



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

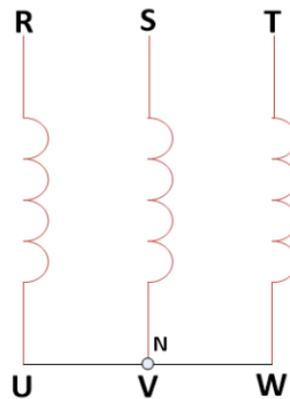
Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu 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 turbin, baik turbin air atau turbin uap dan selanjutnya berproses menghasilkan arus listrik.¹

2.2 Instalasi Listrik Generator

Generator yang umumnya digunakan dalam pusat listrik adalah generator sinkron tiga fasa. Ujung-ujung kumparan stator dari generator sinkron dihubungkan ke penjepit pada generator sehingga ada enam penjepit. Penjepit-penjepit ini umumnya diberi kode R S T dan U V W. Karena umumnya generator sinkron dihubungkan dalam rangkaian Y (wye), maka ketiga penjepit U V W dihubungkan jadi satu sebagai titik netral, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.1. Bagian lain dari instalasi listrik generator adalah instalasi arus penguat (eksitasi). Arus penguat ini didapatkan dari generator arus searah (DC) yang umumnya terpasang satu poros dengan generator utama. Hubungan listrik antara generator utama dengan generator arus penguat dilakukan melalui pengatur tegangan otomatis atau cincin geser. PLTU dan PLTG memerlukan putaran tinggi,

¹ <https://pengertianahli.id/2014/04/pengertian-generator-apa-itu-generator.html>

umumnya menggunakan generator ber kutub dua. Sedangkan PLTA, karena memerlukan putaran rendah, menggunakan generator ber kutub banyak.²



Gambar 2.1 Ujung-ujung kumparan stator generator sinkron

2.3 Generator Sinkron

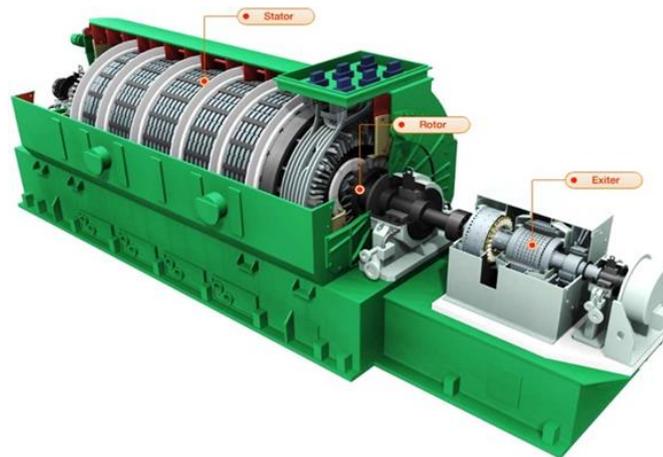
Generator sinkron atau alternator adalah mesin listrik bolak – balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak – balik (*alternating current / AC*). Generator sinkron bekerja dengan cara mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Alasan kenapa alternator ini disebut generator sinkron atau serempak karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan lalu diputar oleh tenaga sumber, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks putar. Fluks putar ini akan memotong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena berpengaruh induksi dari fluks putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.³

² Djiteng Marsudi. *Pembangkitan energi listrik edisi kedua*. 2011 halaman 9

³ Anthony Zuriman, *Mesin Listrik Arus Bolak Balik*, halaman 1

2.3.1 Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik dan rotor adalah bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.



