terminal lilitan stator. Besarnya ggl yang dibangkitkan bergantung pada laju pemotongan garis gaya; atau dalam hal generator, besarnya ggl bergantung pada kuat medan dan kepesatan konstan, maka besarnya ggl yang dibangkitkan menjadi bergantung pada eksitasi medan. Ini berarti bahwa besarnya ggl yang dibangkitkan dapat dikendalikan dengan mengatur besarnya eksitasi medan yang dikenakan pada medan generator.

### **2.8.1 Sistem Eksitasi dengan Sikat**

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. Untuk mengalirkan arus eksitasi dari eksiter utama ke rotor generator, menggunakan slip ring dan sikat arang, demikian juga penyaluran arus yang berasal dari pilot exciter ke main exciter.



**Gambar 2.12** Sistem Eksitasi Dengan Sikat (Brush Excitation)

### 2.8.2 Prinsip kerja pada system Eksitasi dengan sikat (Brush Excitation)

Generator penguat yang pertama, adalah generator arus searah hubungan paralel 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 atau tahanan asut mengatur arus penguat generator pertama dan generator penguat kedua menghasilkan arus penguat generator utama.

Dengan cara ini arus penguat yang diatur tidak terlalu besar nilainya (dibandingkan dengan arus generator penguat kedua) sehingga kerugian daya pada potensiometer tidak terlalu besar. PMT arus penguat generator utama dilengkapi tahanan yang menampung energi medan magnet generator utama karena jika dilakukan pemutusan arus penguat 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 cincin geser karena penyearah ikut berputar bersama poros generator. Cincin geser digunakan untuk menyalurkan arus dari generator penguat pertama ke medan penguat generator penguat kedua. Nilai arus penguatan kecil sehingga penggunaan cincin geser tidak menimbulkan masalah.

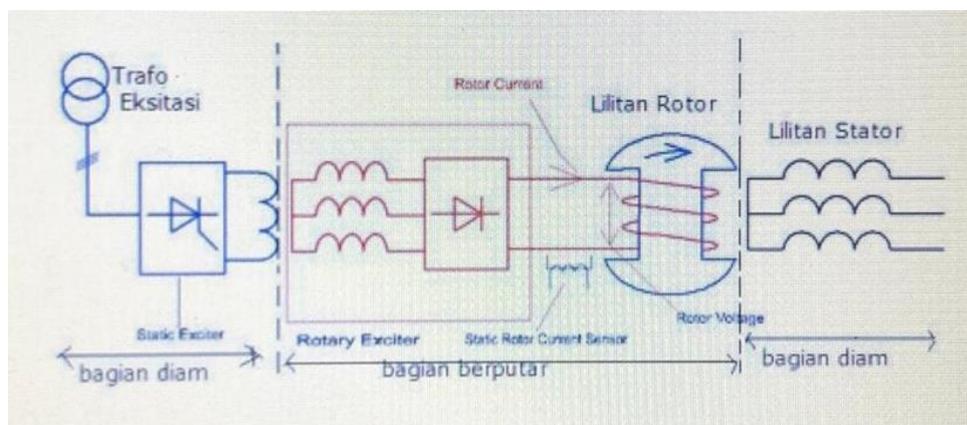


Pengaturan besarnya arus penguatan generator utama dilakukan dengan pengatur tegangan otomatis supaya nilai tegangan klem generator konstan. Perkembangan sistem eksitasi pada generator sinkron dengan sistem eksitasi tanpa sikat, karena sikat dapat menimbulkan loncatan api pada putaran tinggi. Untuk menghilangkan sikat digunakan dioda berputar yang dipasang pada jangkar.

### **2.8.3 Sistem Eksitasi tanpa sikat (Brushless Excitation)**

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). Keuntungan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (brushless excitation), 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, komutator dan slip ring.
3. Pada sistem eksitasi tanpa sikat (brushless excitation) tidak terjadi kerusakan isolasi karena melekatnya debu karbon pada farnish akibat sikat arang.
4. Mengurangi kerusakan akibat udara buruk sebab semua peralatan ditempatkan pada ruang tertutup.
5. Selama operasi tidak diperlukan pengganti sikat, sehingga meningkatkan keandalan operasi dapat berlangsung terus pada waktu yang lama.



**Gambar 2.13** Sistem Eksitasi tanpa sikat ( Brushless Excitation)

#### 2.8.4 Prinsip kerja system eksitasi tanpa sikat (Brushless Excitation)

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 penguat 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/AVR). Besarnya arus berpengaruh pada besarnya arus yang dihasilkan oleh 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.



### 2.8.5 Bagian utama system eksitasi tanpa sikat

Bagian-bagian utama dari sistem eksitasi tanpa sikat antara lain :

a. *Permanent Magnet Generator (PMG)*

*Permanent Magnet Generator (PMG)* adalah generator sinkron yang sistem eksitasinya menggunakan magnet permanen pada rotornya. Pada sistem eksitasi tanpa sikat digunakan PMG sebagai penyedia daya untuk eksitasi AC exciter/main exciter dan komponen regulator. PMG terdiri dari magnet permanen berputar dan jangkar yang diam dililit untuk output 3 fasa. PMG berputar seiring dengan berputarnya rotor. PMG sebagai pembangkit tegangan/ arus AC yang disearahkan kemudian dimasukkan pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*) untuk dikontrol. Karena tegangan/ arus AC pada PMG sangat kecil, arus AC yang sudah disearahkan dimasukkan pada eksiter untuk membangkitkan tegangan AC yang lebih besar. Arus AC keluaran eksiter disearahkan oleh rotating diode untuk memberikan arus eksitasi pada rotor, sehingga pada rotor terdapat medan magnet.

Medan magnet tersebut menabrak kumparan – kumparan pada stator yang menghasilkan fluks listrik. Sehingga dari situ didapatkan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator tersebut. Hal tersebut terjadi berulang – ulang setiap generator beroperasi. Sehingga tidak diperlukan sumber tegangan DC untuk eksitasi pada generator ini. Keluaran generator tersebut diambil melalui stator karena lebih mudah mengambil tegangan pada bagian yang diam dari pada mengambil tegangan pada bagian yang berputar (rotor).

b. AC Exciter

AC exciter adalah jenis yang sama dengan generator sinkron konvensional. Rotor AC exciter ditempatkan pada poros yang sama dengan rotating rectifier. AC exciter sendiri mendapatkan eksitasi pada statornya dari PMG setelah disearahkan dalam AVR. Penggunaan AC exciter ini bertujuan untuk memperbesar arus eksitasi agar bisa digunakan untuk mengeksitasi generator utama, setelah disearahkan dulu oleh rotating rectifier.



c. *Rotating Rectifier*

*Rotating rectifier* terdiri dari dioda silikon, fuse dan resistor. Bagian ini merupakan bagian yang digunakan untuk menyearahkan arus yang akan menuju ke rotor generator utama sebagai arus eksitasi. Berdasarkan fungsi kerjanya, ada 2 rangkaian penyearah yang digunakan pada brushless exciter, yaitu penyearah statis dan penyearah berputar.

d. *Automatic Voltage Regulator*

AVR merupakan bagian yang sangat penting dalam pengaturan arus eksitasi generator. Arus keluaran dari PMG disearahkan dan diatur besarnya di AVR. Unit AVR (Automatic Voltage Regulator) berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator. Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan pada eksiter. Apabila tegangan output generator di bawah tegangan nominal tegangan generator maka AVR akan memperbesar arus penguatan (excitation) pada eksiter. Dan juga sebaliknya apabila tegangan output generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (excitation) pada eksiter.