



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

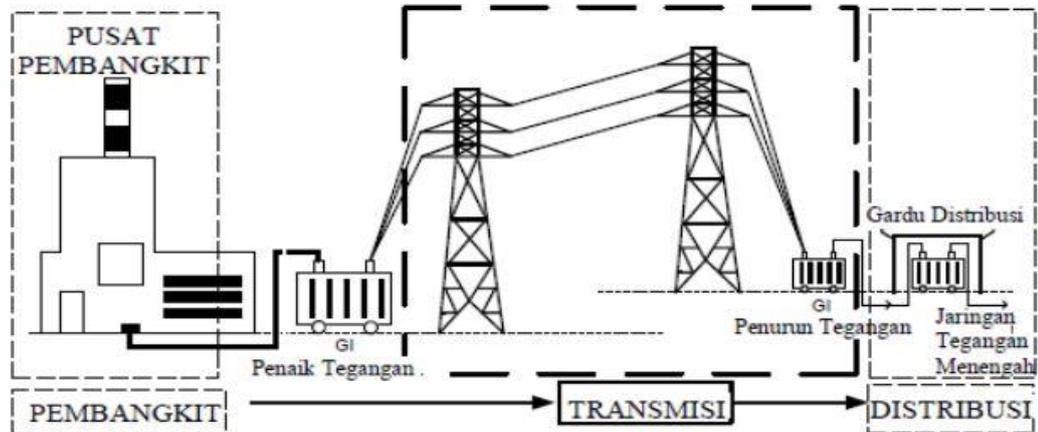
2.1 Umum

Untuk menikmati listrik yang kita gunakan sekarang ini semuanya dimulai dari pembangkit listrik. Pembangkit pada dasarnya adalah generator, generator ini yang memproduksi listrik dan listrik itulah yang dihantarkan oleh jalur transmisi dan distribusi hingga sampai kerumah kita.^[12]

Salah satu cara yang paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energy listrik. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batubara), hidro, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energy mekanik yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa.

Pembangkit listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga, seperti PLTU, PLTD, PLTA, dan lain-lain. Bagian utama dari pembangkit listrik ini adalah generator, yakni mesin berputar yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik.^[12]

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapat tenaga listrik dengan tegangan bolak-balik tiga fasa. Energi mekanik yang diperlukan untuk memutar generator sinkron didapat dari mesin penggerak generator atau biasa disebut penggerak mula (prime mover). Mesin penggerak generator yang banyak digunakan dalam praktik, yaitu: mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas.



Gambar 2.1 Siklus pembangkit tenaga listrik

(Sumber <http://lutro.blogspot.co.id/2012/12/pengertian-transmisi-dan-distribusi.html>)

2.2 Macam-Macam Pembangkit Listrik^[12]

Terdapat berbagai jenis-jenis pembangkit listrik sebagai berikut:

1. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)
Pembangkit listrik ini menggunakan tenaga air sebagai sumber energi primer.
2. Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD)
Pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar minyak atau bahan bakar gas sebagai sumber energi primer.
3. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)
Pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar batu bara, minyak atau gas sebagai sumber energi primer.
4. Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG)
Pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar gas sebagai sumber energi primer.
5. Pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU)
Pembangkit listrik ini merupakan kombinasi dari PLTG dan PLTU. Gas



buang dari PLTG dimanfaatkan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap penghasil uap yang digunakan sebagai penggerak turbin uap.

6. Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP)

Sesungguhnya PLTP adalah PLTU yang tidak mempunyai ketel uap karena uap penggerak turbin uapnya didapat dari dalam bumi.

7. Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN)

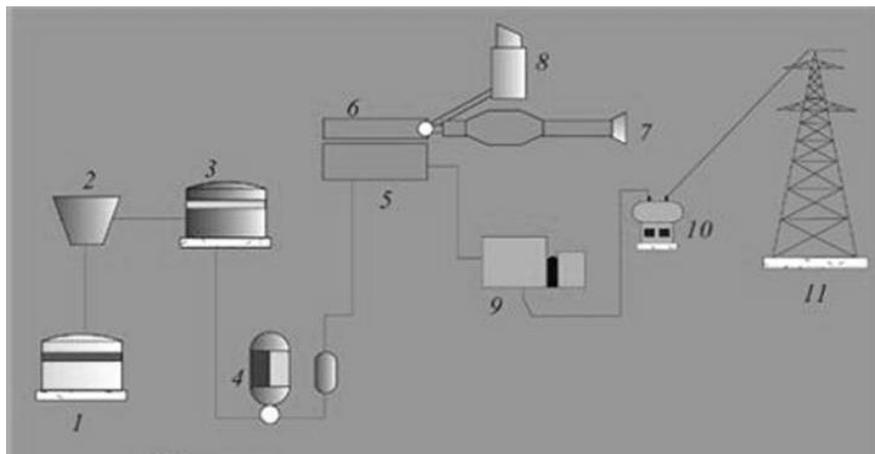
PLTN merupakan PLTU yang menggunakan Uranium sebagai bahan bakar yang menjadi sumber energi primernya. Uranium menjalani proses (*fission*) di dalam reaktor nuklir yang menghasilkan energi panas yang digunakan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap. Uap ini selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin uap penggerak generator.