Gambar 2.2 *Komponen penyusun generator dan sistem eksitasi*⁴

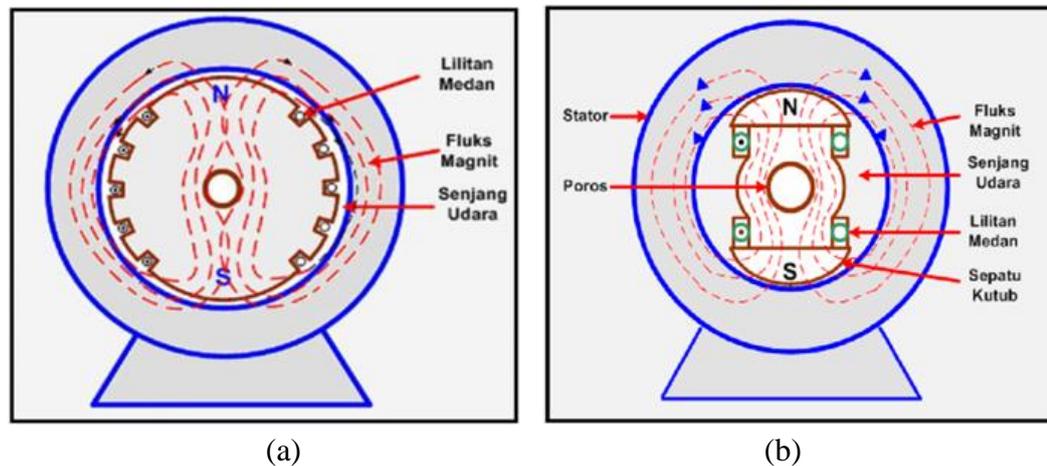
1. Rotor

Pada generator sinkron, arus DC diterapkan pada lilitan rotor untuk menghasilkan medan magnet rotor. Rotor generator diputar oleh *prime mover* menghasilkan medan magnet berputar pada mesin. Medan magnet putar ini menginduksi tegangan tiga fasa pada kumparan stator generator. Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kontruksi rotor terdiri dari dua jenis :

1. Jenis kutub menonjol (*salient pole*) untuk generator kecepatan rendah dan menengah. Kutub menonjol terdiri dari inti kutub dan sepatu kutub. Belitan medan dililitkan pada badan kutub, pada sepatu kutub juga dipasang belitan peredam (*damp winding*). Belitan kutub terbuat dari tembaga, sedangkan badan kutub dan sepatu kutub terbuat dari besi lunak.

⁴ *Pemeliharaan Generator* (<https://rakhman.net/electrical-id/pemeliharaan-generator/> diakses tanggal 3 Juli 2019 pukul 07.14)

Jenis kutub silinder untuk generator dengan kecepatan tinggi terdiri dari alur-alur sebagai tempat kumparan medan. Alur-alur tersebut terbagi atas pasangan-pasangan kutub.⁵



Gambar 2.3 (a) rotor silinder dan (b) rotor kutub tonjol⁶

2. Stator

Stator 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, oleh karena itu komponen ini juga disebut dengan stator. Lilitan armatur generator dalam wye dan titik netral dihubungkan ke tanah. Lilitan dalam wye dipilih karena:

1. Meningkatkan daya output.
2. Menghindari tegangan harmonik, sehingga tegangan line tetap sinusoidal dalam kondisi beban apapun.

Dalam lilitan wye (Y), tegangan harmonik ketiga fasa saling meniadakan, sedangkan dalam lilitan delta tegangan harmonik ditambahkan. Karena hubungan

⁵ Juhari. Generator. 2013 hlm 7

⁶ Sumardjati, Prih. 2001, e-book Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik halaman 429

delta tertutup, maka membuat sirkulasi arus harmonik ketiga fasa sehingga meningkatkan rugi-rugi (I^2R).⁷ Stator terdiri dari beberapa bagian yaitu:

