

**ANALISA RUGI-RUGI GENERATOR PENGGERAK
MOTOR DC BELAS 75135-10 P.T BUKIT ASAM TBK**

Muhamad Aldino.S¹, Choirul Rizal²

¹ Mahasiswa Prodi Teknik Elektro Universitas Palembang

² Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang
e-mail : choirulrizal1962@gmail.com

ABSTRAK

Daya yang dibangkitkan oleh Generator pada PLTU P.T. Bukit Asam TBK Tanjung Enim disesuaikan dengan permintaan beban, beban yang diterima oleh generator selalu berubah-ubah tergantung pada kondisi lapangan, karna perubahan beban tersebut akan menghasilkan rugi-rugi daya yang sangat mempengaruhi efisiensi generator turbin uap. Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui besar rugi-rugi daya dan berapa efisiensi generator dari perubahan beban dengan rugi-rugi daya generator. Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode perhitungan secara manual dengan mengumpulkan data pembebanan terendah hingga tertinggi pada logsheet harian generator dan data spesifikasi generator. Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya dari perubahan beban generator menghasilkan rugi-rugi daya output pada generator yaitu sebesar 320,433 KW pada saat beban terendah 2,4 MW dengan efisiensi generator sebesar 88,23% kemudian saat beban tertinggi yaitu 8,9 MW rugi-rugi daya sebesar 321,79 KW menghasilkan efisiensi sebesar 88,18 %.

Kata Kunci: *Perubahan Beban, Rugi-rugi Daya, Generator*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik saat ini merupakan kebutuhan primer pada teknologi sekarang ini, sehingga dibutuhkan suatu sistem pembangkit listrik yang sangat baik dalam penyuplaian energinya. Generator sinkron merupakan mesin listrik yang mengubah energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik. Energi mekanis diberikan oleh penggerak mula, sedangkan energi listrik akan dihasilkan pada rangkaian jangkar. Dengan ditemukannya generator sinkron atau alternator yang bermanfaat dan mudah digunakan yaitu listrik untuk rumah tangga dan industri.

Generator merupakan suatu peralatan utama dalam suatu sistem pembangkit energi listrik. Pada PLTU P.T. Bukit Asam TBK Tanjung Enim, generator mempunyai kapasitas 10 MW setiap unitnya. Rotor generator diputar oleh turbin uap yang berfungsi sebagai prime mover. Energi mekanik pada rotor ini dikonversikan menjadi energi listrik yang nantinya digunakan untuk berbagai macam kebutuhan. Akibatnya generator akan menimbulkan rugi-rugi panas akibat eddy current pada belitan stator/rotor. Panas yang ditimbulkan generator ini dapat mempengaruhi kerja dari generator sehingga dapat menurunkan efisiensi dari generator tersebut. Pada PLTU P.T. Bukit Asam TBK Tanjung Enim^(1,3,6)

II. TINJAUAN PUSTAKA

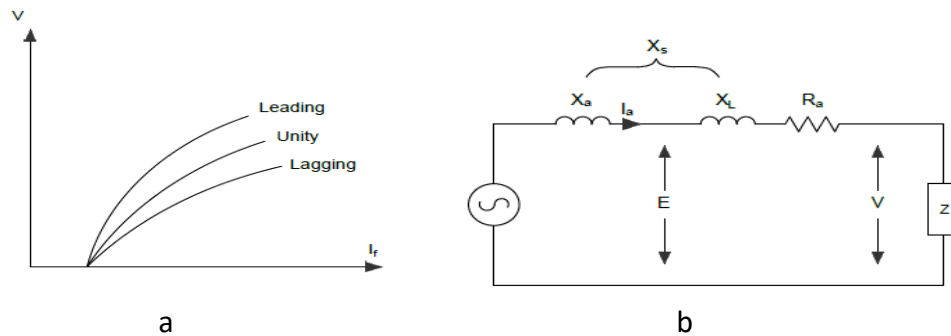
2.1. Generator Sinkron Berbeban

Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V_t akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan adanya :

- jatuh tegangan resistansi jangkar (R_a).

- jatuh tegangan karena reaktansi bocor jangkar (X_L).
- jatuh tegangan karena reaksi jangkar.