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ^[3]

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (prime mover). Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator.

PLTD merupakan suatu instalasi pembangkit listrik yang terdiri dari suatu unit pembangkit dan sarana pembangkitan. Mesin Diesel adalah penggerak utama untuk mendapatkan energi listrik dan dikeluarkan oleh generator . Pada mesin diesel energi bahan bakar diubah menjadi energi mekanik dengan proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri. Mesin diesel pada saat ini sudah banyak mengalami perkembangan dalam pemakaian untuk angkutan darat dan laut, kemudian pembangkitan dalam daya kecil dan menengah bahkan sampai daya besar sudah ada yang menggunakannya.

Untuk mempermudah dalam melakukan pemeliharaan mesin diesel para teknisi harus mempunyai dasar-dasar pengetahuan mengenai mesin diesel yang baik, agar setiap melakukan pemeliharaan para teknisi dapat memperlakukan setiap komponen yang berada dalam mesin, sesuai dengan konstruksinya.



Gambar 2.2 Pembangkit listrik tenaga diesel.^[3]

Dari gambar di tersebut dapat kita lihat bagian-bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, yaitu :

1. Tangki penyimpanan bahan bakar.
2. Penyaring bahan bakar.
3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara (bahan bakar yang disaring).
4. Pengabut.
5. Mesin diesel.
6. Turbo charger.
7. Penyaring gas pembuangan.
8. Tempat pembuangan gas (bahan bakar yang disaring).
9. Generator.
10. Trafo.
11. Saluran Transmisi.



2.4 Generator ^[9]

Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dapat berasal dari medan magnet.

Sebagaimana pada mesin arus searah dan mesin asinkron (tak serempak) maka mesin sinkron (serempak) dibagi menjadi dua jenis : ^[4]

1. Generator sinkron (generator serempak/generator arus bolak-balik/alternator yang banyak digunakan pada pembangkit tenaga listrik).
2. Motor sinkron (motor serempak) dapat digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin produksi di Industri yang menghendaki putaran tetap.

Sebagaimana pada generator arus searah, belitan (kumparan) jangkar ditempatkan pada rotor sedangkan belitan medan ditempatkan pada stator, demikian pula untuk generator sinkron untuk kapasitas kecil. Akan tetapi pada generator sinkron yang dipergunakan untuk pembangkitan dengan kapasitas besar, belitan atau kumparan jangkar ditempatkan pada stator sedangkan belitan medan ditempatkan pada rotor dengan alasan :

1. Belitan jangkar lebih kompleks dari belitan medan sehingga lebih terjamin jika ditempatkan pada struktur yang diam.
2. Lebih mudah mengisolasi dan melindungi belitan jangkar terhadap tegangan yang tinggi.
3. Pendinginan belitan jangkar mudah karena inti stator yang terbuat cukup besar sehingga dapat didinginkan dengan udara paksa.
4. Belitan medan mempunyai tegangan rendah sehingga efisien bila digunakan pada kecepatan tinggi.

Bagian-bagian generator :

a Rotor ^[2]

Rotor adalah bagian yang berputar yang mempunyai bagian terdiri dari poros, inti, kumparan, cincin geser, dan sikat-sikat. Rotor terdiri dari rangka yang dibuat dari baja dengan susunan radial, yang lebih kurang menyerupai roda. Pemasangan susunan radial ini dipusatkan dari kabel yang dihubungkan pada tabung generator.



Gambar 2.3 Rotor (sumber: <http://www.electricaleasy.com/2012/12/basic-construction-and-working-of-dc.html>)

b Stator

Stator adalah bagian yang tak berputar (diam) yang mempunyai bagian terdiri dari rangka stator yang merupakan salah satu bagian utama dari generator. Stator biasanya terdiri dari susunan rangka baja yang dipipihkan sebagai inti magnet, yang merupakan kunci dari gulungan diluar batang. Gulungan ini dapat saling menutupi antara satu dengan yang lainnya sesuai dengan perencanaan.



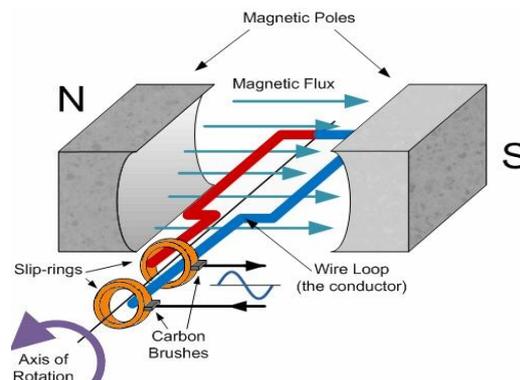
Gambar 2.4 Stator (sumber: <http://pravivefenee.blog.com/2011/11/30/stator-coil-rewinding>)

2.5 Macam - Macam Generator

Macam generator berdasarkan tegangan yang dibangkitkan generator dibagi menjadi 2 yaitu :

2.5.1 Generator arus bolak-balik (AC)

Generator arus bolak-balik yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan keluaran) berupa tegangan bolak-balik.