1. Inti stator.

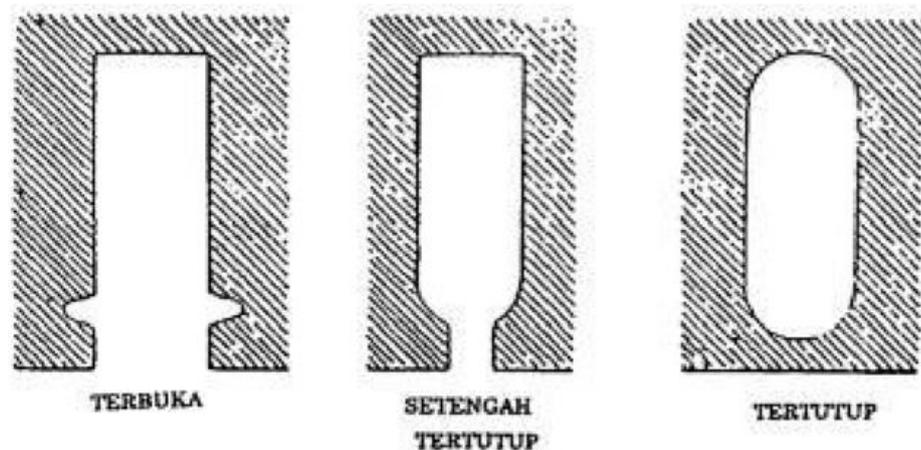
Bentuk dari inti stator ini berupa cincin laminasi-laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy (*eddy current losses*). Pada inti ini terdapat slot-slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnetnya. Untuk menghindari arus pusar dan panas yang timbul,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

2. 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. Alur stator.

Merupakan bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan. Ada tiga bentuk alur stator yaitu alur terbuka, alur setengah terbuka, serta alur tertutup. Ketiga alur tersebut tampak pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Macam alur jangkar pada stator.

4. Rumah stator.

⁷ Zhangischan. *Prinsip Dasar Elektronik*. 2004 halaman 680



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.

2.3.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula atau *prime mover*, lalu kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan arus diberi arus searah, maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya magnet) yang berputar sama cepat dengan putaran kutub. Garis-garis gaya fluks yang berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar pada stator. Sehingga pada kumparan jangkar tersebut timbul EMF (*electro motive force*) atau GGL (Gaya gerak listrik) atau tegangan induksi⁸. Adapun syarat untuk dibangkitkan GGL yaitu : ⁹

1. Harus ada konduktor.
2. Harus ada medan magnetik.
3. Harus ada gerak atau perputaran dari konduktor dalam medan, atau fluksi yang berubah memotong konduktor itu

Untuk frekuensi EMF atau GGL atau tegangan induksi tersebut mengikuti persamaan berikut:

$$f = \frac{p \cdot n}{120} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

f = frekuensi tegangan (Hz)

p = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan putar (rpm)

Oleh karenanya frekuensi dari tegangan induksi di Indonesia telah ditentukan yaitu 50 Hz dan jumlah kutub selalu genap maka putaran rotor, putaran kutub,

⁸ Juhari. Generator. 2013 halaman 13

⁹ Daryanto. *Konsep dasar teknik elektronika kelistrikan*. 2016 halaman 83



putaran pengerak mula sudah tertentu pula. Besarnya tegangan induksi yang dibangkitkan pada kumparan jangkar yang ada pada stator akan mengikuti persamaan 2.2 dibawah.

$$E_a = 4,44. f . \frac{z}{2} . \Phi . K_d \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

E_a = Gaya gerak listrik armatur per-fasa (Volt)

f = Frekuensi output generator (Hz)

M = Jumlah kumparan per phase = ($Z/2$)

Z = Jumlah konduktor seluruh slot per fasa

K_d = Faktor distribusi

Φ = Fluks magnet per kutub per fasa

2.3.3 Reaksi Jangkar Generator Sinkron

Saat generator sinkron bekerja pada beban nol tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator), sehingga yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun jika generator sinkron diberi beban, arus jangkar I_a akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian mempengaruhi fluksi arus medan dan akhirnya menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron. Reaksi ini kemudian dikenal sebagai reaksi jangkar. Pengaruh yang ditimbulkan oleh fluksi jangkar dapat berupa distorsi, penguatan (magnetising), maupun pelemahan (demagnetising) fluksi arus medan pada celah udara. Perbedaan pengaruh yang ditimbulkan fluksi jangkar tergantung kepada beban dan faktor daya beban, yaitu :

1. Untuk beban resistif ($\cos \phi = 1$)

Pengaruh fluksi jangkar terhadap fluksi medan hanyalah sebatas mendistorsinya saja tanpa mempengaruhi kekuatannya (cross magnetising).

