

BAB II

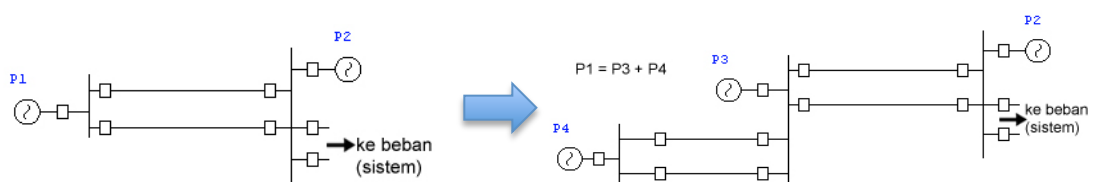
PEMBANGKIT TERDISTRIBUSI

2.1 Umum

Untuk dapat memenuhi kebutuhan beban dibutuhkan kemampuan pembangkitan yang lebih besar dari beban. Hal ini berarti harus ada cadangan berputar maupun cadangan dingin untuk keandalan sistem. Cadangan dingin dapat berupa unit pembangkit dengan turbin gas atau diesel yang bisa distart dari jauh ataupun yang full-automatic. Sehingga bisa dioperasikan dengan cepat apabila terjadi gangguan pasokan daya. Unit-unit cadangan dingin semacam ini dipasang pada ujung-ujung penyulang distribusi. Berikut adalah klasifikasi pembangkit terdistribusi berdasarkan kisaran (*range*) daya terpasang :

- Micro : 1 watt < 5 kW
- Small : 5 kW < 5 MW
- Medium: 5 MW < 50 MW
- Large : 50 MW < 300 MW

Dalam tugas akhir ini pembahasan difokuskan pada masalah stabilitas yang berkaitan dengan penyediaan daya oleh unit-unit pembangkit konvensional dengan daya yang relatif besar (diatas 20 MW) dan terpasang di sistem tegangan tinggi (sistem transmisi 150 kv).



Gambar 2.1 *Skema Pembangkit Terdistribusi*

Dalam pembahasan bab-bab selanjutnya akan ditunjukkan bahwa apabila daya yang dibangkitkan oleh 1 pembangkit saja memberikan stabilitas pada sistem yang tidak sebaik apabila daya tersebut dibangkitkan oleh beberapa unit pembangkit yang tersebar dalam sistem transmisi.

Adapun syarat-syarat dari pembangkit terdistribusi adalah:

1. Pembangkit yang mudah dan cepat untuk di start.
2. Pembangkit yang ukurannya relatif kecil sehingga tidak menghabiskan lahan yang luas.
3. Pembangkit terdistribusi sebaiknya bersifat full automatic. Artinya dalam pengoperasiannya bisa dilakukan dari jarak jauh (tidak memerlukan operator). Hal ini berkaitan dengan kapasitasnya yang cenderung kecil sehingga dapat menghemat biaya.

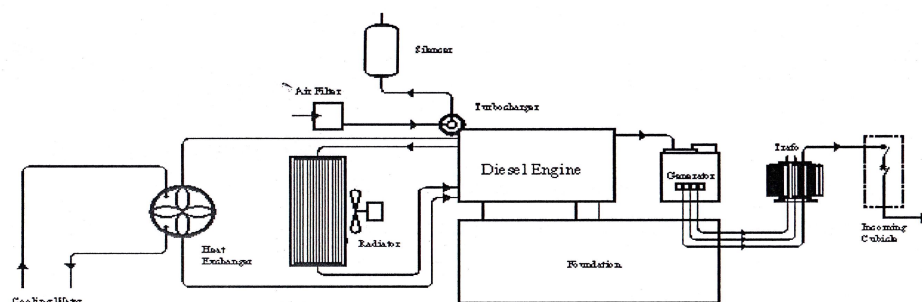
Konsep pembangkit terdistribusi yang disajikan dalam tugas akhir ini bukan berarti menggantikan peran pembangkit konvensional skala besar yang sudah ada. Dari segi konversi dan efisiensi energi yang dihasilkan, pembangkit berskala besar jauh lebih andal daripada pembangkit-pembangkit kecil yang tersebar dalam jumlah banyak sekalipun.