Gambar 2.5 Generator arus bolak-balik (sumber : <http://artikel-teknologi.com/prinsip-kerja-generator-ac>)

Berdasarkan sistem pembangkitannya generator AC dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Generator 1 fasa

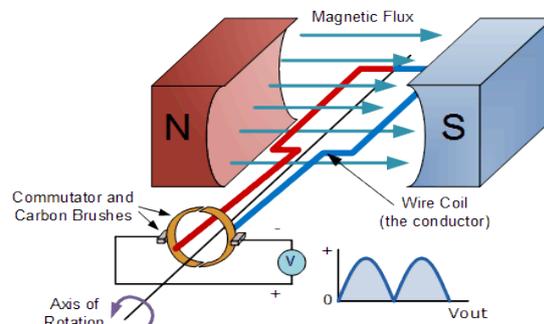
Generator yang dimana dalam sistem melilitnya hanya terdiri dari satu kumpulan kumparan yang hanya dilukiskan dengan satu garis dan dalam hal ini tidak diperhatikan banyaknya lilitan. Ujung kumparan atau fasa yang satu dijelaskan dengan huruf besar X dan ujung yang satu lagi dengan huruf U.

2. Generator 3 fasa

Generator yang dimana dalam sistem melilitnya terdiri dari tiga kumpulan kumparan yang mana kumparan tersebut masing-masing dinamakan lilitan fasa. Jadi pada statornya ada lilitan fasa yang ke satu ujungnya diberi tanda U – X; lilitan fasa yang ke dua ujungnya diberi tanda dengan huruf V – Y dan akhirnya ujung lilitan fasa yang ke tiga diberi tanda dengan huruf W – Z

2.5.2 Generator arus searah (DC) ^[12]

Generator arus searah yaitu generator dimana tegangan yang dihasilkan (tegangan output) berupa tegangan searah, karena didalamnya terdapat sistem penyearahan yang dilakukan bisa berupa oleh komutator atau menggunakan dioda.



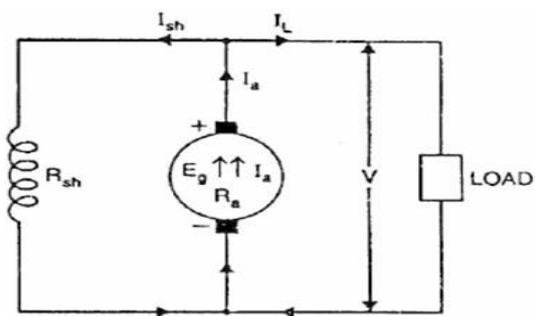
Gambar 2.6 Generator arus searah (sumber:

<http://electronics.stackexchange.com/questions/224256/does-a-dc-toy-motor-emit-ac-when-you-spin-it/224258>)

Berdasarkan penggunaan penguat medan, generator DC ada dua macam, yaitu generator DC tanpa penguat beban dan generator DC dengan penguat beban. Generator DC dengan penguat medan terbagi menjadi dua, yaitu generator DC penguat medan sendiri dan generator DC penguat medan terpisah. Untuk generator sendiri terbagi menjadi menjadi 3 yaitu:

1. Generator shunt^[10]

Ciri utama generator shunt adalah kumparan penguat medan dipasang parallel terhadap kumparan armature.



Gambar 2.7 Generator shunt (sumber: <http://engineering.electrical-equipment.org/electrical-distribution/what-is-an-electric-generator.html>)

Dari gambar 2.7 berlaku persamaan:

$$V_t = I_{sh} \times R_{sh} = I_L \times L \dots \dots \dots (2.1)$$

$$E_a = I_a \times R_a + V_t \dots \dots \dots (2.2)$$

$$E_a = I_a \times R_a + I_{sh} \times R_{sh} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$P_a = E_a \times I_L \dots \dots \dots (2.4)$$

$$P_o = V_t \times I_L \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

I_{sh} = Arus shunt yang mengalir melalui kumparan medan

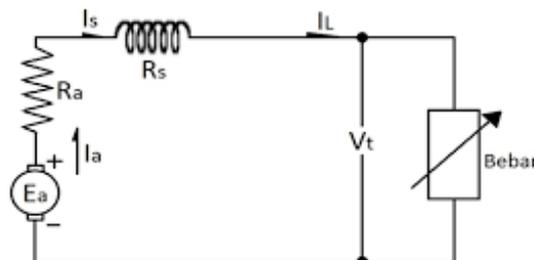
R_{sh} = Tahanan kumparan medan

- L = Beban
- IL = Arus beban
- Ia = Ish + IL
- Pa = Daya Input
- Po = Daya Output

Adapun kelemahan dari generator shunt adalah tenaga atau daya outputnya kecil karena arus penguatnya kecil, tetapi tegangan outputnya satabil.