2. Untuk beban induktif murni ($\cos \phi = 0$ lag)

Arus akan tertinggal sebesar 90° dari tegangan. Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Dengan kata lain reaksi jangkar akan



demagnetising artinya pengaruh raksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan.

3. Untuk beban kapasitif murni ($\cos \phi = 0$ lead)

Arus akan mendahului tegangan sebesar 90°. Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan sehingga reaksi jangkar yang terjadi akan magnetising artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan.

4. Untuk beban tidak murni (induktif / kapasitif)

Pengaruh reaksi jangkar akan menjadi sebagian magnetising dan sebagian demagnetising. Saat beban adalah kapasitif, maka reaksi jangkar akan sebagian distortif dan sebagian magnetising. Sementara itu saat beban adalah induktif, maka reaksi jangkar akan sebagian distortif dan sebagian demagnetising. Namun pada prakteknya beban umumnya adalah induktif.

2.4 Karakteristik Pembebanan Generator

Karakteristik pembebanan generator sinkron ada dua, yaitu generator tanpa beban dan generator berbeban.

2.4.1 Generator Sinkron Tanpa Beban

Dengan memutarakan generator pada kecepatan sinkron dan rotor dialiri arus medan I_f . maka tegangan E_0 akan terinduksi pada kumparan jangkar stator, dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$E_0 = c \cdot n \cdot \Phi \dots\dots\dots (2.3)^{10}$$

Dimana :

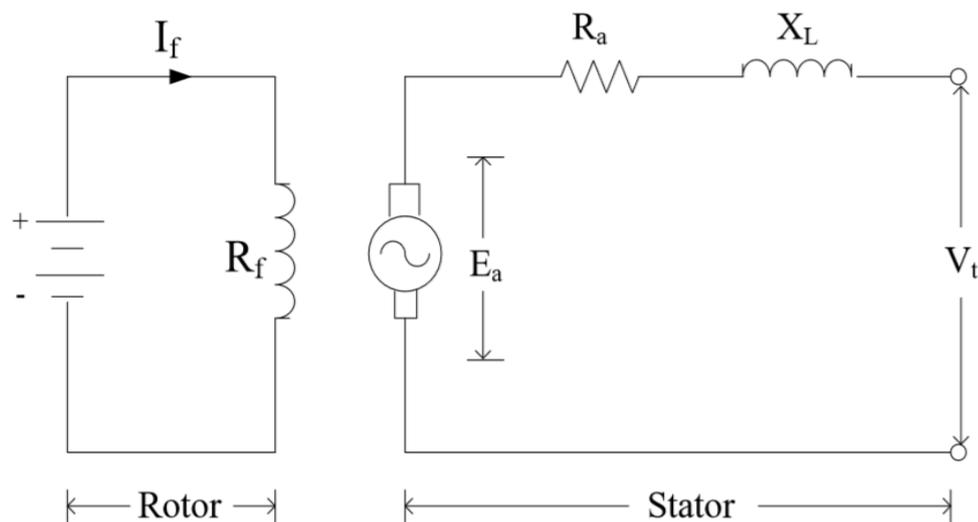
c = konstanta mesin.

n = putaran sinkron.

Φ = fluksi yang dihasilkan oleh I_f .

¹⁰ Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan elektronika daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1988, halaman 132

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat reaksi jangkar. Fluksi hanya dihasilkan oleh arus medan I_f . Apabila arus medan I_f diubah-ubah nilainya akan diperoleh nilai E_0 .