Namun ada kalanya beban dalam sistem meningkat drastis, melebihi OLTC (On Load Tap Changer) maksimal transformator. Di saat OLTC telah mencapai batas maksimal dan tidak mampu lagi mengatasi penurunan tegangan akibat besarnya arus beban, ketika itulah sistem pembangkit terdistribusi ini berperan. Pembangkit terdistribusi yang distart membantu suplai tegangan untuk permintaan beban berlebih pada sistem. Karena pembangkitnya cepat distart maka pemenuhan beban puncak akan optimal.

Pembangkit tenaga fosil (konvensional) yang memenuhi syarat untuk dijadikan pembangkit terdistribusi dalam skala kecil antara lain PLTD dan PLTG.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

PLTD mempunyai ukuran mulai dari 40 kW sampai 12,5 MW. Cocok untuk menyalakan listrik di daerah baru. Apabila perkembangan pemakaian tenaga listrik melebihi 100 MW penyediaan tenaga listrik menggunakan PLTD tidak akan ekonomis lagi sehingga harus dibangun pusat listrik lain, seperti misalnya PLTU. Untuk melayani beban PLTD dengan kapasitas diatas 100 MW tidak akan ekonomis karena unitnya akan menjadi banyak, mengingat unit PLTD yang banyak dijual di pasaran adalah 12,5 MW.



Gambar 2.2 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

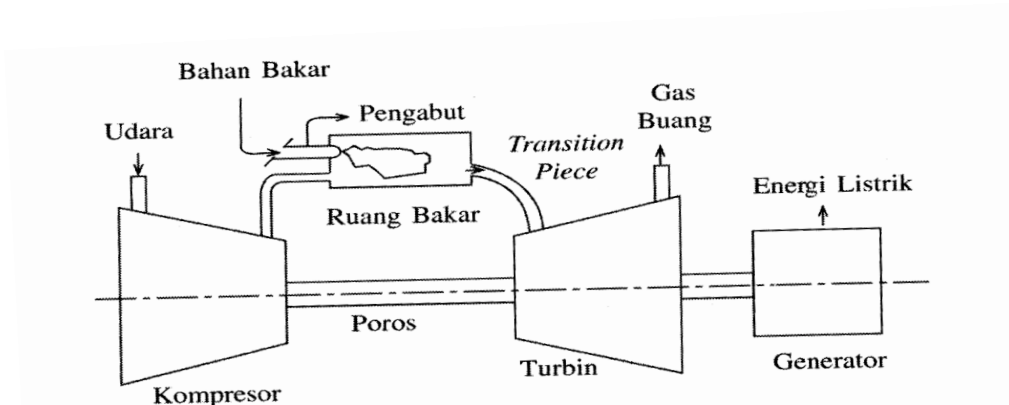
Dalam kebutuhan pembangkitan tenaga listrik, umumnya menggunakan mesin diesel 4 langkah, karena pemakaian bahan bakarnya lebih hemat.

Karena banyaknya bagian yang bergerak pada mesin diesel maka rentan mengalami gangguan. Karena unit pembangkit diesel diharuskan beroperasi secara terus – menerus (*continue*), lebih baik digunakan pembangkit yang mempunyai nilai ppm rendah. Pembangkit dengan nilai ppm yang tinggi biasa

digunakan sebagai pembangkit cadangan dan sesuai dalam sistem pembangkit terdistribusi.

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Bila ditinjau dari segi pengoperasiannya, PLTG merupakan unit pembangkit yang masa startnya terbilang pendek yaitu antara 15 hingga 30 menit. Dan kebanyakan dari PLTG mampu melakukan start tanpa pasokan daya dari luar (*black start*) yaitu dengan menggunakan mesin diesel yang kemudian beralih fungsi menjadi *motor start*. Prinsip kerja sebuah PLTG adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Udara masuk ke kompresor untuk dinaikkan tekanannya menjadi sekitar 13 kg/cm³ kemudian udara tersebut dialirkan ke ruang bakar. Didalam ruang bakar, udara bertekanan 13 kg/cm³ ini dicampur dengan bahan bakar dan dibakar, apabila digunakan bahan bakar gas (BBG), maka gas dapat dicampur dahulu dengan udara untuk kemudian dibakar. Tetapi apabila menggunakan bahan bakar minyak (BBM) maka bahan bakar minyak harus dikabutkan terlebih dahulu untuk kemudian dicampur dengan udara lalu dibakar.