2. Generator seri

Untuk mendapatkan arus penguat yang besar agar flux magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan menjadi besar, maka diameter kawat kumparan medan dipilih yang besar. Untuk itu, kumparan medan disambung seri dengan hambatan armatur.^[10]



Gambar 2.8 Generator seri (sumber:

<https://ntrux.wordpress.com/2011/04/12/generator-dc-seri>)

Dari gambar 2.8 didapat persamaan:

$$E_a = I_a \times R_a + I_a \times R_{sr} + V_t \dots \dots \dots (2.6)$$

$$P_a = I_a^2 \times (R_a + R_{sr}) + V_t \times I_L \dots \dots \dots (2.7)$$

$$P_a = E_a \times I_a \dots \dots \dots (2.8)$$

$$P_o = V_t \times I_L \dots \dots \dots (2.9)$$

$$I_L = I_a \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

R_{sr} = Tahanan kumparan medan

L = Beban

I_L = Arus beban

P_a = Daya Input

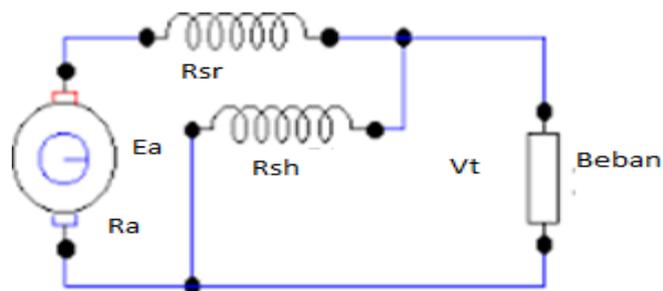
P_o = Daya Output

Kelemahan dari generator seri adalah tegangan outputnya tidak stabil karena arus beban yang berubah-ubah sesuai dengan beban yang dipikul. Kelemahan dari generator seri adalah daya output yang besar.^[10]

3. Generator *compound*

Upaya untuk mengurangi kelemahan yang terjadi pada generator shunt maupun generator seri, dibuatlah generator *compound*. Generator *compound* terbagi menjadi generator *compound* panjang dan generator *compound* pendek.

1. Generator *compound* panjang



Gambar 2.9 Generator *compound* panjang (sumber: http://tonifaridmaulana.blogspot.co.id/2014_10_01_archive.html)

Pada generator *compound* panjang berlaku persamaan:

$$V_t = I_{sh} \times R_{sh} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$E_a = I_a \times R_a + I_a \times R_{sr} + V_t + V_s \dots\dots\dots(2.12)$$

$$P_a = I_a^2 \times R_a + I_a^2 \times R_{sr} + I_a^2 \times R_{sh} + V_t \times I_L + V_s \times I_a \dots\dots\dots(2.13)$$

$$P_o = V_t \times I_L \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

I_{sh} = Arus shunt yang mengalir melalui kumparan medan

R_{sh} = Tahanan kumparan medan

L = Beban

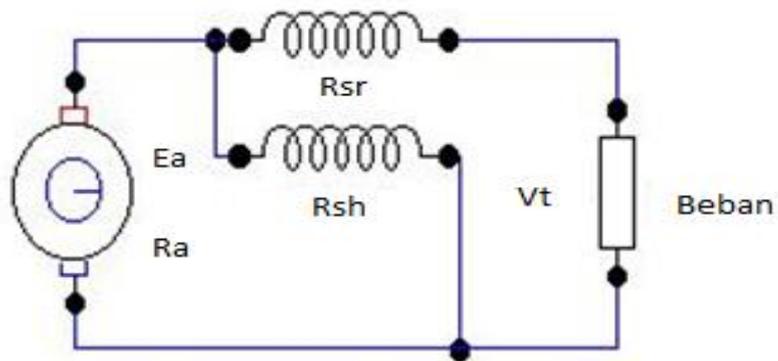
I_L = Arus beban

I_a = $I_{sh} + I_L$

P_a = Daya Input

P_o = Daya Output

2. Generator *compound* pendek



Gambar 2.10 Generator *compound* pendek (sumber: http://tonifaridmaulana.blogspot.co.id/2014_10_01_archive.html)

Pada generator *compound* pendek berlaku persamaan:

$$E_a = I_a \times R_a + V_{sh} + V_s \dots\dots\dots(2.15)$$



$$V_t = I_{sh} \times R_{sh} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$V_{sh} = I_{sh} \times R_{sh} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$P_a = I_a^2 \times R_a + I_a^2 \times R_{sr} + I_a^2 \times R_{sh} + V_t \times I_L + V_s \times I_a \dots\dots\dots(2.18)$$

$$P_o = V_t \times I_L \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

V_s = Jatuh Tegangan pada sikat

$V_s \times I_a$ = Rugi daya pada sikat

$I_a^2 \times R_a$ = Rugi daya pada armature

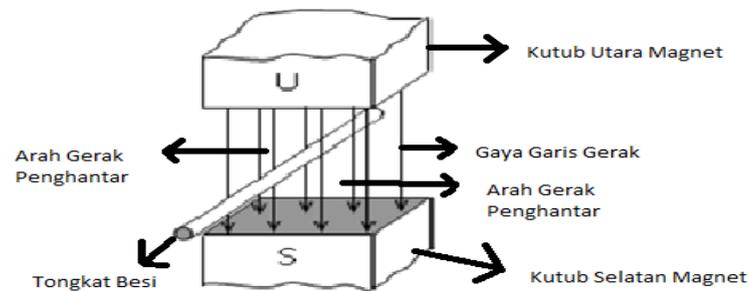
$I_a^2 \times R_{sr}$ = Rugi daya pada kumparan seri