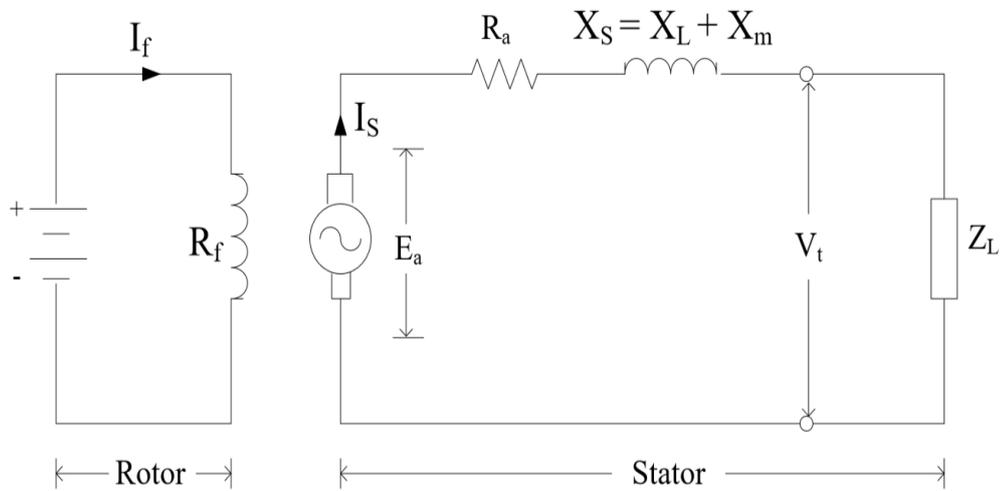


Gambar 2.5 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron Tanpa Beban.¹¹

2.4.2 Generator Sinkron Berbeban

Tiga macam sifat beban generator, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Akibat pembeban ini akan berpengaruh terhadap tegangan beban dan faktor dayanya. Jika beban generator bersifat resistif mengakibatkan penurunan tegangan yang relatif kecil dengan faktor daya sama dengan satu. Jika beban generator bersifat induktif terjadi penurunan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya terbelakang (lagging). Sebaliknya, Jika beban generator bersifat kapasitif akan terjadi kenaikan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya mendahului (leading).

¹¹ Yon Rijono. 2002. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. P Eman : Yogyakarta. Halaman 211



Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron berbeban.¹²

Jika generator sinkron belum berbeban maka ggl E yang dibangkitkan pada kumparan jangkar yang ada di stator sama dengan tegangan terminalnya V. Waktu generator berbeban maka ggl E tersebut tidak sama dengan tegangan V terminalnya, tegangan V pada terminal akan bervariasi karena :

1. Jatuh tegangan (voltage drop) karena resistansi jangkar R_a sebesar $I R_a$.
2. Jatuh tegangan karena reaktansi bocor X_L dari jangkar sebesar $I X_L$.
3. Jatuh tegangan karena reaksi jangkar sebesar $I X_m$.

Reaksi jangkar disebabkan oleh arus beban I yang mengalir pada kumparan jangkar, arus tersebut akan menimbulkan medan yang melawan medan utama sehingga seolah-olah jangkar mempunyai reaktansi sebesar X_m . Reaktansi bocor X_L dan reaktansi karena reaksi jangkar X_a akan menimbulkan reaktansi sinkron sebesar X_s yang mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$X_s = X_L + X_m \dots\dots\dots(2.4)$$

Tegangan pada waktu generator berbeban akan mengikuti persamaan sebagai berikut :

¹² Yon Rijono. 2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik. P Eman : Yogyakarta. Hal 215



$$E = V + I (R_a + j X_m) \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

E = ggl jangkar.

V = Tegangan terminal

I = Arus Beban.

R_a = Reaktansi jangkar

X_m = Reaktansi fluks bocor

X_S = X_L + X_a = Reaktansi Sinkron.

2.5 Rugi – Rugi Generator

Rugi-rugi pada generator sangat tidak diharapkan karena dapat meningkatkan temperature serta dapat mengurangi efisiensi generator apabila nilai dan rugi – rugi ini terlalu besar. Rugi-rugi generator listrik dapat ditemukan dengan cara konvensional, yaitu dengan percobaan beban nol dan percobaan *block rotor*. Pada percobaan beban nol dapat menentukan rugi-rugi rotasi pada generator. Pada keadaan itu seluruh daya listrik input generator digunakan untuk mengatasi rugi-rugi lainnya yaitu rugi inti dan rugi mekanik.

Dalam sistem konversi energi pada pengoperasian generator, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi. Atau :

$$P_{\cdot in} = P_{\cdot out} + P_{\cdot rugi-rugi} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

P_{·in} = Daya yang diterima generator.

P_{·out} = Daya yang dihasilkan generator.

