

BAB II

TINJAUAN PUSATAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Ir.Djiteng Marsudi (2005) yang berjudul “*Pembangkitan Tenaga Listrik*”. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menjabarkan mengenai bagaimana proses dari sebuah pembangkit tenaga listrik, instalasi yang di gunakan dari pembangkit listrik, masalah-masalah mengenai operasi yang di alami pada pusat pembangkit tenaga listrik, sistem yang digunakan dalam sebuah pembangkit, bagaimana pengembangan pembangkit dan bagaimana menejemen dari pembangkitan tenaga listrik. Berdasar permasalahan tersebut penelitian ini di lakukan terhadap berbagai macam sumber pembangkit tenaga listrik seperti PLTA,PLTU,PLTG dan lain sebagainya yang berkaitan dengan sistem pembangkitan tenaga listrik.

Marda, Bindar (2016) yang berjudul “*Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Keluaran Daya Reaktif Generator Sinkron 13,8 kV 67 MVA*”. Dari penelitian didapat bahwa sifat arus eksitasi polinomial terhadap keluaran daya reaktif generator. Analisis yang dilakukan meliputi perubahan beban, perubahan tegangan, perubahan eksitasi serta penyebab daya reaktif dan tegangan generator memiliki nilai tertinggi dan terendah. Dengan hasil nilai V_{out} generator tidak melebihi +2,2% dan tidak kurang dari 0,29%, dengan demikian membuktikan bahwa sistem terjaga kestabilannya.

Drs.Yon Rijono (2004) yang berjudul “*Dasar Teknik Tenaga Listrik*”. Tujuan dari pembahasannya yaitu membahas tentang dasar-dasar dari tenaga listrik dan juga komponen yang sering di gunakan dalam pembangkit tenaga listrik seperti tansformator dan generator.

Bonar Pandjaitan (2012) yang berjudul “*Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*”. Tentu saja setiap pekerjaan pasti akan ada resiko ataupun permasalahan yang di dapat. Oleh karena itu sebelum kejadian yang

tidak diinginkan tersebut terjadi, dibuatlah sebuah sistem yang berfungsi sebagai pengaman atau proteksi dari alat atau mesin yang digunakan. Tujuan dari penulis menyusun buku ini yaitu untuk memaparkan bagaimana sebuah sistem tenaga listrik berkerja dan juga menjelaskan bagaimana sistem proteksi dari sistem tenaga listrik tersebut.

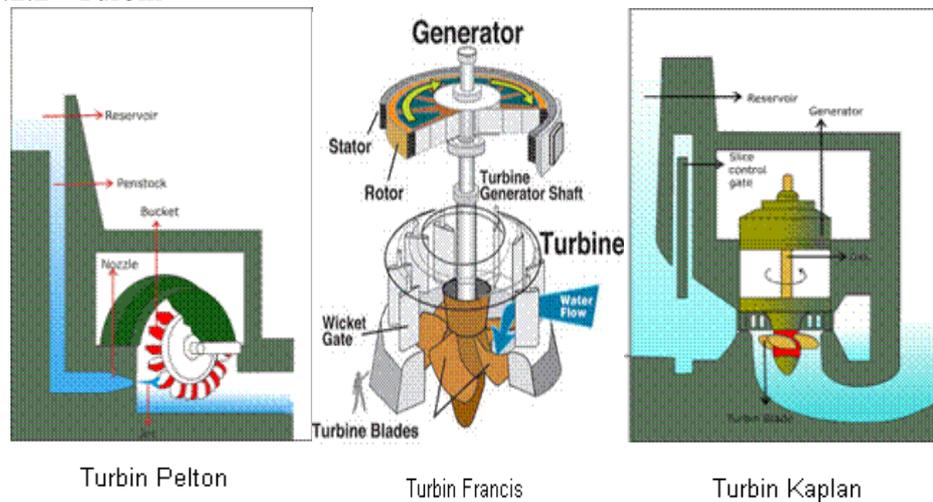
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu pembangkit yang memanfaatkan aliran air untuk diubah menjadi energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan ini biasa disebut sebagai hidroelektrik. Pembangkit listrik ini bekerja dengan merubah energi air yang mengalir (dari bendungan atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator).