Gambar rangkaian dan karakteristik tegangan terminal terhadap arus medan generator sinkron berbeban diperlihatkan pada gambar.1 dibawah ini :



Gambar 1. a) Kurva generator berbeban

b) Rangkaian ekivalen generator berbeban

Persamaan tegangan berbeban adalah

$$E_a = V + I_a R_a + j I_a X_a \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$X_s = X_L + X_a \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- E_a = tegangan induksi pada jangkar per fasa (volt)
- V = tegangan terminal output per fasa (volt)
- R_a = resistansi jangkar per fasa (ohm)
- I_a = arus jangkar (A)
- X_s = reaktansi sinkron per fasa (ohm)
- X_L = reaktansi bocor per fasa (ohm)
- X_a = reaktansi reaksi jangkar per fasa (ohm)

2.2. Faktor yang mempengaruhi pemanasan

Suhu kerja dari suatu generator sangat erat hubungannya dengan usia, karena keausan dari isolasinya merupakan fungsi waktu dan suhu. Keausan merupakan gejala kimiawi yang melibatkan adanya oksidasi lambat dan pengerapuhan yang menyebabkan terjadinya penyusutan mekanis dan kekuatan listrik. Kenaikan suhu juga disebabkan oleh rugi-rugi yang merupakan faktor utama dalam menentukan usia pada generator. Oleh sebab itu pemanasan pada generator harus dibatasi, dan tidak boleh melampaui batas – batas yang telah ditentukan agar usia generator menjadi panjang. Secara garis besar faktor yang mempengaruhi pemanasan atau kenaikan temperatur pada generator sinkron yang sedang beroperasi dapat dipisahkan menjadi tiga bagian adalah :

1. Faktor yang menimbulkan panas, diantaranya rugi-rugi tembaga, rugi-rugi besi dan rugi-rugi gesek dalam hal ini angin.
2. Faktor pendingin, yang mampu mengurangi panas yang timbul.
3. Faktor perpindahan panas antara lain ketebalan isolasi belitan terselubung dan belitan akhir serta konduktifitasnya.

2.3. Rugi-rugi Total

Rugi-rugi total yang terjadi pada generator sinkron terdiri dari rugi-rugi tembaga, rugi besi dan rugi mekanik.

Rugi listrik

Rugi listrik dikenal juga sebagai rugi tembaga yang terjadi di dalam kumparan medan dan kumparan jangkar generator pada saat dibebani, rugi kumparan jangkar sebesar 30 sampai 40% dari rugi total sedangkan rugi kumparan medan sebesar 20 sampai 30% dari rugi total. Karena kawat tembaga kedua kumparan tersebut memiliki nilai resistansi R_f dan R_a , maka jika mengalir arus DC sebesar I_f dan I_a , akan menyebabkan kerugian berupa panas yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_a = I_a^2 \cdot R_a \dots\dots\dots(3)$$

$$P_f = I_f^2 \cdot R_f \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- P_a = rugi tembaga kumparan jangkar
- P_f = rugi tembaga kumparan medan
- I_a = arus jangkar R_a = resistansi jangkar
- I_f = arus medan R_f = resistansi medan

Rugi Besi

Rugi besi disebut juga rugi magnetik yang terdiri dari histeresis dan rugi arus pusar atau arus eddy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan lilitan utama yang memberi tenaga pada generator sinkron rugi ini dialami oleh besi armatur. Maka rugi besi dalam keadaan terbebani ditentukan sebagai harga pada suatu tegangan yang besarnya sama dengan tegangan ukuran yang merupakan perbedaan dari jatuh tahanan ohm armatur pada saat terbebani. Rugi histeris dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan dibawah ini^(4,6,7)

$$P_h = k_h \cdot B_{\max}^\eta \cdot f \cdot v \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- K_h = koefisien histeris
- B = kerapatan flux (Wb/m²)
- η = koefisien steinmantz
- v = volume inti (m³)
- f = frekuensi

Dari persamaan 5 besarnya koefisien steinmantz, kerapatan flux dan volume inti adalah konstan sehingga nilai rugi histeris adalah merupakan fungsi dari frekuensi atau ditulis $P_h = F(f)$. Jadi makin besar frekuensi sinyal tegangan output makin besar rugi histeris yang diperoleh. Adapun rugi arus eddy tergantung kuadrat dari kerapatan fluks, frekuensi dan ketebalan dari lapisan pada mesin normal besarnya dengan persamaan : Dimana K_e = konstanta arus pusar yang tergantung pada ketebalan

laminasi (t) masing-masing lempengan dan volume inti armatur. Oleh karena itu nilai K_e dan B adalah konstan, maka besar kecinya rugi arus pusar adalah tergantung pada frekuensi kuadrat atau ditulis :

$$P_e = K_e B_{\max}^2 \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot v \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$P_e = F(f)^2 \dots\dots\dots(7)$$

Besarnya rugi besi adalah sekitar 20 sampai 30 % dari rugi total saat beban penuh.