P_{·rugi-rugi} = Total kerugian daya yang dihasilkan oleh generator.



Adapun macam-macam rugi pada generator :

1. Rugi-rugi inti
2. Rugi-rugi Belitan.
3. Rugi-rugi Mekanik.
4. Rugi-rugi *stray load* atau beban yang menyimpang.

2.5.1 Rugi – Rugi Inti

Rugi-rugi inti terjadi pada besi magnetis di dalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeris dan arus pusar atau *Eddy Current*. Rugi-rugi ini tidak bergantung pada beban, namun merupakan fungsi dari fluks dan kecepatan generator. Pada umumnya rugi-rugi inti berkisar antara 20-25 % dari total kerugian daya generator pada keadaan nominal.

Rugi- rugi *Eddy* tergantung pada kuadrat dari kerapatan fluks dan frekuensi. Pada keadaan normal besarnya dapat dirumuskan dengan :

$$P_c = K_c (B_{maks} \cdot f \cdot T)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

P_c = Rugi-rugi arus *eddy*

B_{maks} = Kerapatan fluks maksimum

f = Frekuensi

K_c = Ketetapan pembanding

T = Tebal lapisan

Ragam dari rugi-rugi histerisis dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan secara empiris saja. Persamaannya yang banyak digunakan yaitu :

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{maks} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

P_h = Rugi-rugi histeris

K_h = Ketetapan histeris

B_{maks} = Kerapatan fluks maksimum



Pada mesin induksi, rugi-rugi inti yang terdapat di stator dan rotor hampir boleh diabaikan kerana frekuensi di rotor relatif kecil. Jadi total rugi-rugi inti yaitu :

$$P_{\text{inti}} = P_h + P_i$$

Atau

$$P_{\text{inti}} = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,25 \dots\dots\dots (2.9)$$

2.5.2 Rugi – Rugi Belitan

Rugi belitan sering disebut dengan rugi tembaga. Belitan pada stator terbuat dari kawat aluminium yang biasa disebut dengan rugi-rugi I^2R menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor. Total kerugian I^2R merupakan jumlah dari rugi-rugi I^2R dari stator dan rotor. Rugi-rugi pada belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, namun pada tahanan belitan ketika sedang beroperasi. Untuk menentukan nilai sebenarnya dari tahanan belitan saat kondisi operasi cukuplah sulit. Dikarenakan tahanan efektif dari belitan selalu berubah akibat perubahan temperature, skin effect, dan lain-lain. Pada umumnya rugi-rugi belitan berkisar 55 – 60 % dari total kerugian generator pada keadaan beban nominal.

$$P_b = I^2 \times R \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

P_b = Rugi-rugi belitan

I = arus

R = ketetapan resistansi (Ω)

2.5.3 Rugi - Rugi Mekanik

Rugi-rugi gesekan dan angin digunakan untuk menanggulangi gesekan pada bantalan poros, gesekan sikat melawan komutator atau slip ring, gesekan dari bagian yang berputar terhadap angin terutama pada daun kipas pendingin.



Kerugian energi ini selalu berubah panas seperti rugi-rugi lainnya. Rugi-rugi mekanik biasanya berkisar antara 10 - 15 % dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

$$P_m = P_{\text{rugi-rugi}} \times 0,15 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

P_m = Rugi-Rugi mekanik

2.5.4 Rugi - Rugi *Stray Load*

Kerugian selalu dianggap konstan dari keadaan beban nol hingga beban penuh walaupun kita tahu bahwa rugi – rugi tersebut sebenarnya berubah, secara kecil terhadap beban. Rugi-rugi *stray load* merupakan rugi yang paling sulit diukur dan selalu berubah terhadap perubahan beban generator. Dari semua sumber kerugian yang diketahui maupun yang tidak diketahui disatukan menjadi rugi-rugi *stray load* yang cenderung bertambah besar ketika beban meningkat. Pada umumnya kerugian ini berkisar 5 – 10 % dari total kerugian daya generator pada keadaan beban penuh dan saat keadaan beban nominal 1 – 5 %.