$I_a^2 \times R_{sh}$ = Rugi daya pada kumparan shunt

2.6 Teori Pembangkit Kelistrikan^[5]

2.6.1 Ggl induksi

Jika ujung-ujung sebuah konduktor dihubungkan ke voltmeter yang daerah ukurnya rendah dan konduktor tersebut digerakkan kedalam medan magnet, akan terlihat pertunjukan sesaat pada voltmeter. Ketika konduktor ditarik keluar dari medan, meter akan menyimpang sesaat dalam arah yang berlawanan. Jika konduktor dipegang diam dan magnet digerakkan sehingga medan melintasi konduktor, diperoleh hasil yang sama. Tegangan yang dihasilkan pada terminal voltmeter ketika konduktor digerakkan melalui medan magnet (atau ketika medan magnet digerakkan melintasi konduktor) dikenal sebagai gaya gerak listrik induksi (*induced electromotive force*).

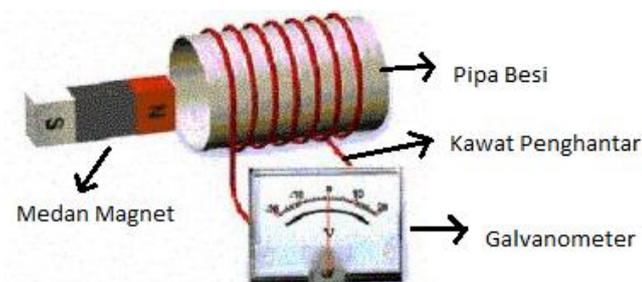


Gambar 2.11 Ggl induksi (sumber:

<https://ab11ae.wordpress.com/category/listrik-arus-bolak-balik/prinsip-terbentuknya-ggl-induksi>)

2.6.2 Hukum induksi faraday

Semua faktor yang ditunjukkan dalam penginduksian ggl, berkaitan dengan laju pemotongan medan magnet oleh suatu konduktor atau laju perubahan jumlah garis gaya yang melalui kumparan. *Apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka ggl diinduksikan dalam kumparan itu. Besarnya ggl yang diinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya yang melalui kumparan.* Ini dikenal sebagai hukum faraday induksi.



Gambar 2.12 Hukum faraday induksi (sumber:

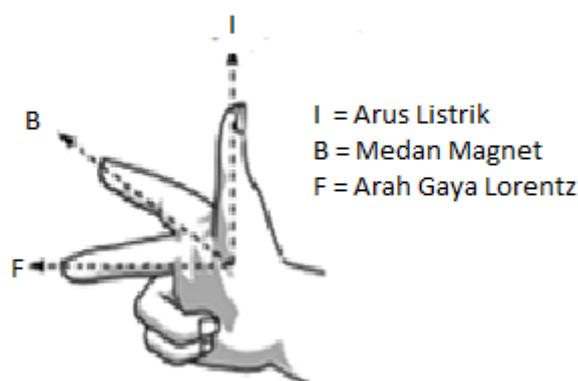
<http://www.zakapedia.com/2013/02/gaya-gerak-listrik-dan-induksi-magnetik.html>)

2.6.3 Hukum induksi lenz

Sesuai dengan hukum faraday, yaitu apabila fluksi yang melalui atau berhubungan dengan rangkaian tertutup diubah, ggl akan diinduksikan dan menyebabkan arus mengalir dalam rangkaian. Arah arus induksi mempunyai hubungan tertentu dengan perubahan medan yang menghasilkannya hubungan ini diwujudkan dalam hokum induksi lenz yang dpat dinyatakan sebagai berikut *Ggl induksi akan menyebabkan arus mengalir dalam rangkaian tertutup dengan arah sedemikian rupa sehingga pengaruh magnetnya akan melawan perubahan yang menghasilkannya.*

2.6.4 Arah ggl induksi

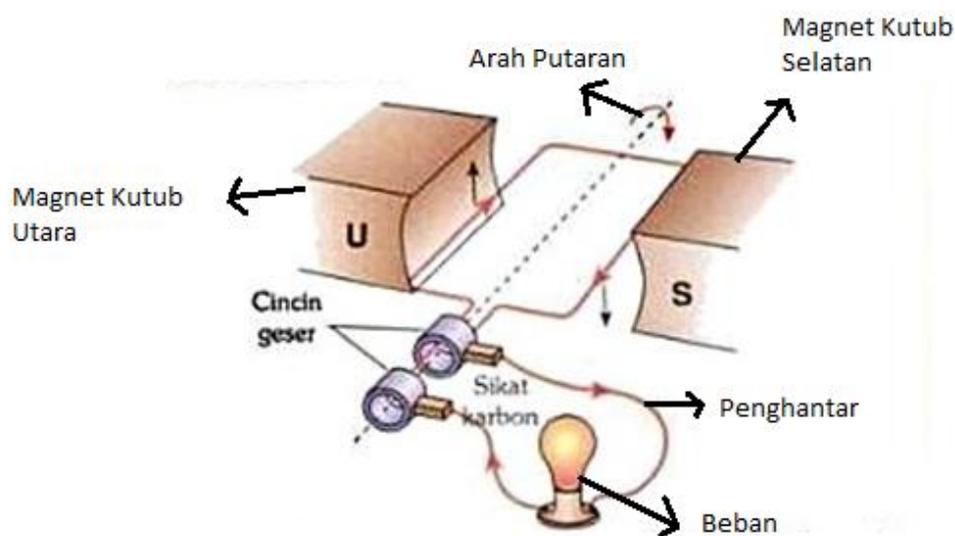
Hubungan arah gerakan, medan, dan ggl induksi diberikan oleh aturan tangan kanan fleming. Kembangkan ibu jari, telunjuk, dan jari tengah tangan kanan tegak lurus sama lain seperti pada gambar 2.13. Arahkan telunjuk sesuai arah medan magnet dan ibu jari sesuai arah gerak konduktor. Maka ibu jari tengah menunjuk arah ggl induksi.