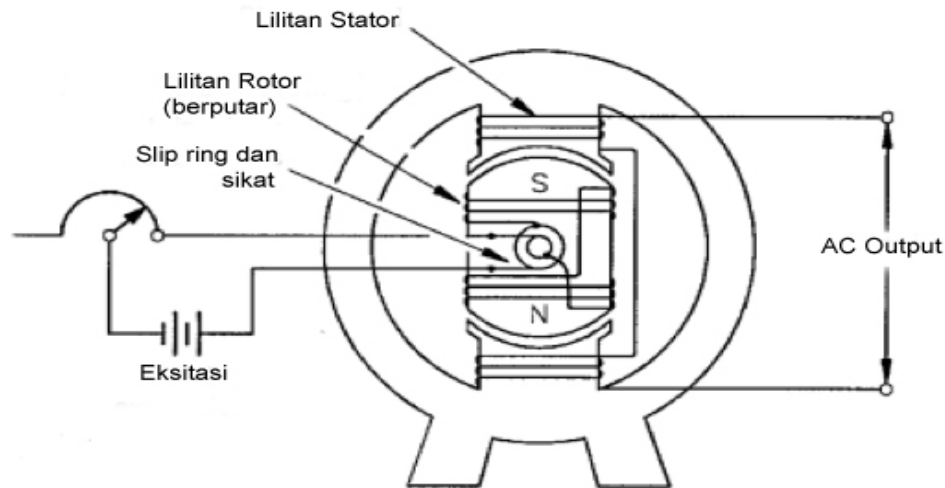
Pembakaran di dalam ruang bakar akan menghasilkan gas bersuhu tinggi sampai kira-kira 1300°C dengan tekanan 13 kg/cm^3 . Gas hasil pembakaran ini kemudian dialirkan menuju turbin untuk disemprotkan ke sudu – sudu turbin penggerak generator dan akhirnya generator akan menghasilkan tenaga listrik.

Operasi turbin gas yang menggunakan gas hasil pembakaran dengan suhu tinggi memberi resiko korosi, yaitu bereaksinya logam potassium, vanadium, dan sodium yang terkandung dalam bahan bakar dengan bagian – bagian sudu turbin. Oleh karena itu bahan bakar yang digunakan tidak boleh mengandung logam-logam tersebut diatas melampaui 1 part per mili (ppm). Di Indonesia, jenis BBM yang memenuhi syarat ini adalah minyak solar, *high speed diesel oil* atau sering disebut HSD yang disediakan oleh PT. PERTAMINA (Persero).

Bila ditinjau dari segi pemeliharaan, sebuah unit PLTG mempunyai selang waktu pemeliharaan (*time between overhaul*) yang tergolong pendek. Yaitu sekitar 4000 hingga 5000 jam operasi. Semakin sering unit mengalami *start – stop*, maka akan semakin pendek selang waktu pemeliharaannya.

PLTG merupakan pembangkit yang biasa digunakan untuk pembangkit terdistribusi dengan ukuran 1 MW hingga 25 MW. PLTG dengan ukuran dibawah 5 MW memiliki harga yang lebih tinggi dan efisiensi yang lebih rendah sehingga tidak menguasai pasar.