PLTA dapat beroperasi sesuai dengan perancangan sebelumnya, bila mempunyai Daerah Aliran Sungai (DAS) yang potensial sebagai sumber air untuk memenuhi kebutuhan dalam pengoperasian PLTA. Pada operasi PLTA, perhitungan keadaan air yang masuk pada waduk/dam tempat penampungan air beserta besar air yang tersedia dalam waduk/dam dan perhitungan besar air yang 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 di distribusikan ke pintu saluran air untuk menggerakkan turbin dapat dilakukan dengan baik. Hal tersebut dapat dijadikan sebagai dasar tindakan pengaturan efisiensi penggunaan air maupun pengamanan seluruh sistem, sehingga PLTA dapat beroperasi sepanjang tahun, walaupun pada musim kemarau panjang.

2.2.2 Turbin



Gambar 2. 1 Gambar Macam-macam Turbin

(<http://web.ipb.ac.id/~tepfeta/elearning/media/Energi dan Listrik Pertanian/MATERI WEB ELP/Bab V ENERGI AIR/indexAir.html>)

Pemanfaatan energi air dalam skala kecil dapat berupa penerapan kincir air dan turbin. Dikenal ada tiga jenis kincir air berdasarkan sistem aliran airnya, yaitu: overshoot, breast-shot, dan under-shot.

Pada kincir overshoot, air melalui atas kincir dan kincir berada di bawah aliran air. Air memutar kincir dan air jatuh ke permukaan lebih rendah. Kincir bergerak searah jarum jam. Pada kincir breast-shot, kincir diletakkan sejajar dengan aliran air sehingga air mengalir melalui tengah-tengah kincir. Air memutar kincir berlawanan dengan arah jarum jam. Pada kincir under-shot, posisi kincir air diletakkan agak ke atas dan sedikit menyentuh air. Aliran air yang menyentuh kincir menggerakkan kincir sehingga berlawanan arah dengan jarum jam.

2.2.3 Generator Sinkron

Generator sinkron atau biasa disebut *alternator* adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik yang keluarannya berupa tegangan bolak-balik. Berubahnya energi tersebut timbul akibat terdapatnya gerakan relatif medan magnet bersama kumparan generator. Pergerakan relatif yakni timbulnya

transformasi medan magnet yang ada dikumparan jangkar (area timbulnya tegangan pada alternator) akibat gerakan medan magnet kepada kumparan jangkar. Kecepatan putaran medan magnet yang timbul sama dengan kecepatan putaran rotor alternator, akibatnya disebut dengan mesin serempak. Mesin ini dapat membuat energi listrik bolak-balik (AC, *Alternating Current*) dan dapat memproduksi listrik AC satu fasa ataupun tiga fasa.

Generator sinkron dikatakan sinkron apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

a. Frekuensi harus sama

Frekuensi diatur dengan cara menaikkan kecepatan putar dari generator untuk menghasilkan frekuensi yang telah ditentukan. Misalnya frekuensi di Indonesia 50 Hz, maka frekuensi harus mengikuti standar yang telah ditentukan.