Gambar 2.13 kaidah tangan kanan (sumber: <http://untukku-saja.blogspot.co.id/2015/01/bab-23-induksi-elektromagnetik.html>)

2.7 Prinsip Kerja Generator

Generator mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan mesin induksi sedangkan kumparan medan mesin sinkron berbentuk kutub salient. Jika sebuah kumparan di putar pada kecepatan konstan pada medan magnet, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet bisa dihasilkan oleh kumparan yang di aliri arus DC atau oleh magnet tetap. Pada mesin tipe ini medan magnet diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / external pola generator) yang mana energi listrik di bangkitkan pada kumparan rotor.



Gambar 2.14 Prinsip kerja generator (sumber:

https://carapedia.com/kerja_generator_listrik_info2559.html)

Hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip ring dan karbon sikat, sehingga menimbulkan permasalahan pada pembangkitan daya tinggi. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan tipe generator dengan kutub internal



internal pole generator, yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC di bangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal pada tiga kumparan stator yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut 120° . Bentuk gambaran sederhana hubungan kumparan 3 fasa dengan tegangan yang dibangkitkan.

2.8 Perbaikan dan Pemeliharaan^[6]

Perawatan komponen-komponen dari pembangkitan dan penyaluran daya listrik perlu dilakukan secara berkala sehingga tidak mengganggu kontinuitas pelayanan daya. Karyawan merupakan suatu bagian yang mempunyai peranan penting untuk tercapainya pelayanan yang baik, oleh karena itu perlu diperhatikan keselamatan dan kesejahteraan dari karyawan.

Perawatan terhadap sistem pembangkitan dan distribusi listrik dilakukan untuk meminimalkan gangguan yang mungkin terjadi saat operasional. Perawatan ini dilakukan secara berkala, perawatan ini meliputi :

a. Perawatan mesin diesel.

Pengecekan terhadap mesin dilakukan setiap hari. Perawatan ini meliputi komponen mesin diesel, pelumas, pendingin dan bahan bakar. Khusus terhadap komponen-komponen mesin telah disediakan cadangan untuk mengganti komponen yang rusak atau aus. Minyak pelumas dan filter minyak pelumas setiap 1000 jam operasi mesin harus diganti, untuk itu disediakan sebuah reservoir berupa tangki bawah tanah, dimana berfungsi sebagai penampung minyak pelumas, baik yang masih baru maupun yang pernah dipergunakan.



b. Perawatan generator.

Perawatan generator dilakukan setiap hari, khususnya untuk bagian eksitasi, pengaman, kumparan stator, kumparan rotor, dan bagian pertanahan. Pada saat pemeriksaan juga dilakukan pembersihan debu atau kotoran-kotoran yang menempel pada bagian-bagian generator dengan menggunakan cairan khusus.

c. Perawatan kabel

Perawatan kabel dilakukan dengan memeriksa isolasi kabel-kabel yang terletak dalam panel-panel distribusi dalam waktu satu jam sekali. Pemeriksaan ini bersamaan dengan pencatatan kwhmeter, Voltmeter, dan lain-lain.

2.9 Pengukuran Tahanan Isolasi^[11]

Mengetahui besarnya tahanan isolasi dari suatu peralatan listrik merupakan hal yang penting untuk menentukan apakah peralatan tersebut dapat dioperasikan dengan aman. Secara umum jika akan mengoperasikan peralatan tenaga listrik seperti generator, transformator dan motor, sebaiknya terlebih dahulu memeriksa tahanan isolasinya, tidak peduli apakah alat tersebut baru atau lama tidak dipakai. Untuk mengukur tahanan isolasi digunakan Megger (Mega Ohm Meter). Isolasi yg dimaksud adalah isolasi antara bagian yang bertegangan dengan bertegangan maupun dengan bagian yang tidak bertegangan seperti body / ground. Isolasi mesin yang perlu diuji adalah:

1. Isolasi yang mengisolasi belitan stator dengan badan mesin.
2. Isolasi yang mengisolasi belitan rotor dengan badan mesin.
3. Isolasi yang mengisolasi antar belitan stator.

Pada dasarnya pengukuran tahanan isolasi belitan stator generator adalah untuk mengetahui besar (nilai) kebocoran arus (*leakage current*) yang terjadi pada



isolasi stator generator. Kebocoran arus yang menembus isolasi peralatan listrik memang tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, salah satu cara meyakinkan bahwa generator cukup aman untuk dipakai adalah dengan mengukur tahanan isolasinya. Adapun kebocoran arus dapat dihitung dengan rumus:

$$I = \frac{V(LL)}{IR_{average}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

I = Arus Bocor

VL-L = Tegangan Line ke Line

IR_{rata-rata} = Nilai Rata-Rata Tahanan Isolasi

Kebocoran arus yang memenuhi ketentuan yang ditetapkan akan memberikan jaminan bagi generator itu sendiri sehingga terhindar dari kegagalan isolasi.