2.4 Prinsip Kerja Generator Sinkron



Gambar 2.4 Konstruksi Generator Sinkron

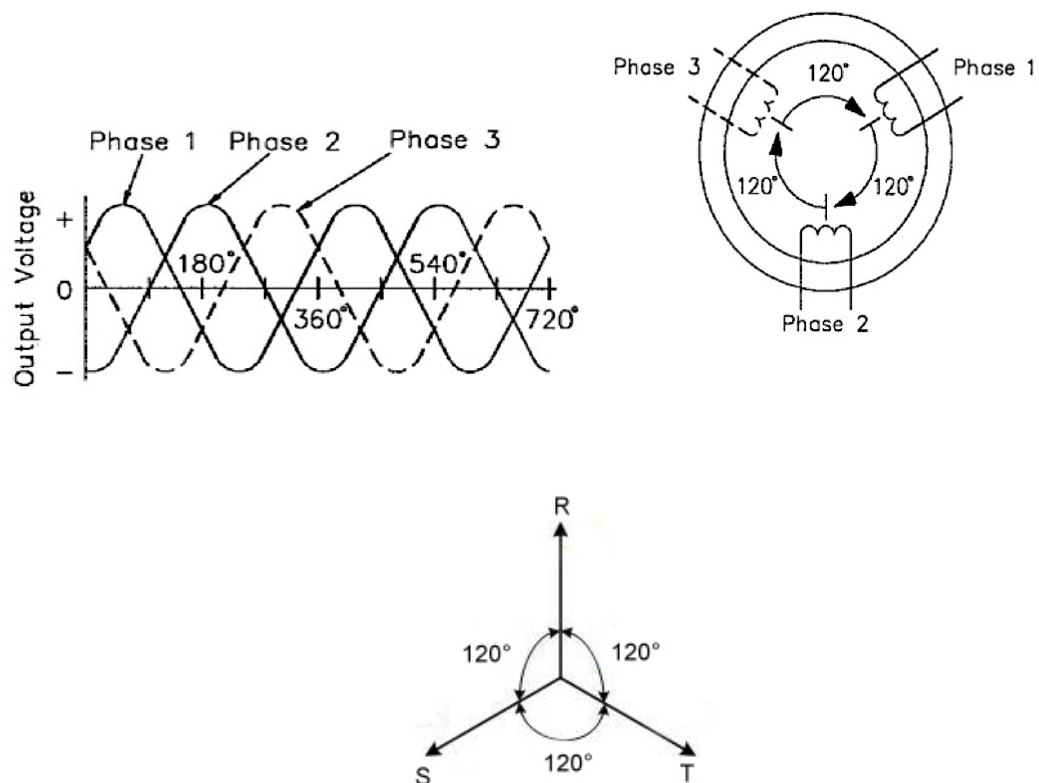
Kinerja pembangkit tenaga listrik yang dijelaskan sebelumnya tidak dapat dipisahkan dari peranan generator pada masing-masing unit. Generator terletak di hulu dan merupakan sumber energi listrik yang didapat dari konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Generator yang umum digunakan dalam pembangkit listrik adalah generator sinkron tiga fasa. Energi mekanik dihasilkan dalam penggerak mula yang dapat berupa turbin uap, turbin gas, atau mesin diesel.

Konstruksi generator sinkron secara umum adalah :

1. Stator adalah bagian yang diam, pada bagian ini terdapat kumparan jangkar.
2. Rotor adalah bagian yang berputar, pada bagian ini terdapat kumparan medan.

Energi mekanik dari mesin pemutar generator dipakai untuk memutar rotor generator yang merupakan elektromagnet yang kekuatannya diatur dengan mengatur besarnya arus searah pada kumparan magnet rotor. Hal ini mengimbaskan gaya gerak listrik pada kumparan stator.

Kumparan stator terdiri dari 3 kumparan yang sama namun letaknya berbeda 120° sehingga terjadi gaya gerak listrik pada setiap kumparan stator yang besarnya sama, frekuensinya sama, namun berbeda fasa sebesar 120° .



Gambar 2.5 Kumparan Stator 3 Fasa dan Tegangan yang Dibangkitkan

Untuk melayani permintaan beban yang terus berkembang, maka dibutuhkan tambahan sumber daya listrik. Agar sumber daya listrik yang baru (generator baru) bisa digunakan dengan generator lainnya maka dilakukan penggabungan dengan memparalelkan dua generator atau lebih pada sistem

dengan tujuan memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan pada sistem. Kerja paralel generator juga dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas pelayanan apabila ada suatu generator yang harus dihentikan misalnya untuk reparasi, maka generator yang lain masih bisa bekerja untuk mensuplai beban yang lain. Dalam memparalelkan generator, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi yaitu :

1. Frekuensi kedua generator harus sama.
2. Tegangan kedua generator harus sama.
3. Fasa kedua generator harus sama.
4. Urutan fasa kedua generator harus sama.

Pengaturan nilai frekuensi berkaitan dengan pengaturan kecepatan putar mesin pemutar generator, sesuai rumus/persamaan :

$$f = \frac{rpm}{60} \times \frac{p}{2} = \frac{rpm}{120}$$

dimana :

f = nilai frekuensi yang dihasilkan generator.

rpm = jumlah putaran turbin per menit.

p = jumlah kutub generator.