b. Tegangan harus sama

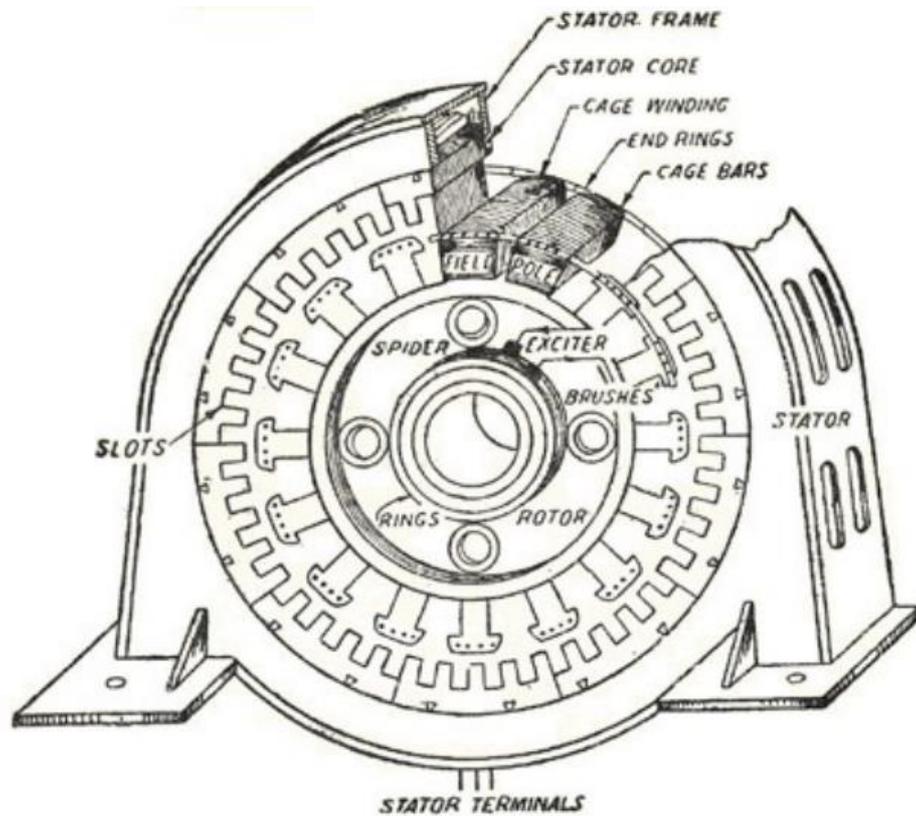
Tegangan pada alternator harus sama karena apabila terjadinya beda tegangan, maka yang terjadi adalah terjadinya loncatan bunga api yang dapat menimbulkan kerusakan pada trafo.

c. Sudut dan urutan fasa harus sama

Maksudnya adalah saat disinkronisasi, urutan sudut fase dari alternator harus sama dengan jaringan jala-jala. Dimana R, S, T pada jaringan jala, harus sama dengan U, V, W dari generator. Terjadinya beda sudut fase pada jaringan jala dan alternator, dapat menyebabkan terjadinya gangguan.

2.2.4 Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron memiliki dua komponen primer yaitu stator (komponen yang statis) dan rotor (komponen yang bergerak). Konstruksi generator sinkron dapat dilihat pada beberapa gambar di bawah ini.



Gambar 2. 2 Konstruksi Generator Sinkron

(<https://dokumen.tips/documents/teori-generator-sinkron.html>)