<i>Machine rating Kw</i>	<i>Stray load loss percent of rated load</i>
1 – 90	1.8 %
91 – 375	1.5 %
376 – 1850	1.2 %
1851 and greater	0.9 %

Tabel 2.1 *Persentase rugi-rugi stray load*¹³

$$P_s = \text{Stray load loss percent of rated load} \times P_{\text{out}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana : P_s = Rugi-Rugi *Stray Load*

¹³ *IEEE Standards 112 Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*

2.6 Daya Listrik

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt.

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

P = daya (W)

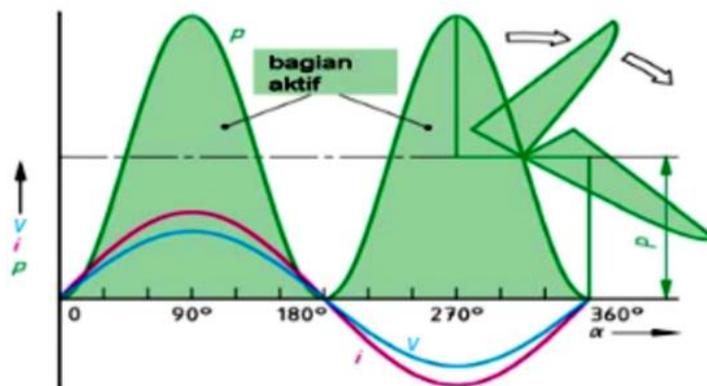
V = tegangan (v)

I = arus (A)

Daya terdiri dari tiga jenis yaitu :

1. Daya aktif (P)

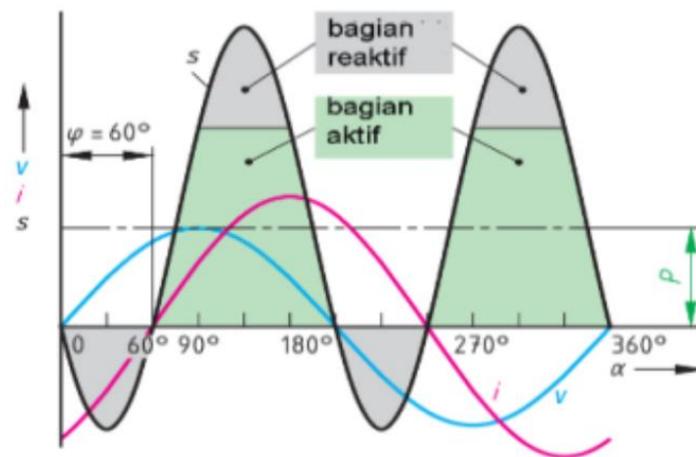
Daya Aktif pada beban yang bersifat resistansi (R), dimana tidak mengandung induktor grafik gelombang tegangan (V) dan arus se-fasa, sehingga besar daya sebagai perkalian tegangan dan arus menghasilkan dua gelombang yang keduanya bernilai positif. besarnya daya aktif adalah P. Sisa puncak dibagi menjadi dua untuk mengisi celah-celah kosong sehingga kedua rongga terisi oleh dua puncak yang mengisinya.



Gambar 2.7 Gelombang daya aktif pada beban yang bersifat resistansi.

Daya aktif pada beban impedansi (Z), beban impedansi pada suatu rangkaian disebabkan oleh beban yang bersifat resistansi (R) dan induktansi (L). Maka gelombang mendahului gelombang arus sebesar ϕ . Perkalian gelombang tegangan

dan gelombang arus menghasilkan dua puncak positif yang besar dan dua puncak 20nductor yang kecil. Pergeseran sudut fasa bergantung seberapa besar nilai dari komponenkonduktornya



Gambar 2.8 Gelombang daya aktif dengan beban impedansi.

Persamaan daya aktif pada beban bersifat impedansi :

$$P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

cos φ = Faktor daya

2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt.Amper Reaktif). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif.

