

ANALISA HILANG DAYA PADA GENERATOR SINKRON 3 FASA (6.6 KV) 11 MVA TYPE 1DT4038 – 3EE02 – Z

Rahmat Septiyan ¹, Mayda Waruni Kasrani ², Bambang Sugeng ³

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan
Jln. Pupuk Raya Gn. Bahagia Balikpapan 76114 INDONESIA

³ Sekolah Tinggi Teknologi Migas- Balikpapan

email : tianrahmat09@gmail.com

Abstract— The loss of power in a 3 phase synchronous generator is caused by losses on the generator consisting of copper loss, mechanical loss, core loss and stray load loss. power loss analysis on the 3 phase synchronous generator is carried out to measure the ability or performance of the generator to the load. The method used is qualitative and calculations with mathematical analysis based on measurements or data obtained. the total loss of power at the generator from the calculation is at a 25% load of 172,218 kilowatts, a 50% load of 190,102 kilowatts, a 75% load of 218,393 kilowatts and a 100% load of 257.56 kilowatts. and with a value of power output at a 25% load of 2,110 kilowatts, a 50% load of 4,398 kilowatts, a 75% load of 6,598 kilowatts and a 100% load of 8,797 kilowatts. the percentage of efficiency or performance on the generator is 92.4% at 25% load, 95.8% at 50% load, 96.7% at 75% load and 97.1% at 100% load.

Intisari— Hilangnya daya pada generator sinkron 3 fasa disebabkan oleh rugi-rugi pada generator yang terdiri rugi tembaga, rugi mekanik, rugi inti dan rugi beban hilang. analisis hilangnya daya pada generator sinkron 3 fasa dilakukan untuk mengukur kemampuan atau performa dari generator terhadap beban. metode yang digunakan adalah kualitatif dan perhitungan dengan analisis matematis berdasarkan pengukuran ataupun data yang diperoleh. total hilangnya daya pada generator dari perhitungan adalah pada beban 25% sebesar 172,218 kilowatt, beban 50% sebesar 190,102 kilowatt, beban 75% sebesar 218,393 kilowatt dan beban 100% sebesar 257,56 kilowatt. dan dengan nilai *output* daya pada beban 25% sebesar 2.110 kilowatt, beban 50% sebesar 4.398 kilowatt, beban 75% sebesar 6.598 kilowatt dan beban 100% sebesar 8.797 kilowatt. persentasi efisiensi atau performa pada generator adalah 92,4 % pada beban 25 %, 95,8 % pada beban 50%, 96,7% pada beban 75 % dan 97,1 % pada beban 100 %.

Kata Kunci— Generator Sinkron, rugi-rugi, hilangnya daya, *output* daya, efisiensi.

I. PENDAHULUAN

Generator sinkron atau yang dikenal dengan generator arus bolak-balik atau *alternator* yang banyak digunakan pada pembangkit tenaga listrik. Generator ini digerakkan oleh sebuah turbin yang merupakan suatu alat untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik.

Permasalahan pada generator sinkron 3 fasa ini menimbulkan rugi-rugi yang terjadi didalam mesin atau generator yang berakibat hilang daya pada generator tersebut. hilang daya pada generator adanya proses perubahan energi yang berawal dari enegi mekanik menjadi energi listrik. Hilangnya daya disebabkan oleh rugi-rugi mekanik, rugi-rugi listrik, rugi-rugi beban hilang dan rugi-rugi inti pada saat generator berputar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Generator sinkron disebut juga sebagai alternator dan umumnya merupakan mesin listrik 3 fasa. Generator termasuk jenis mesin serempak (mesin sinkron) dimana frekuensi listrik yang dihasilkannya sebanding dengan jumlah kutub dan putaran yang dimilikinya. Generator AC banyak dijumpai pada pusat-pusat listrik (dengan kapasitas yang relatif besar) misalnya pada PLTA, PLTU, PLTD, PLTN, PLTG dan lain-lain. Mesin penggerak nya berasal dari tenaga air, tenaga uap, mesin diesel dan sebagainya. [1]

Pertimbangan-pertimbangan hal yang didasarkan pada generator AC antara lain : [1]

- Timbulnya masalah komutasi pada generator DC.
- Timbulnya persoalan dalam hal menaikkan/menurunkan tegangan pada listrik DC. Hal ini menimbulkan persoalan untuk hantaran dalam pengiriman tenaga listrik, masalah penampang kawat, rugi-rugi dan sebagainya.
- Listrik AC relatif lebih mudah untuk diubah menjadi listrik DC.
- Masalah efisiensi mesin dan lain-lain pertimbangan.

Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkar berbentuk sama dengan mesin induksi sedangkan kumparan medan mesin sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (*rotor silinder*). Arus searah (*dc*) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin. [2]

Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan ditimbulkan medan putar pada stator. Kutub medan rotor yang diberi penguat arus searah mendapat tarikan dari kutub medan putar stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama (*sinkron*). [2]

Frekuensi EMF atau tegangan induksi mengikuti persamaan : [3]

$$f = \frac{PN}{120} \text{ Hz} \quad (1)$$

Konstruksi mesin atau generator sinkron sama hal nya dengan mesin induksi yang terdiri dari : [3]

- a. Stator adalah bagian dari mesin yang diam dan berbentuk silinder.
- b. Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar juga berbentuk silinder.

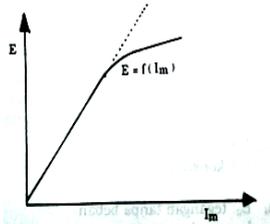
Konstruksi pendukung yang terdapat pada mesin atau generator sinkron antara lain : [1]

- a. Slip ring atau cincin geser.
Dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.
- b. Generator penguat.
Suatu generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus.

Eksitasi pada generator adalah proses penguatan medan magnet dengan cara memberikan arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor. sesuai dengan prinsip elektromagnetik yaitu apabila suatu konduktor berupa kumparan dialiri listrik arus searah maka kumparan tersebut akan menjadi magnet sehingga akan menghasilkan fluks-fluks magnet. jika menggunakan sumber listrik listrik yang berasal dari generator AC atau menggunakan *permanent magnet generator* (PMG), medan magnetnya adalah magnet permanen. [1]

Karakteristik tanpa beban menggambarkan hubungan antara tegangan jepit sebagai fungsi dari arus kemagnetan dimana generator dalam keadaan tanpa beban dan putara tetap. [1]

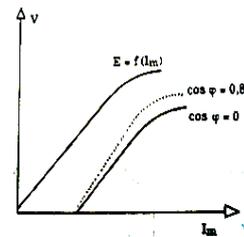
$$E_0 = f(I_m), I = 0, n = \text{konstan} \quad (2)$$



Gambar 1. karakteristik tanpa beban

Karakteristik berbeban dari suatu generator merupakan penggambaran dari hubungan antara tegangan jepit (V) sebagai fungsi arus kemagnetan (Im), dimana beban generator tetap dan jumlah putaran tetap. [1]

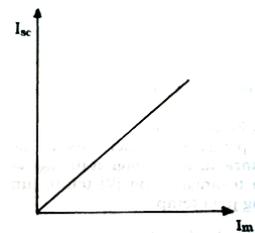
$$V = f(I_m), Z_L = \text{konstan}, n = \text{konstan} \quad (3)$$



Gambar 2. karakteristik berbeban

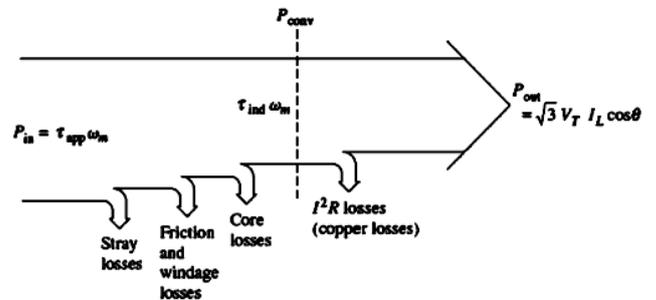
Karakteristik hubung sngkat Merupakan penggambaran dari hubungan antara arus fasa hubung singkat (Isc) sebagai fungsi arus kemagnetan (Im), dimana hal ini beban dihubung singkat dan putaran generator tetap.

$$I_{sc} = f(I_m), \text{dimana } Z_L = 0, n = \text{konstan} \quad (4)$$



Gambar 3. karakteristik hubung singkat

Efisiensi atau daya guna atau rendemen dari generator sinkron. Dalam mengkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik, maka tidak semua kekuatan mekanik yang masuk ke sinkron menjadi tenaga listrik dari mesin. Perbedaan antara daya *input* dan daya *ouput* merupakan kerugian dari mesin. Diagram aliran daya untuk generator sinkron digambarkan dibawah ini. [3] [4] [5]



Gambar 4. diagram aliran daya generator sinkron

Efisiensi yang dapat dijelaskan dengan rumus persamaan :

$$\text{efisiensi } (\eta) = \left[1 - \frac{[\text{rugi total}]}{(\text{Pout}) + [\text{rugi total}]} \right] \times 100\% \quad (5)$$

Kerugian yang terjadi dalam mesin ac dapat dibagi menjadi empat kategori dasar yaitu : [5]

- a. Rugi-rugi tembaga atau listrik ($I^2 R \text{ losses}$). [5]
Kerugian tembaga stator dalam mesin tiga fase ac diberikan oleh persamaan.
$$P_{SCL} = 3 I_A^2 R_A \quad (6)$$

P_{SCL} = rugi tembaga stator.