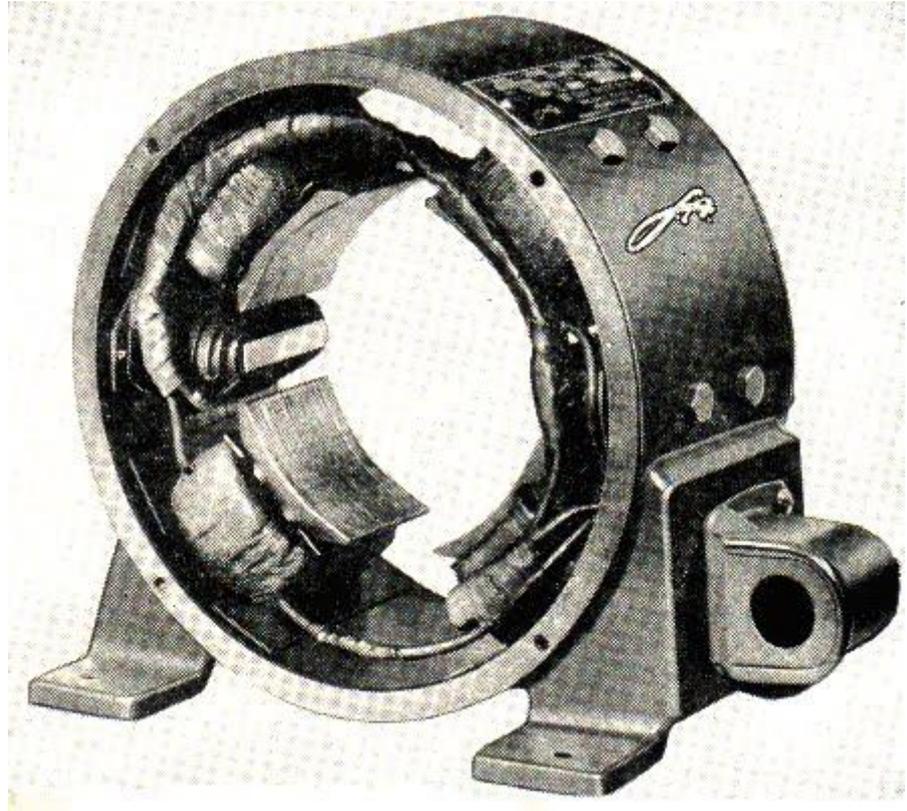
2.2.2.1 Stator

Stator atau biasa disebut *Armature* merupakan komponen yang memiliki fungsi menjadi tempat untuk memperoleh induksi magnet dari rotor. Arus bolak-balik yang mengarah ke beban diarahkan melewati stator. Bagian ini memiliki bentuk seperti sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak.

Stator mempunyai beberapa bagian primer, yaitu:

- a. Rangka sator

Bagian ini ialah kerangka yang menopang inti jangkar generator.



Gambar 2. 3 Rangka Stator

(<http://ohmlistrik.blogspot.com/2010/11/komponen-mesin-dc.html>)

b. Inti Stator

Komponen ini terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang dipasang ke rangka stator.



Gambar 2. 4 Inti Stator

(<https://blogs.itb.ac.id/e12244k0112211077alpinarief/2013/05/02/motor-ac/>)

c. Alur (slot) dan Gigi

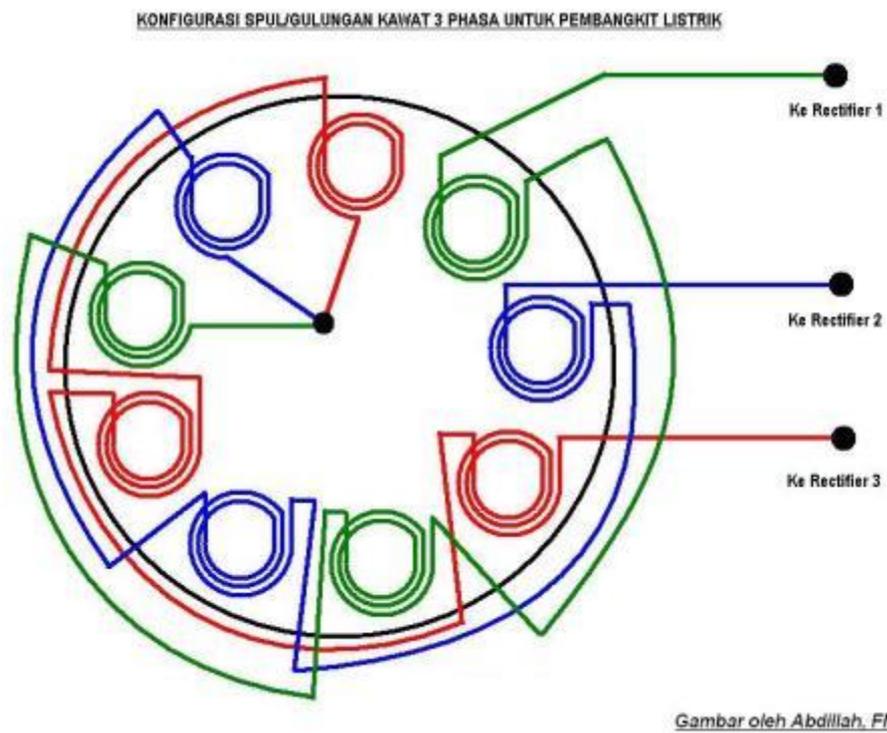
Komponen ini ialah tempat diletakkannya kumparan stator. Ada beberapa bentuk komponen ini, yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup.