Ketika generator dalam keadaan berbeban, arus jangkar akan mengalir dan menyebabkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar ini bersifat reaktif sehingga dinyatakan dalam reaktansi dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi ini muncul bersama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dan keduanya

dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s) pada generator berbeban. Persamaan tegangan pada generator adalah :

$$E_a = V + I \cdot R_a + j I \cdot X_s$$

$$X_s = X_m + X_a$$

dimana :

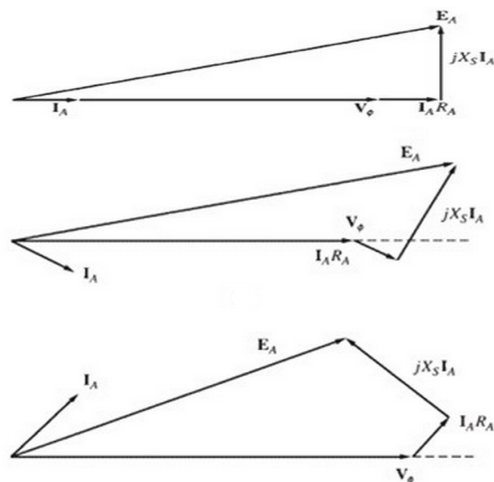
E_a = tegangan induksi pada jangkar

V = tegangan terminal

R_a = resistansi jangkar

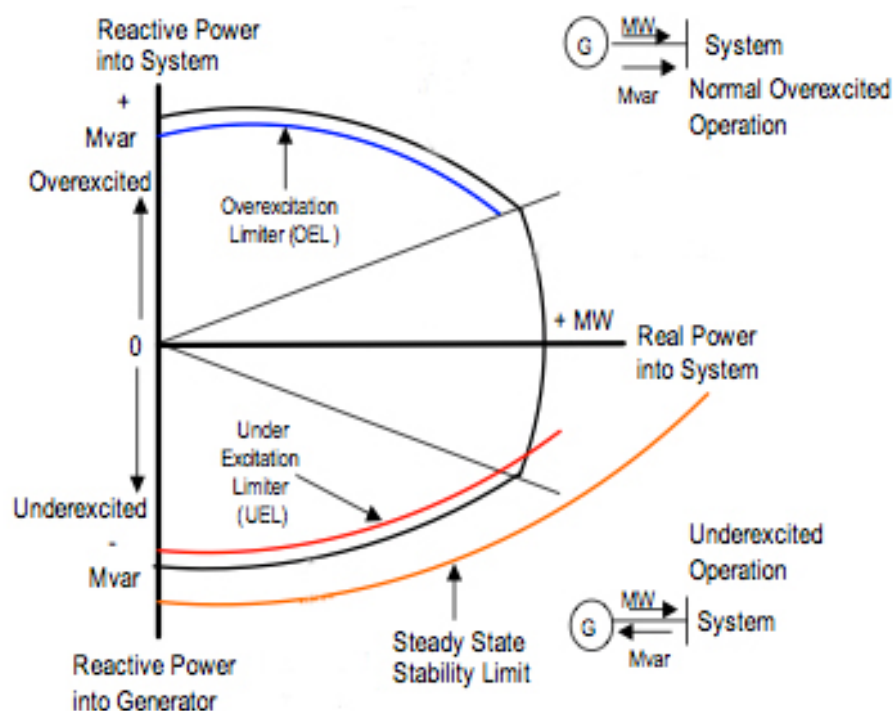
X_s = reaktansi sinkron

Dalam keadaan generator berbeban, terjadi perbedaan antara tegangan terminal (V) dengan tegangan induksi (E_a) atau tegangan ketika generator tidak berbeban. Perbedaan ini diperlihatkan dalam bentuk diagram fasor :



Gambar 2.6 Diagram fasor Faktor Daya satu, Faktor Daya tertinggal, dan Faktor Daya mendahului