I_A = arus pada stator.
 R_A = tahanan stator.

Kerugian tembaga rotor dari mesin ac sinkron diberikan oleh dengan rumus.

$$P_{RCL} = I_F^2 R_F \quad (7)$$

P_{RCL} = rugi tembaga rotor.
 I_F = aliran arus dalam gulungan rotor.
 R_F = tahanan dari rotor.

- b. Rugi-rugi inti (*core losses*). [5]
 Kerugian inti adalah kerugian histeresis dan kerugian *eddy current* yang terjadi pada logam.
 Rugi histeresis adalah rugi yang disebabkan fluks bolak balik pada inti besi.

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{max}^{1.6} \quad (8)$$

P_h = rugi histeresis (*watt*).
 K_h = konstanta histeresis.
 B_{max} = kerapatan fluks maksimum (T).
 f = frekuensi.

rugi *eddy current* adalah rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

$$P_e = K_e \cdot F^2 \cdot B^2 \cdot max \quad (9)$$

P_e = rugi *eddy current*. (*watt*).
 K_e = konstanta *eddy current*.
 B_{max} = kerapatan fluks maksimum (T).
 f = frekuensi.

- c. Rugi-rugi mekanik (*mechanical losses*). [4] [5]
 Kerugian mekanis dalam mesin ac adalah kerugian yang terkait dengan efek mekanis. kerugian mekanis dan inti dari sebuah mesin sering disatukan dan disebut hilangnya rotasional tanpa beban mesin.

$$P_{mech} = 0,01 \times P_{in} \text{ (prime mover)} \quad (10)$$

P_{mech} = rugi-rugi mekanikal .
 0,01 = 1.0 persen yang diambil dari beban penuh.
 P_{in} = daya masukan dari *prime mover*.

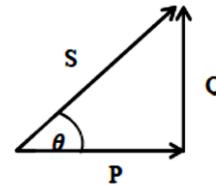
- d. Rugi-rugi beban hilang (*stray load losses*). [5]
 Semua kerugian semacam itu disalah artikan sebagai kerugian untuk kebanyakan mesin, kerugian yang hilang diambil oleh konvensi menjadi 1 persen dari beban penuh.

$$P_{stray} = 0,01 \times P_{scl} \text{ (rugi tembaga stator)} \quad (11)$$

P_{stray} = rugi-rugi beban hilang.
 0,01 = 1.0 persen diambil dari beban penuh.
 P_{scl} = rugi-rugi tembaga pada stator generator.

Segitiga daya adalah hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya semu dapat dinyatakan dengan

mempresentasikan daya-daya tersebut sebagai vektor. gambar bentuk segitiga daya dibawah ini. [2]



Gambar 5. bentuk segitiga daya

$$S = V I \text{ (VA)} \quad (12)$$

$$Q = V I \sin \phi \text{ (VAR)} \quad (13)$$

$$P = V I \cos \phi \text{ (W)} \quad (14)$$

P = daya aktif (*watt*)
 Q = daya reaktif (*volt ampere reaktif*)
 S = daya semu (*volt ampere*)
 V = tegangan
 I = arus
 ϕ = *power factor*

Persamaan rumus untuk daya pada rangkaian hubung bintang dan segitiga 3 fasa sebagai berikut : [2] [4]

$$P = 3 V_p I_p \cos \phi \text{ atau } P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad (15)$$

$$Q = 3 V_p I_p \sin \phi \text{ atau } Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi \quad (16)$$

$$S = 3 V_p I_p \text{ atau } S = \sqrt{3} V_L I_L \quad (17)$$

P = daya aktif (*watt*)
 Q = daya reaktif (*volt ampere reaktif*)
 S = daya semu (*volt ampere*)
 V_L = tegangan 3 fasa (*volt*)
 I_L = arus 3 fasa (*ampere*)
 V_p = tegangan perfasa (*volt*)
 I_p = arus perfasa (*ampere*)
 ϕ = *power factor*

III. METODE PENELITIAN

Waktu dan tempat dilakukannya penelitian untuk tugas akhir adalah waktu yang dibutuhkan dalam proses penelitian ini adalah selama 6 bulan, mulai dari bulan oktober tahun 2018 sampai bulan maret tahun 2019.