Gambar 2. 5 Bentuk-bentuk Alur Stator

(<http://docplayer.info/46059284-Bab-ii-tinjauan-pustaka.html>)

d. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)



Gambar 2. 6 Gulungan Kawat Tembaga

(<https://energinonfossil.wordpress.com/2010/11/>)

Komponen ini dibentuk dari tembaga, dan juga komponen ini ialah tempat terjadinya Gaya Gerak Listrik Induksi. Kumparan jangkar yang terdapat di stator disebut belitan stator atau kumparan stator. Kumparan jangkar yang dipakai oleh mesin serempak tiga fasa memiliki dua macam, yakni:

1). Kumparan Satu Lapis (*Single Layer Winding*)

Belitan satu lapis memiliki dua macam bentuk, yaitu:

- a. Mata Rantai (*Concertis or Chain Winding*)
- b. Gelombang (*Wave*)

2). Belitan Dua Lapis (*Double Layer Winding*)

2.2.2.2 Rotor

Rotor memiliki 3 bagian primer, yakni:

a. Slip Ring

Bagian ini adalah cincin logam yang melingkari poros rotor namun terpisah oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor terpasang di slip ring ini, lalu dihubungkan menuju sumber arus DC dengan sikat (*brush*) yang terletak di slip ring.

b. Kumparan Rotor (Kumparan Medan)

Bagian ini adalah bagian yang memegang peran utama untuk mendapatkan suatu medan magnet. Bagian ini mendapatkan arus DC dari sumber eksitasi.

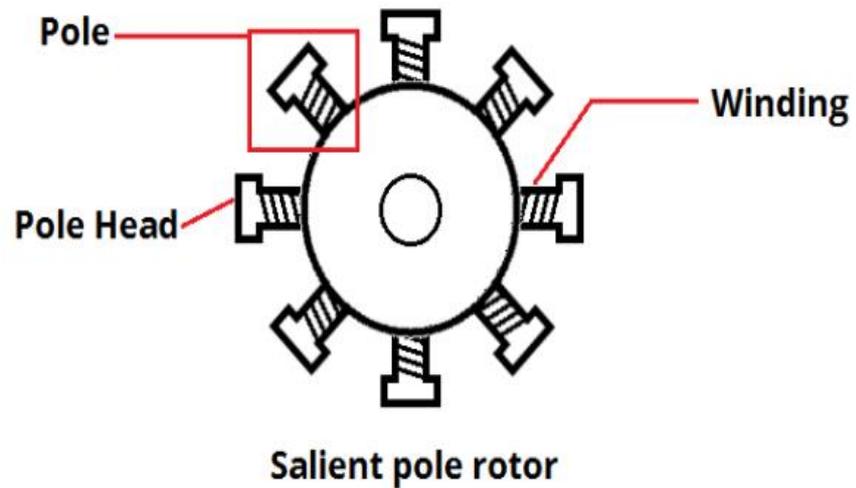
c. Poros Rotor

Bagian ini ialah tempat diletakkannya kumparan rotor, dimana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

Ada 2 jenis kutub medan magnet yang digunakan pada rotor generator sinkron, yaitu:

a. Kutub Menonjol (*Salient Pole*)

Kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor. Beitan-belitan medan terhubung secara seri. Saat belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan.



Gambar 2. 7 Rotor Kutub Menonjol (Salient Pole)

(https://en.wikipedia.org/wiki/File:Salient-pole_rotor.png)

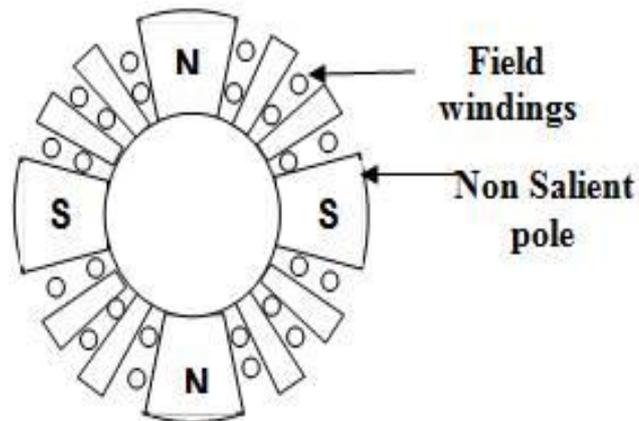
Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik tenaga air. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah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

- 1) Rotor akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan mengeluarkan suara berisik jika diputar dengan kecepatan tinggi.
- 2) Konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.

b. Kutub Silindris (*non Salient*)

Pada jenis rotor ini, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa alus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat

di sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang dienergikan oleh eksiter.