Generator menghasilkan daya aktif yang dinyatakan dalam MW dan daya reaktif yang dinyatakan dalam Mvar. Komponen daya aktif (MW) diatur dengan mengatur kopel penggerak / pemutar generator yang disuplai bahan bakar, sedangkan komponen daya reaktif (Mvar) diatur dengan pengaturan arus penguatan (eksitasi) generator. Eksitasi mempunyai peran yang penting dalam mempertahankan ikatan perputaran antara rotor dan stator, hubungan ini tampak melalui kurva kapabilitas generator :

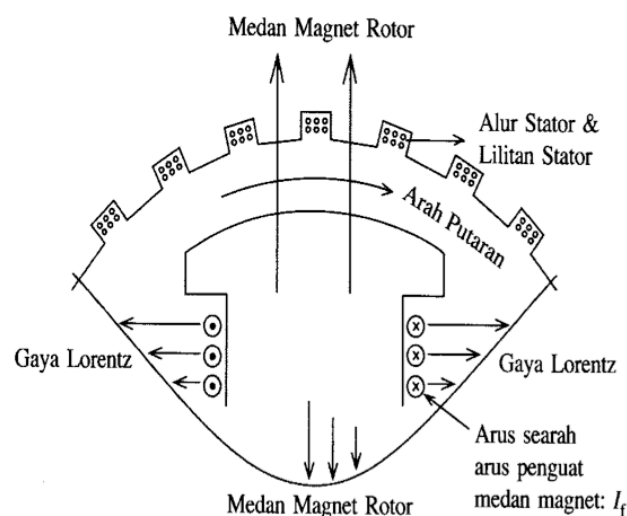


Gambar 2.7 Kurva Kapabilitas Generator

Besarnya suplai eksitasi berpengaruh pada reaksi suatu generator terhadap komponen daya reaktifnya (Mvar). Apabila eksitasi suatu generator besar hingga mencapai batas over eksitasi (OEL) maka daya reaktif (Mvar) akan disuplai oleh

generator menuju sistem, keadaan ini akan memperbaiki kualitas tegangan sehingga memberi dampak yang baik bagi kestabilan sistem. Dilain pihak apabila eksitasinya kecil dan melewati batas under eksitasi (UEL) maka sebuah generator akan bersifat menyerap daya reaktif dari sistem. Hal ini tidak hanya memperburuk kualitas tegangan sistem, namun juga dapat mengakibatkan generator terlepas dari sinkronisasinya. Karena kerugian yang disebut diatas maka keadaan *under excitation* sangat tidak diperbolehkan.

2.5 Sudut Beban & Ayunan Rotor



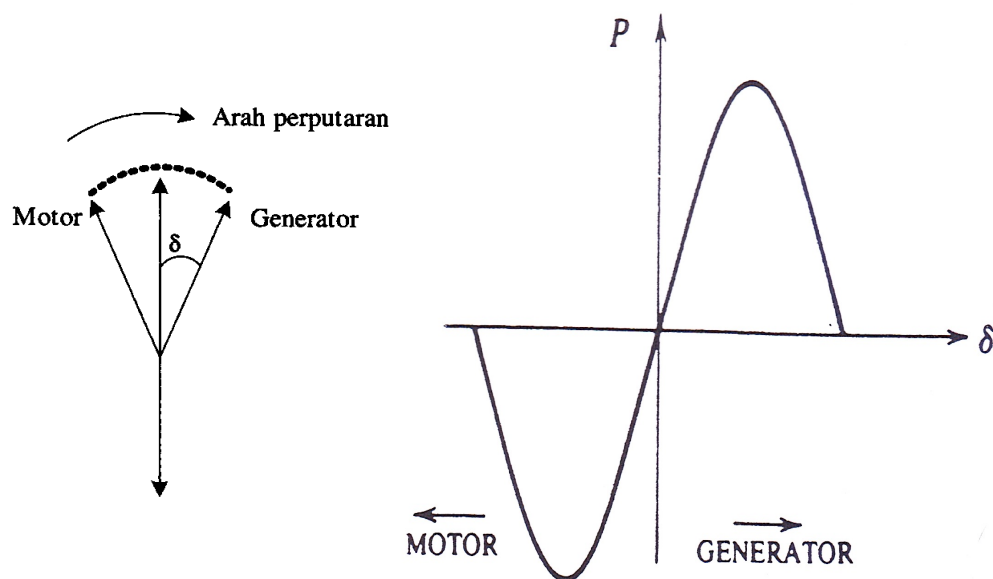
Gambar 2.8 Medan Magnet Dalam Mesin Sinkron

Dalam gambar tampak medan magnet yang dihasilkan kutub magnet yang ada di rotor dan stator generator. Kumparan arus searah dari kutub magnet rotor yang berada dalam medan magnet stator menimbulkan gaya Lorentz pada

kumparan rotor. Torsi yang dihasilkan dari perputaran sinkron berupa fungsi sudut torsi yang kemudian disebut sudut beban dan dilambangkan dengan δ .