Menurut rekomendasi IEEE 43-2000, pada temperature 40°C, resistansi minimum isolasi mesin-mesin listrik yang dibuat sebelum tahun 1970 adalah

$$R_{min} = V + 1 \text{ (megaohm)} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan V adalah tegangan nominal fasa ke fasa dalam kilovolt. Sedangkan resistansi minimum isolasi mesin-mesin listrik yang dibuat setelah tahun 1970 adalah

$$R_{min} = V + 100 \text{ (megaohm)} \dots\dots\dots(2.22)$$

Direkomendasikan juga bahwa resistansi minimum mesin-mesin listrik yang bertegangan nominal dibawah 1 kv adalah ^[11]

$$R_{min} = V + 5 \text{ (megaohm)} \dots\dots\dots(2.23)$$



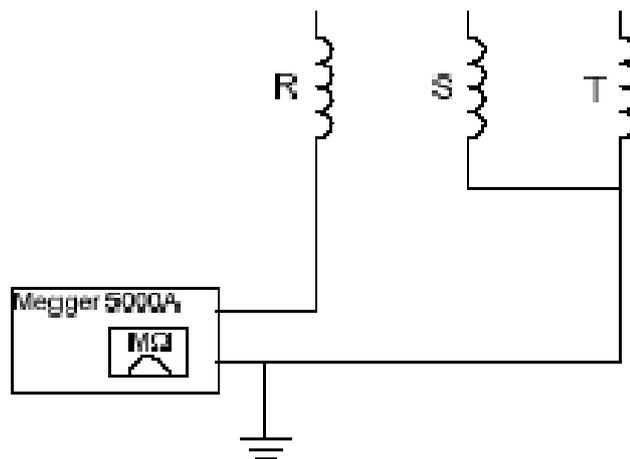
Salah satu jenis pemeliharaan yang dilakukan dalam kegiatan *Combustion Inspection* (CI) yaitu pemeliharaan periodik yang dilakukan setiap 8.000 jam generator beroperasi adalah pemeriksaan stator generator, kegiatan yang dilakukan dapat berupa pengujian tahanan isolasi (*Insulation Resistance Test*) dan *Polarization Index Test*.^[1]

Nilai *Insulation Resistance* (IR) atau tahanan isolasi pada stator diukur pada suhu ruangan 40°C, pengukuran dilakukan dengan cara melepas hubungan way (Y) generator terhadap ground terlebih dahulu. Pengukuran dilakukan pada tiap fasa yaitu fasa R, S, dan T masing-masing di ukur langsung terhadap ground. Sehingga megger yang digunakan yaitu megger fasa terhadap ground.^[1]

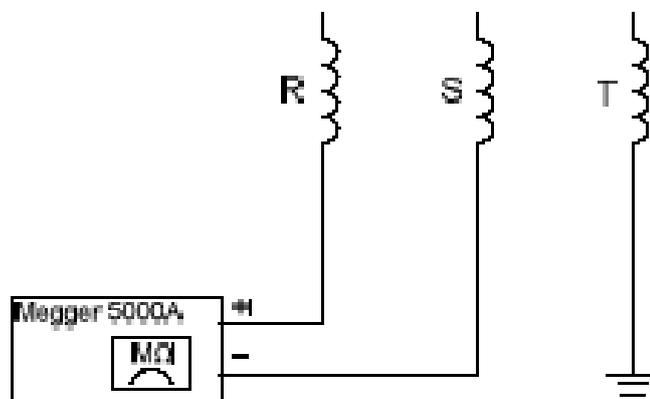
Pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi adanya kelemahan isolasi tahanan. Pengujian isolasi secara rutin dapat dilakukan dengan menggunakan Megger yang pembacaannya langsung dalam megghoms. Tahanan isolasi adalah ukuran kebocoran arus yang melalui isolasi. Tahanan berubah-ubah karena pengaruh temperatur dan lamanya tegangan yang diterapkan pada lilitan tersebut, oleh karena itu faktor-faktor tersebut harus dicatat pada waktu pengujian.

Moisture dapat juga terdapat pada permukaan isolasi, atau pada lilitan. Oleh sebab itu, pengujian dengan megger sebelum dan sesudah mesin dibersihkan harus dilakukan. Jika nilai tahanan tetap rendah dan lilitan relatif bersih, ada kemungkinan adanya moisture pada lilitan, dan lilitan harus dikeringkan sekurang-kurangnya sampai diperoleh tahanan minimum yang dianjurkan.

2.10 Rangkaian Pengukuran Tahanan Isolasi^[1]



Gambar 2.15 Rangkaian Tahanan Isolasi Antarana Fasa Dan Ground.



Gambar 2.16 Rangkaian Tahanan Isolasi Antara Fasa Dan Fasa.