Gambar 2. 8 Rotor Kutub Silindris (Non-Salient Pole)

(<http://www.tonysblog.in/salient-pole-and-non-salient-pole-synchronous-machine/>)

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar tinggi (1500 rpm ataupun 3000 rpm) seperti yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Rotor jenis ini digunakan dengan alasan:

- 1) Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi
- 2) Distribusi di sekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

Terdapat beberapa cara pemasukan arus searah (sebagai arus medan) ke rangkaian medan rotor untuk membentuk medan magnet pada kumparan rotor, yakni:

- 1) Menyuplai daya searah ke rangkaian rotor dari sumber searah eksternal (biasanya berupa baterai dari luar) dengan saran *slip ring* dan sikat. Bila generator ini hanya menerima

sumber DC dari luar untuk *start* awal saja, maka sumber DC sebagai penguat kumparan medan selanjutnya diambil dari keluaran generator itu sendiri (setelah sumber dari baterai dilepas) dengan cara mengubah keluaran AC generator ini menjadi DC (di searahkan sebelum dimasukkan ke kumparan medan pada rotor)

- 2) Memasok daya searah dari sumber searah khusus yang ditempelkan langsung pada batang rotor alternator. Sumber searah ini biasanya dari generator searah yang ditempel pada rotor alternator.

2.2.5 Prinsip Kerja Generator

Asas yang digunakan oleh generator yaitu menerapkan prinsip pembangkitan listrik secara induksi. Berdasarkan hukum Faraday, saat sebuah medan magnet berputar secara terus menerus memotong kumparan (coil), maka akan membangkitkan beda potensial (voltage) pada kumparan tersebut atau biasa disebut Gaya Gerak Listrik. Besar tegangan yang diinduksikan pada kumparan medan sangat bergantung pada panjang penghantar penghantar dalam kumparan medan, kecepatan putaran dan juga kuat medan magnet.

Mesin listrik dapat bekerja apabila memiliki kumparan medan yang memiliki fungsi sebagai penghasil medan magnet dan juga kumparan jangkar yang memiliki fungsi sebagai tempat penghasilnya tegangan induksi, lalu celah udara udara yang berfungsi untuk memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet.

Umumnya, prinsip kerja dari generator sinkron adalah saat kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang memberikan arus searah (DC) terhadap

kumparan medan, maka saat terdapat arus searah pada kumparan medan akan mengakibatkan fluks. Penggerak mula yang sudah terkopel dengan rotor generator akan beroperasi, yang membuat rotor akan berputar dengan kecepatan tertentu yang telah diatur. Putaran rotor tersebutlah yang memutar medan magnet, lalu akan timbul fluks magnetik pada kumparan stator.

2.2.6 Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas tegangan ialah kemampuan sistem tenaga untuk menjaga nilai tegangan pada batas operasi yang ditentukan di semua bus pada sistem tenaga, saat sistem mengalami kondisi tidak stabil ketika terjadi gangguan, perubahan beban dan perubahan kondisi pada sistem.

Stabilitas tegangan terbagi menjadi dua, yaitu stabilitas tegangan akibat gangguan akibat gangguan yang kecil dan akibat gangguan yang luas. Stabilitas tegangan akibat gangguan kecil ini terjadi akibat gangguan yang kecil atau bersifat lokal, seperti perubahan kenaikan beban pada sistem. Sedangkan stabilitas akibat gangguan besar adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan pada batas operasi yang ditentukan akibat terjadi gangguan yang bersifat luas seperti kesalahan sistem pelepasan generator atau kontingensi jaringan. Keadaan tersebut membuat sistem harus mendapatkan kembali kestabilannya. Berdasarkan waktu kestabilan tegangan sistem akan kembali dalam waktu cepat atau lama tergantung dari jenis gangguannya. Klasifikasi stabilitas tegangan berdasarkan periode kestabilan dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu stabilitas tegangan jangka pendek adalah 0 sampai 10 detik, jangka menengah adalah antara 10 detik sampai 10 menit, sedangkan jangka panjang lebih dari 10 menit.