Sebuah mesin sinkron dalam kaitannya dengan sudut beban dapat berperan sebagai motor maupun generator. Arah putarannya tidak berubah, namun besarnya sudut beban (δ) yang berubah.

1. Dalam keadaan sebagai motor : medan magnet putar stator lebih dominan sehingga berputar menyeret rotor, posisi rotor menjadi terbelakang dan seolah-olah diseret mengikuti medan magnet dari stator. Keadaan ini menghasilkan kopel. Sehingga nilai sudut beban (δ) negatif.
2. Dalam keadaan sebagai generator : medan magnet rotor lebih dominan sehingga berputar mendahului medan magnet stator dan posisinya cenderung maju, akibatnya gaya Lorentz yang timbul menjadi beban karena lebih besar di bagian belakang rotor. Disini diberikan bantuan kopel pemutar generator. Sehingga nilai sudut beban (δ) positif.



Gambar 2.9 Sudut Beban Dalam Mesin Sinkron

2.6 Terjadinya Ayunan

Dalam keadaan stationer yang ditandai dengan nilai frekuensi generator yang konstan (50 Hz), Torsi mekanik pemutar generator (T_G) besarnya sama dengan Torsi lawan yang dihasilkan beban (T_B).

Torsi pemutar generator (T_G) dihasilkan oleh mesin penggerak mula (Mesin Diesel , Turbin Gas). Torsi lawan yang dihasilkan beban (T_B) dihasilkan dari beban yang dilayani oleh generator. Beban sepanjang waktu selalu berubah-ubah tergantung kebutuhan pemakai tenaga listrik, hal ini menyebabkan nilai (T_G) menjadi tidak sama dengan (T_B). Ketika beban bertambah nilai (T_B) menjadi lebih besar dari nilai (T_G).

Selisihnya (ΔT) = (T_G) – (T_B) menyebabkan perubahan kecepatan putar generator yang diputar oleh mesin penggerak mula. Perubahan kecepatan ini mengikuti hukum Newton untuk rotasi :

$$T_G - T_B = \Delta T = H \times \frac{d\omega}{dt}$$

dimana :

H = Nilai inersia dari bagian-bagian yang berputar dalam sistem , seperti rotor generator dan turbin.

ω = Kecepatan sudut poros generator.

Apabila nilai (ΔT) kecil (yang disebabkan perubahan beban dibawah 5%) maka koreksi nilai frekuensi dilakukan oleh sistem kontrol yaitu governor yang mengatur banyaknya uap / air penggerak turbin yang menghasilkan (T_G).

Apabila terjadi gangguan yang menghasilkan arus gangguan besar dan juga perubahan beban yang besar, maka sistem proteksi akan membebaskan sistem dari gangguan tersebut. Yaitu dengan membuka Circuit Breaker yang terdekat dengan titik gangguan.

Gangguan yang menyebabkan terbukanya Circuit Breaker menimbulkan perubahan nilai (T_B) yang besar. Perubahan nilai (T_B) ini berlangsung cepat (60 ms) sedangkan kecepatan perubahan nilai (T_G) yang diatur oleh sistem control memerlukan waktu hingga beberapa detik. Sehingga nilai ΔT akan menjadi besar dan menimbulkan ayunan yang tercermin dengan ayunan sudut daya pada generator. Ayunan sudut daya generator ini bisa teredam dan hilang, hal ini menggambarkan keadaan yang stabil (ayunan konvergen). Apabila ayunan sudut daya ini membesar dan tidak teredam, maka generator bisa terlepas dari ikatan sinkronnya dengan sistem. Keadaan ini disebut tidak stabil (ayunan divergen).