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian.

- Berupa data lengkap dari spesifikasi generator sinkron *type* 1DT4038-3EE02-Z.
- Berupa data tes pengujian dan pengukuran dari generator sinkron tersebut.
- Berupa data laporan hasil dari pengukuran dan pengujian generator sinkron tersebut.

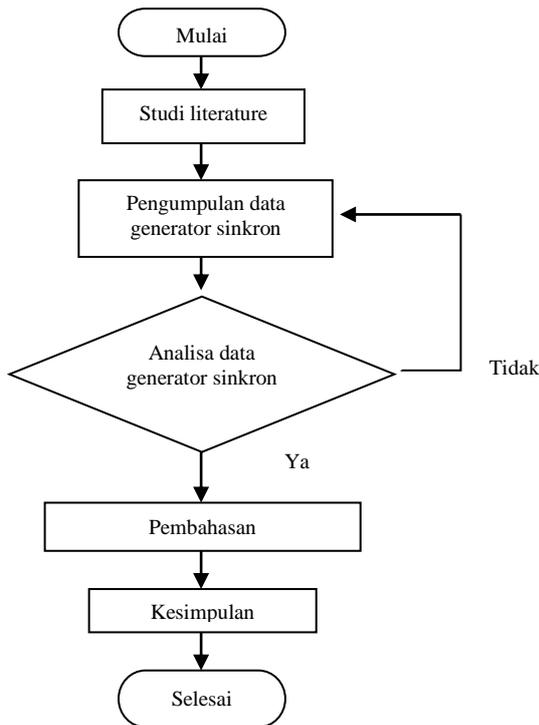
Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah kualitatif. Untuk perhitungan dilakukannya dengan analisis matematis berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan untuk memperoleh performa generator sinkron saat ini.

Spesifikasi dari generator 1DT-4038-3EE02-Z dalam bentuk tabel.

Tabel 1. Spesifikasi generator

Bagian elektrikal data			
Jenis generator	1DT-4038-3EE02-Z	Eksitasi	
Daya	11.000 KVA	Tegangan eksitasi	90 V
Tegangan	6.600 KV	Arus eksitasi	545 A
Arus	962 A		
Power factor	0,8	Kerapatan fluks	5,26 T
Frekuensi	50 Hz		
Kecepatan	1.500 rpm		
Hubungan	Bintang / Y		
Kutub	4 poles		
Bagian mekanikal data (slip ring)			
Sikat arang			
Brush holders	12 buah	Jenis	G 25
Brushes	24 buah	Jenis	HM 24
		Ukuran	50 x 25 x 16 mm

Bentuk diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 6. diagram alir penelitian.

IV. PEMBAHASAN

Hasil pengukuran yang diperoleh dari generator sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Hasil pengukuran hambatan generator

Resistansi pada stator generator	R₁ = 0,01147 ohm
	R₂ = 0,01167 ohm
	R₃ = 0,01182 ohm
	R_{TOTAL} = 0,02200 ohm
Resistansi pada rotor generator	R rotor = 0,1227 ohm

Tabel 2 Hasil pengukuran arus generator

Beban (%)	Arus Stator (Ampere)	Arus Medan (Rotor) (Ampere)
25%	241	268
50%	481	353
75%	721,5	445
100%	962	545

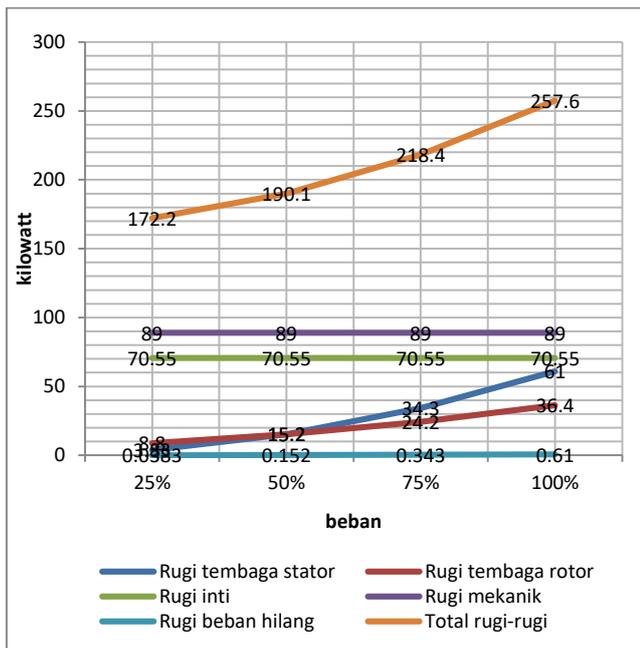
Perhitungan analisa hilang daya pada generator sinkron adalah menghitung hilangnya daya dari sebuah rugi-rugi yang terdapat pada generator yang terdiri rugi-rugi tembaga, rugi-rugi inti, rugi-rugi mekanikal, rugi-rugi beban hilang. rugi-rugi tersebut akan diberi sebuah beban yang bertahap dari 25%, 50%, 75% dan 100% hingga memperoleh hasil. untuk mendapatkan hasil hilangnya daya telah diperolehnya pengukuran dari hambatan stator dan rotor, arus stator dan arus medan (rotor), air gap, dan pengukuran yang lainnya. dari semua rugi-rugi pada generator yang diberi beban akan dijumlahkan keseluruhannya berdasarkan beban yang diberikan.