Kriteria yang menyatakan sistem tenaga memiliki kestabilan tegangan adalah pada kondisi operasi tertentu dalam sistem, tegangan di bus tertentu akan mengalami kenaikan tegangan ketika disuntikan daya

aktif pada bus yang sama. Sedangkan, tegangan sistem tidak stabil yang paling tidak salah satu bus di sistem tenaga mengalami penurunan tegangan saat disuntikan daya aktif pada bus yang sama. Dengan demikian maka sistem listrik memiliki hubungan yang sebanding antara daya aktif dan tegangan bus saat sistem memiliki kestabilan tegangan.

2.2.7 Karakteristik Beban Listrik

Rangkaian listrik AC merupakan jaringan distribusi yang luas yang menghubungkan antara pembangkit tenaga listrik dengan beban-beban listrik seperti rumah-rumah, perindustrian, perkotaan, rumah sakit dan lain sebagainya. Jaringan pada listrik AC memiliki tiga jenis beban listrik yang harus ditopang oleh pembangkit listrik. Ketiga beban tersebut yaitu beban resistif, beban induktif dan beban kapasitif. Ketiganya memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lainnya.

Beban resistif dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pada elemen panas dan lampu pijar. Beban resistif ini memiliki sifat yang “pasif”, dimana ia tidak mampu memproduksi maupun mengkonsumsi energi listrik. Resistor hanya bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya (dengan jalan menurunkan tegangan listrik yang mengalir), sehingga mengakibatkan terkonversinya energi listrik menjadi panas. Dengan sifat demikian, resistor akan selalu bersamaan membentuk bukit dan lembah. Dengan kata lain beban resistif tidak akan menggeser posisi gelombang arus maupun tegangan. Beban resistif hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali.

Beban induktif dihasilkan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat diberbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan

magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC. Kumparan memiliki sifat untuk menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik. Seperti yang diketahui bahwa listrik AC memiliki nilai arus listrik yang naik turun membentuk gelombang sinusoidal. Perubahan arus listrik yang naik turun inilah yang dihalangi oleh komponen kumparan di dalam sebuah rangkaian listrik AC. Terhalangnya perubahan arus listrik ini mengakibatkan arus listrik menjadi tertinggal beberapa saat oleh tegangan listrik.

Beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitif bersifat seakan-akan menyimpan tegangan listrik sesaat. Beban ini menyerap daya reaktif (kVAr) dan mengeluarkan daya aktif (kW).

2.2.8 Jenis-Jenis Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada satu titik jaringan listrik tiap satu satuan waktu. Dengan satuan watt atau Joule per detik dalam SI, daya listrik menjadi besaran terukur adanya produksi energi listrik oleh pembangkit, maupun adanya penyerapan energi listrik oleh beban listrik.

Daya listrik menjadi pembeda antara beban dengan pembangkit listrik, dimana beban listrik bersifat menyerap daya sedangkan pembangkit listrik bersifat mengeluarkan daya. Berdasarkan kesepakatan universal, daya listrik yang mengalir dari rangkaian masuk ke komponen listrik bernilai positif. Sedangkan daya listrik yang masuk ke rangkaian listrik dan berasal dari komponen listrik, maka daya tersebut bernilai negatif.

2.2.8.1 Daya Aktif

Secara sederhana, daya aktif adalah daya yang dibutuhkan oleh beban resistif. Daya aktif menunjukkan adanya aliran energi listrik dari pembangkit listrik ke jaringan beban untuk dapat

dikonversikan menjadi energi lain. Sebagai contoh, daya aktif yang digunakan untuk menyalakan kompor listrik. Energi listrik yang mengalir dari jaringan dan masuk ke kompor listrik, dikonversikan menjadi energi panas oleh elemen pemanas kompor tersebut. Nilai daya aktif selalu positif sebesar 100% menunjukkan daya mengalir ke arah beban listrik dan tidak ada aliran balik ke arah pembangkit. Inilah daya aktif, daya yang murni diserap oleh beban resistif, daya yang menandai adanya energi listrik terkonversi menjadi energi lain pada beban resistif. Daya aktif secara efektif menghasilkan kerja yang nyata di sisi beban listrik.