Rugi Mekanik

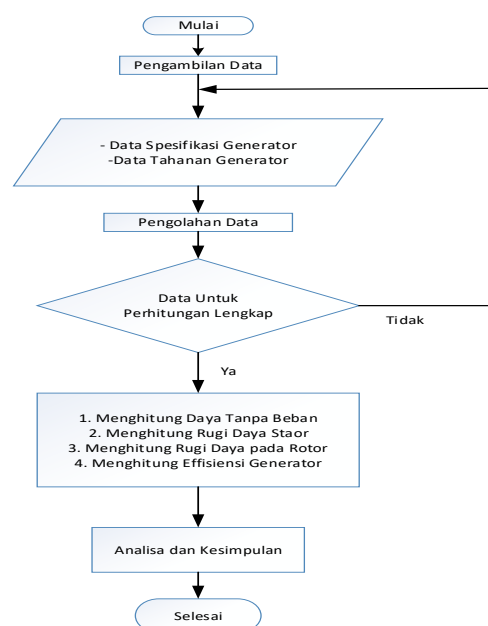
Rugi mekanik merupakan rugi gesek yang terjadi pada pergeseran sikat dan sumbu. Rugi ini dapat diukur dengan menentukan masukan pada mesin yang berkerja pada kecepatan yang semestinya tetapi tidak diberi beban dan tidak di netral, untuk rugi angin atau diebut juga rugi buta akibat adana celah udara antara bagian rotor dan bagian stator, besar rugi mekanik sekitar 10 sampai 20 % dari rugi total pada beban penuh.

Rugi-rugi beban tersebar

Rugi ini terdiri atas rugi-rugi yang timbul karena pembagian arus tak seimbang pada tembaga dan rugi inti besi tambahan yang dihasilkan pada besi karena gangguan pada fluks magnetik oleh arus beban. Besar rugi tersebar ini sebesar $\pm 1 \%$ dari beban penuh.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis melakukan obserpasi pengumpulan data di sistem kelistrikan yang diteliti , melakukan analisa data berdasarkan perhitungan dengan teori yang berhubungan dengan masalah Perhitungan besarnya kerugian Daya pada generator saat dibebeani. serta menyimpulkan hasil akhir dari penelitian ini. Seperti pada Diagram Alir dibawah ini



Gambar 1 Diagram Alir

IV. PEMBAHASAN

4.1. Pengolahan Data

Generator Turbin PLTU P.T. Bukit Asam TBK Tanjung Enim adalah Generator Merk Harbin Electric Machenering QFSN32 3 fasa mempunyai kapasitas 12,5 MVA atau 10 MW pada faktor kerja 0.8 dengan tegangan 6,3 KV, Frekuensi 50 Hz pada putaran 3000 rpm, jumlah fasa 3 terhubung bintang menggunakan jenis eksiter tanpa sikat (*Brushless System*).

Daya yang dibangkitkan oleh generator disesuaikan dengan permintaan beban, beban yang diterima oleh generator selalu berubah-ubah tergantung pada kondisi lapangan, karena perubahan beban tersebut akan menghasilkan rugi-rugi daya yang sangat mempengaruhi efisiensi generator turbin gas, Untuk itu maka penulis melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besar rugi-rugi daya dan berapa efisiensi generator dari perubahan beban dengan rugi-rugi daya generator.

4.2. Data Generator

Generator	: QFSN32
Merk	: Harbin Electric Machenering
Daya Aktif	: 10 MW
Daya Semu	: 12,5 KVA
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan / Fasa	: 6,3 KV / 3
Rpm	: 300

Tabel.1. Data kenaikan Beban pada Generator

No	P	Teg	Jangkar		Medan	
			Arus	Suhu	Arus	Suhu
	MW	V	A	°C	A	°C
1	2,4	5,70	167	50,6	16,4	59,2
2	3,0	5,72	199	54,4	16,8	62,6
3	3,6	5,76	252	51,2	17,6	59,2
4	4,2	5,80	295	50,5	18,0	59,6
5	4,8	5,82	329	52,7	18,5	59,9
6	5,4	5,85	356	52,1	18,4	60,3
7	6,1	5,90	413	54,1	19,3	63,0
8	6,4	6,14	418	53,8	19,3	64,0
9	8,3	6,16	570	52,8	21,5	63,7
10	8,9	6,20	599	57,9	22,1	67,4