Total daya yang hilang dari keseluruhan rugi-rugi pada generator yang terdiri rugi tembaga, rugi inti, rugi mekanik, dan rugi beban hilang. total keseluruhan rugi-rugi pada generator akan diperlihatkan pada tabel dibawah berdasarkan beban berbeda.

Tabel 3 Total keseluruhan rugi-rugi pada generator.

Beban (%)	Rugi tembaga stator (Kilowatt t)	Rugi tembaga rotor (Kilowatt t)	Rugi inti (Kilowatt t)	Rugi mekanik (Kilowatt t)	Rugi beban hilang (Kilowatt t)	Total rugi-rugi (Kilowatt t)
25%	3,83	8,8	70,55	89	0,0383	172,218
50%	15,2	15,2	70,55	89	0,152	190,102
75%	34,3	24,2	70,55	89	0,343	218,393
100%	61	36,4	70,55	89	0,61	257,56

Diperoleh grafik yang menunjukkan nilai daya yang hilang dari rugi-rugi terhadap mesin atau generator berdasarkan beban.



Gambar 7. grafik dari rugi-rugi generator.

Efisiensi pada generator merupakan untuk menunjukkan performa pada generator yang diakibatkan oleh keseluruhan rugi-rugi pada generator yang berpengaruh pada pemakaian kapasitas daya terhadap beban.

Tabel 4 Efisiensi pada generator

Beban (%)	Arus Stator (Ampere)	Arus Medan (Rotor) (Ampere)	Daya Keluaran (Kilowatt)	Total Rugi-Rugi (Kilowatt)	Efisiensi (%)
25%	241	268	2.110	172,218	92,4
50%	481	353	4.398	190,102	95,8
75%	721,5	445	6.598	218,393	96,7
100%	962	545	8.797	257,56	97,1

V. PENUTUP

Dari pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Daya yang dikeluarkan oleh generator terhadap beban yang diterimanya sebesar 8.797 kilowatt pada beban penuh, 6.598 kilowatt pada beban 75%, 4.398 kilowatt pada beban 50% dan 2.110 kilowatt pada beban 25%.
2. Daya yang hilang dari sebuah rugi-rugi pada mesin atau generator yang terdiri rugi tembaga, rugi mekanik, rugi inti

dan rugi beban hilang. total daya yang hilang dari rugi-rugi bila dijumlah sebesar 257,56 kilowatt pada beban penuh, 218,393 kilowatt pada beban 75%, 190,102 kilowatt pada beban 50% dan 172,218 kilowatt pada beban 25%

3. Besar persentasi dari efisiensi mesin atau generator adalah sebear 97,1 % pada beban penuh, 96,7% pada beban 75%, 95,8% pada beban 50% dan 92,4% pada beban 25%.

. Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai generator sinkron dapat dilakukannya pengukuran lebih lanjut untuk generator tersebut agar dapat digunakan dan pemakaiannya dengan jangka waktu lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumanto, *Mesin Sinkron*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 1996.
- [2] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB, 1991.
- [3] Ir. Berahim, Hamzah, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 1994.
- [4] A. E. Fitzgerald, J. Charles Kingsley, and S. D. Umans, *Electric Machinery*. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [5] J. C. Stephen, *Electric Machinery Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [6] S. A. Selamat Aryadi, "ANALISA PENETUAN TEGANGAN TERMINAL, REGULASI DAN EFISIENSI GENERATOR SINKRON 3 FASA ROTOR SALIENT POLE DENGAN METODE BLONDEL (TWO REACTION THEORY)," vol.13, . November, pp. 1–6, 2015.
- [7] A. Multi, "PEMANFAATAN GENERATOR SINKRON AFWR SEBAGAI MOTOR SINKRON AFWR," November, pp. 1–8, 2015.