2.2.8.2 Daya Reaktif

Secara sederhana, daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet di kumparan-kumparan beban induktif. Seperti pada motor listrik induksi misalnya, medan magnet yang dibangkitkan oleh daya reaktif di kumparan stator berfungsi untuk menginduksi rotor sehingga tercipta medan magnet induksi pada komponen rotor. Pada trafo, daya reaktif berfungsi untuk membangkitkan medan magnet pada kumparan primer, sehingga medan magnet primer tersebut menginduksi kumparan sekunder.

Daya reaktif adalah **daya imajiner** yang menunjukkan adanya pergeseran grafik sinusoidal arus dan tegangan listrik AC akibat adanya beban reaktif. Daya reaktif memiliki fungsi yang sama dengan faktor daya atau juga bilangan $\cos \phi$. Daya reaktif ataupun faktor daya akan memiliki nilai ($\neq 0$) jika terjadi pergeseran grafik sinusoidal tegangan ataupun arus listrik AC, yakni pada saat beban listrik AC bersifat induktif ataupun kapasitif. Sedangkan jika beban listrik AC bersifat murni resistif, maka nilai dari daya reaktif akan nol ($=0$). Sekalipun daya reaktif hanya merupakan daya 'khayalan', pengendalian daya reaktif pada sistem jaringan distribusi listrik AC

sangat penting untuk diperhatikan. Hal ini tidak lepas dari pengaruh beban reaktif terhadap kondisi jaringan listrik AC. Beban kapasitif yang bersifat menyimpan tegangan sementara, cenderung mengakibatkan nilai tegangan jaringan menjadi lebih tinggi daripada yang seharusnya. Sedangkan beban induktif yang bersifat menyerap arus listrik, cenderung membuat tegangan listrik jaringan turun. Berubah-ubahnya tegangan listrik jaringan tersebut sangat mengganggu proses distribusi energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Perubahan tegangan jaringan berkaitan langsung dengan kerugian-kerugian distribusi listrik seperti kerugian panas dan emisi elektromagnetik yang terbentuk sepanjang jaringan distribusi. Semakin jauh nilai tegangan jaringan dari angka yang seharusnya, akan semakin besar kerugian distribusinya dan akan semakin mengganggu proses distribusi daya nyata listrik. Di sinilah peran kontrol daya reaktif jaringan listrik sangat perlu diperhatikan.

2.2.8.3 Daya Semu

Daya semu atau daya total (S), ataupun juga dikenal dalam Bahasa Inggris *Apparent Power*, adalah hasil perkalian antara tegangan efektif (*root-mean-square*) dengan arus efektif (*root-mean-square*). Pada kondisi beban resistif dimana tidak terjadi pergeseran grafik sinusoidal arus maupun tegangan, keseluruhan daya total akan tersalurkan ke beban listrik sebagai daya nyata. Dapat dikatakan jika beban listrik bersifat resistif, maka nilai daya semu (S) adalah sama dengan daya nyata (P). Lain halnya jika beban jaringan bersifat induktif ataupun kapasitif (beban reaktif), nilai dari daya nyata akan menjadi sebesar $\cos \phi$ dari daya total.

2.2.9 Regulasi Tegangan

Prosentase besar kecilnya drop tegangan, yang terjadi diantara tegangan keluaran generator (V_t) dengan tegangan yang dibangkitkan (E_a) disebut Regulasi Tegangan seperti yang diperlihatkan dibawah ini.

Tabel 2. 1 Rumus Regulasi Tegangan

(<http://backupkuliah.blogspot.com/2013/08/generator-sinkron.html>)

Rumus	Keterangan
$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$	VR = Voltage Regulation Vnl = V tanpa beban Vfl = V dengan beban
$V_{nl} = \sqrt{(V + I R_a)^2 + (I X_s)^2}$	Ra = Tahanan Lilitan Stator Xs = Reaktansi Sinkron
$I = \frac{\text{daya (VA)}}{\text{tegangan (V)}}$	I = Arus