Tabel.2. Data Tahanan Generator

Data	Tahana (Ω)	Suhu °C
Stator	0,0035	22
Rotor	0,350	21

4.3. Analisa Data

Perhitungan Rugi daya Output Pada Generator

Rugi daya output terdiri dari rugi tanpa beban karna jerat histerisis, arus pusar (Ph) dan rugi-rugi yang tergantung dari beban seperti rugi belitan medan, belitan tembaga, dan rugi sikat, karna eksitasi generator yang digunakan adalah *Brussless* maka rugi pada sikat di abaikan. Untuk perhitungan rugi tanpa beban penulis menghitung dengan efisiensi generator sebesar 96 % untuk mendapatkan daya

input generator agar mengetahui rugi generator sebelum dihubungkan beban, maka daya input generator dapat dihitung dengan Persamaan

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta}$$

$$P_{in} = \frac{10.MW}{0,96}$$

$$= 10,42 \text{ MW}$$

Jadi Pin Generator adalah 10,42 MW, sehingga dapat dihitung rugi total dayanya :

$$\sum P_{ugi} - rugi = P_{in} - P_{out}$$

$$= 10,42 \text{ MW} - 10 \text{ MW}$$

$$= 420 \text{ KW}$$

Kemudian rugi daya tersebut dikurangi dengan rugi daya jangkar dan medan saat daya output generator rangkaian hubung singkat dan rangkaian terbuka, sehingga rugi tanpa beban dapat dihitung dengan Persamaan Berikut:

$$P_{tanpa \text{ beban}} = \sum P_{rugi} - (3 \times I_a^2 \times R_a + I_f \times R_f)$$

$$= 420 \text{ KW} - (22,118 \text{ KW} + 77,430 \text{ KW})$$

$$= 320 \text{ KW}$$

Jadi rugi daya tanpa beban adalah 320 KW.

Untuk menghitung rugi tembaga akan dihitung pada saat beban 2,4 MW parameternya dapat dilihat pada Tabel 4.2 , rugi tembaga akan dihitung pada jangkar stator, hambatan jangkar terlebih dahulu dikonversikan ke suhu pada beban 2,4 MW dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$R_t = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \times R_0$$

$$R_t = \frac{1 + 0,004 \times 50,6}{1 + 0,004 \times 22} \times 0,0035$$

$$= 0,0039 \Omega$$

Besarnya rugi jangkar adalah

$$P_s = 3 \times I_s^2 \times R_s$$

$$= 3 \times 1672 \times 0,0039$$

$$= 326,30 \text{ Watt} = 0,326 \text{ KW}$$

Jadi rugi total daya jangkar pada beban 2,4 MW adalah 0,326 KW. Maka perhitungan rugi medan pada beban 2,4 MW, terlebih dahulu mengkonversi nilai hambatan nya ke suhu 59,2 °C adalah :

$$R_{m \text{ total}} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \times R_m$$

$$= \frac{1 + 0,004 \times 59,2}{1 + 0,004 \times 21} \times R_m$$

$$= 0,40068 \Omega$$

Menghitung Rugi Medan :

$$P_m = I_m^2 \times R_m$$

$$= 16,42 \times 0,40068$$

$$= 107,767 \text{ Watt}$$

$$= 0,107 \text{ KW}$$

Jadi rugi daya medan pada beban 2,4 MW adalah 0,107 KW. Setelah mendapatkan rugi daya P tanpa beban, rugi jangkar dan rugi medan dapat dihitung. Total besar rugi-rugi daya dapat ditentukan dengan rumus sbb:

$$\begin{aligned}\sum P_{rugi} &= P_{\tan pa.beban} + 3 \times I_a^2 \times R_a + I_f \times R_f \\ &= 320 + 0,326 \text{ KW} + 0,107 \\ &= 320,433 \text{ KW}\end{aligned}$$

Jadi rugi daya medan pada beban 2,4 MW adalah 0,107 KW

Maka besar efisiensi daya generator adalah:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Output}}{\text{Output} + \text{losses}} \times 100\% \\ &= \frac{2400 \text{ KW}}{2400 + 320,433} \times 100\% \\ &= 88,22 \%\end{aligned}$$