Persamaan daya reaktif :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

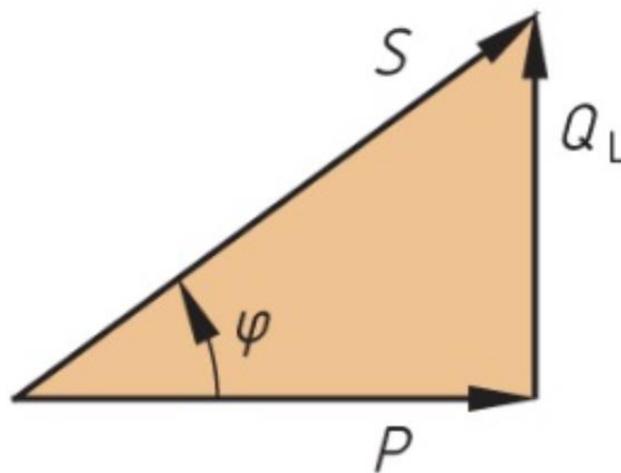
V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

Sin φ = Faktor reaktif

3. Daya Semu (S)

Daya semu (*apparent power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms (V_{rms}) dan arus rms (I_{rms}) dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri antara daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA.¹⁴



Gambar 2.9 Segitiga Daya

¹⁴ *Macam daya listrik* (<https://dukungemblung.blogspot.com/2017/10/daya-listrik-daya-aktif-daya-reaktif.html>)

2.7 Faktor Daya

Faktor daya yang dinotasikan sebagai $\cos \phi$ didefinisikan sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian atau dapat dikatakan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu.

Dalam sistem tenaga listrik dikenal 3 jenis faktor daya yaitu faktor daya unity, faktor daya terbelakang (*lagging*) dan faktor daya terdahulu (*leading*) yang ditentukan oleh jenis beban yang ada pada sistem.

1. Faktor Daya *Unity*

Faktor daya unity adalah keadaan saat nilai $\cos \phi$ adalah satu dan tegangan sephasa dengan arus. Faktor daya Unity akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni. Apabila $\cos \phi$ sama dengan 1, akan menyebabkan jumlah daya nyata yang dikonsumsi beban sama dengan daya semu.

2. Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

- Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif.
- Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut ϕ

Jika arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem.

3. Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

- Beban/ peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif.
- Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut ϕ

arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem.

2.8 Beban Listrik

Beban Listrik adalah segala sesuatu yang ditanggung oleh pembangkit listrik atau bisa disebut segala sesuatu yang membutuhkan tenaga/daya listrik. Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis beban dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Beban resistif (R)

Beban resistif adalah beban listrik pada rangkaian listrik AC, yang diakibatkan oleh peralatan listrik dengan sifat resistif murni, sehingga beban tersebut tidak mengakibatkan pergeseran fasa arus maupun tegangan listrik jaringan.

2. Beban induktif (L)

Beban induktif diciptakan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan generator. 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.

3. Beban kapasitif (C)

Beban kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegangan listrik sesaat.¹⁵

¹⁵ *Macam Beban Listrik* (<http://artikel-teknologi.com/pengertian-beban-resistif-induktif-dan-kapasitif-pada-jaringan-listrik-ac/> diakses tanggal 5 Juli 2019 pukul 23.29)



2.9 Efisiensi Generator

Efisiensi pada generator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Seperti halnya dengan mesin-mesin listrik lainnya, maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan dengan persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.16)^{16}$$

Dimana :

- η = efisiensi (%)
- P_{out} = Daya yang keluar (Watt)
- P_{in} = Daya yang masuk (Watt)

Efisiensi generator dapat didefinisikan sebagai perbandingan keluaran daya generator yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi :

1. Usia. Generator baru lebih efisien.
2. Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi generator meningkat dengan laju kapasitasnya.
3. Kecepatan. Generator dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Pengaruh beban. Generator dirancang beroperasi 50 – 100 % , dan akan paling efisien pada beban 75 %. Namun jika beban turun dibawah 50 % maka akan berdampak pada faktor dayanya. efisiensi generator yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk menjaga biaya rendah.¹⁷

¹⁶ Yon Rijono. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. 2002 Hlm 211-244

¹⁷ Daryanto. 2016. *Konsep dasar teknik elektronika kelistrikan*. Hlm 101