2.11 Perhitungan Nilai Perhitungan Nilai $IR_{rata-rata}$ Pada Setiap Fasa^[8]

Nilai $IR_{rata-rata}$ pada masing-masing fasa dihitung dengan rumus:



$$IR_{rata-rata} = \frac{\sum IR(M\Omega)}{n} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

$IR_{rata-rata}$ = Nilai rata-rata tahanan isolasi

IR = *Insulation Resistance* hasil pengukuran

n = Banyak jumlah data

Dari hasil perhitungan nilai rata-rata *Insulation Resistance* (IR) masing-masing phasa dapat diketahui bahwa nilai tahanan isolasi lilitan stator pada saat sebelum dilakukan pemeliharaan masih dibawah nilai *Insulation Resistance* (IR) minimum yang distandarkan oleh IEEE no 43.

2.12 Perhitungan Nilai *Polarization Index* (PI) Generator

Polarization Index (PI) adalah salah stau cara untuk mengetahui quality winding generator akibat pengaruh lingkungan, seperti penyerapan air, pengotoran debu dan lain-lain.

Dari data hasil pengukuran *Insulation Resistance* (IR) lilitan generator di atas dapat dihitung nilai PI-nya yaitu; pengukuran IR 10 menit dibagi dengan nilai IR pengukuran menit pertama, secara matematis dapat digambarkan sebagai berikut :

$$PI = \frac{\text{Pengukuran IR 10 Menit}}{\text{Pengukuran IR 1 Menit}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana:

PI = *Polariztion Index* (indek polarisasi)

IR 10 Menit = Hasil Pengukuran yang ke 10

IR 1 Menit = Hasil Pengukuran yang ke 1 Menit

Tabel 2.1 Nilai minimum *polarization index* (PI)

Kelas Isolasi	PI Minimum
Kelas A	1.5
Kelas B	2.0
Kelas F	2.0
Kelas H	2.0

Berikut adalah nilai interpretasi dari nilai *Polarization Index* (PI) sebagai acuan untuk menentukan kualitas dari suatu tahanan isolasi pada mesin-mesin listrik:

Tabel 2.2 Nilai interpretasi dari nilai *polarization index* (PI)

Nilai PI	Keterangan
<1.0	Bahaya
1 – 1.5	Buruk
1.5 – 2.0	Diragukan
2.0 – 3.0	Cukup
3.0 – 4.0	Bagus
>4.0	Sangat Bagus

2.13 Megger^[7]

Megger adalah alat untuk mengukur besarnya nilai tahanan isolasi. Jenis megger adalah megger dengan engkol sebagai pembangkit tegangan, Sumber tenaga pada megger jenis ini berasal dari generator pembangkit tenaga listrik yang ada dalam alat ukur ini dan untuk membangkitkannya poros megger harus diputar; dengan alat penunjukan jarum dan megger dengan sumber tenaga dari baterai dan alat penunjukannya berupa jarum juga. Salah satu contoh penggunaan dari alat ukur ini adalah untuk mengukur kemungkinan gangguan lain adalah terjadinya hubung singkat pada belitan antar fasa, antara fasa dengan bodi dan antar belitan pada fasa.



Gambar 2.17 Megger (sumber: <http://www.cetm.com.sg/product/megger-mit515-mit525-mit1025-mit1525-diagnostic-insulation-tester>)



Keterangan :

1. Saklar pilih (*Selector Switch*) : tegangan uji megger, uji tegangan batere dan pemutus pasokan.
2. Tombol Range : pilihan jangkau-batas skala pengukuran.
3. Ω LED indicator : LED nyala hijau = pengukuran benar, LED mati = pengukuaran salah, batere terlalu lemah.
4. LED nyala : pilihan jangkau-batas skala s.d. T Ω (Tera Ohm) terpilih.
5. LED nyala : pilihan jangkau-batas skala s.d. 100 M Ω terpilih.
6. Skrup koreksi : pengaturan (koreksi) posisi jarum penunjuk pada angka 0.
7. Selector switch (saklar pilih) : pengukuran tegangan atau tahanan isolasi.
8. *Analog display* : Papan/plat skala penunjukan.
9. Test Prob (-) : Kabel pengukuran kutub (polaritas) negatif.
10. Test Prob (+) : Kabel pengukuran kutub (polaritas) positif.
11. Tempat penyimpanan jack konektor kabel

Megger dipergunakan untuk mengukur tahanan isolasi dari alat-alat listrik maupun instalasi-instalasi, output dari alat ukur ini umumnya adalah tegangan tinggi arus searah yang diputar oleh tangan Besar tegangan tersebut pada umumnya adalah : 500, 1000, 2000 atau 5000 volt dan batas pengukuran dapat bervariasi antara 0,02 sampai 20 meter ohm dan 5 sampai 5000 meter ohm dan lain-lain sesuai dengan sumber tegangan dari megger tersebut. Dengan demikian maka sumber tegangan megger yang dipilih tidak hanya tergantung dari batas pengukur, akan tetapi juga terhadap tegangan kerja (sistem tegangan) dari peralatan ataupun instalasi yang aka diuji isolasinya. Saat ini telah banyak pula megger yang mengeluarkan tegangan tinggi yang didapatkan dari batere sebesar 8 – 12 volt (megger dengan sistem elektronis).