Untuk perubahan beban yang lain dapat dilakukan perhitungan dengan cara yang sama. Untuk menghitung rugi tembaga akan dihitung pada saat beban terbesar 8,9 MW parameternya dapat dilihat pada Tabel .2 , rugi tembaga akan dihitung pada jangkar stator, hambatan jangkar terlebih dahulu dikonversikan ke suhu pada beban 8,9 MW dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$\begin{aligned}R_t &= \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \times R_0 \\ R_t &= \frac{1 + 0,004 \times 57,9}{1 + 0,004 \times 22} \times 0,0035 \\ &= 1,13 \Omega\end{aligned}$$

Besarnya rugi jangkar adalah

$$\begin{aligned}P_s &= 3 \times I_s^2 \times R_s \\ &= 3 \times 5992 \times 1,13 \\ &= 1216,3 \text{ Watt} = 1,2163 \text{ KW}\end{aligned}$$

Jadi rugi total daya jangkar pada beban 8,9 MW adalah 1,2163 KW. Maka perhitungan rugi medan pada beban 8,9 MW, terlebih dahulu mengkonversi nilai hambatan nya ke suhu 67,4 °C adalah :

$$\begin{aligned}R_{m \text{ total}} &= \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \times R_m \\ &= \frac{1 + 0,004 \times 67,4}{1 + 0,004 \times 21} \times R_m \\ &= 1,17 \Omega\end{aligned}$$

Menghitung Rugi Medan :

$$\begin{aligned}P_m &= I_m^2 \times R_m \\ &= 22,12 \times 1,17 \\ &= 571,44 \text{ Watt} \\ &= 0,57144 \text{ KW}\end{aligned}$$

Jadi rugi daya medan pada beban 8,9 MW adalah 0,57144 KW. Setelah mendapatkan rugi daya P tanpa beban, rugi jangkar dan rugi medan dapat dihitung. Total besar rugi-rugi daya dapat ditentukan dengan rumus sbb:

$$\begin{aligned}\sum P_{rugi} &= P_{\tan pa.beban} + 3 \times I_a^2 \times R_a + I_f \times R_f \\ &= 320 + 1,2163 \text{ KW} + 0,57144 \\ &= 321,79 \text{ KW}\end{aligned}$$

Jadi rugi daya medan pada beban 8,9 MW adalah 0,57144 KW

Maka besar efisiensi daya generator adalah:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Output}}{\text{Output} + \text{losses}} \times 100\% \\ &= \frac{2400 \text{ KW}}{2400 + 321,79} \times 100\% \\ &= 88,18 \%\end{aligned}$$

V. PENUTUP

Dari analisa dan perhitungan yang telah dilakukan maka hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa besar rugi-rugi daya output pada generator yaitu sebesar 320,433 KW pada saat beban 2,4 MW dan efisiensi didapat sebesar 88,23 % untuk beban terendah dan untuk beban tertinggi rugi dayanya 321,79 saat beban 8,9 MW dengan efisiensi 88,18 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zuhail. 1998. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [2] Indriani, Kiki. 2021. Analisa Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Sinkron 3 Fasa 18 MW Pada PLTMG SUMBAGUT-2 PEAKER. (Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro).
- [3] Kadir, Abdul. 1999. Mesin Sinkron. Jakarta: Djambatan
- [4] Hidayat, Taufik. 2021. Studi Pengaruh Penggunaan Automatic Voltage Regulator Terhadap Sistem Eksitasi Generator Sinkron Di PLTMG SUMBAGUT 2 PEAKER. (Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro).
- [5] Rijono, Yon. 2004. Dasar Teknik Tenaga Listrik. (Edisi Revisi). Yogyakarta: ANDI.
- [6] Siagian, Agus, 2010. Analisis Efisiensi Daya Listrik Pada Generator Pembangkit Listrik Di PT PLN Persero Paya Pasir Medan. Medan: Departemen Fisika Universitas Sumatera Utara.
- [7] Chapman, Stephen J. 2012 “*Electric Machinery Fundamentals 5th ed*”, New York.
- [8] Surbakti, Endrawan. 2016 “Analisa Efektivitas Pendingin Rotor Generator Dengan gas Hidrogen”. Skripsi, Departemen Teknik Elektro FT USU: Medan.