

STUDI PERUBAHAN BEBAN TERHADAP RUGI-RUGI DAYA *OUTPUT* GENERATOR SINKRON TIGA PHASE 20 MW PADA GENERATOR TURBIN GAS UNIT 2 PADA PT PUPUK ISKANDAR MUDA

Zikrul Muna¹, Syahputra², Fauzan³, Julianto⁴

^{1,2,3}) Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁴) Listrik utility, PT Pupuk Iskandar Muda

Email: zikrulmuna24@gmail.com¹, rudi.syahputra75@gmail.com², ozan.pnl@gmail.com³,
ekojulianto0795@gmail.com⁴

ABSTRAK

Daya yang dibangkitkan oleh Generator Turbin Gas unit 2 pada PT Pupuk Iskandar Muda disesuaikan dengan permintaan beban, beban yang diterima oleh generator di unit 2 selalu berubah-ubah tergantung pada kondisi lapangan, karna perubahan beban tersebut akan menghasilkan rugi-rugi daya yang sangat mempengaruhi efisiensi generator turbin gas. 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 714,433 KW pada saat beban terendah 2,4 MW dengan efisiensi generator sebesar 77,06 % kemudian saat beban tertinggi yaitu 10,5 MW rugi-rugi daya sebesar 720,251 KW menghasilkan efisiensi sebesar 93,58 %.

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

I. PENDAHULUAN

PT Pupuk Iskandar Muda terdapat 5 Pembangkit Tenaga Listrik yaitu Generator Turbin Gas unit 1 dan Generator Turbin Gas unit 2 sebagai pembangkit utama dengan kapasitas yang dihasilkan 15 MW dan 20 MW dengan tegangan 13 KV, 11 KV dan Pembangkit Gas Turbin Generator standby berkapasitas 1,5 MW dengan tegangan 2,4 KV dan 1 Pembangkit Diesel engine generator berkapasitas 350 KW dengan tegangan 480 V pada unit 1 dan 1 Pembangkit Diesel engine generator berkapasitas 350 KW dengan tegangan 480 V pada unit 2.

Generator Turbin Gas unit 2 pada PT Pupuk Iskandar adalah Generator Merk GEC ALSTHOM type T600, 3 fasa mempunyai kapasitas 24,358 MVA atau 19,486 MW pada faktor kerja 0.8 dengan tegangan 11 KV, Frekuensi 50 Hz pada putaran 3000 rpm, jumlah fasa 3 terhubung bintang menggunakan jenis eksiter tanpa sikat (*Brushless System*).

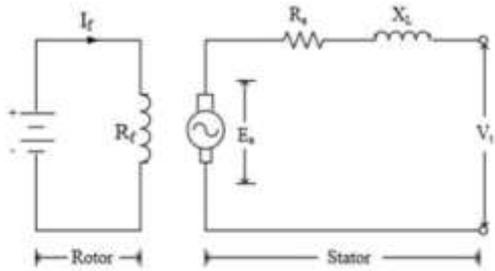
Daya yang dibangkitkan oleh generator disesuaikan dengan permintaan beban, beban yang diterima oleh generator di unit 2 selalu berubah-ubah tergantung pada kondisi lapangan, karna perubahan beban tersebut akan menghasilkan rugi-rugi daya yang sangat mempengaruhi efisiensi generator turbin gas, Untuk 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.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator Sinkron

Generator sinkron adalah termasuk mesin listrik arus bolak-balik medan putar yang dapat bekerja atau berfungsi sebagai generator atau sebagai motor. Bila bekerja sebagai generator, agar diperoleh frekuensi yang tetap stabil maka putarannya harus teliti, sedangkan sebagai motor mesin dipasok oleh jala-jala dengan frekuensi tetap. Mesin sinkron atau mesin serempak merupakan mesin listrik yang memerlukan frekuensi dan putaran yang tetap. Sebagai generator arus bolak-balik seperti halnya generator arus searah mesin ini berfungsi menghasilkan keluarannya adalah energi listrik, tapi arus dan tegangannya adalah bolak-balik. Pada generator arus bolak-balik ini tidak terdapat sikat dan komutator seperti pada generator arus searah yang berfungsi sebagai penyearah, tapi dengan menempatkan sepasang cincin kolektor pada poros dan menghubungkan ke titik yang tepat pada belitan jangkar maka akan diperoleh tegangan/arus bolak-balik [4].

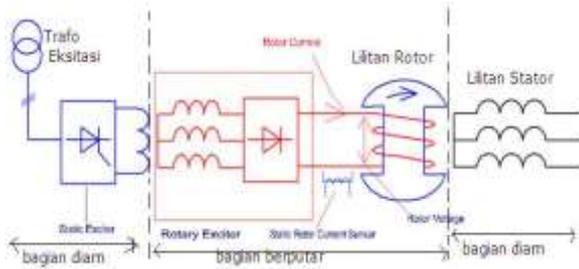
Dengan memutar generator sinkron diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), maka tegangan (E_o) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f) sesuai dengan Gambar 1 [1].



Gbr 1. Rangkaian Ekvivalen Generator Sinkron Tanpa Beban [5].

B. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat

Perkembangan sistem eksitasi pada generator sinkron dengan sistem eksitasi tanpa sikat, karena sikat dapat menimbulkan loncatan api pada putaran tinggi. Untuk menghilangkan sikat digunakan dioda berputar yang dipasang pada jangkar. Gambar 2 menunjukkan sistem eksitasi tanpa sikat. Penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator mempunyai kelemahan karena besarnya arus yang mampu dialirkan pada sikat arang relatif kecil. Untuk mengatasi keterbatasan sikat arang, digunakan sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat (*brushless excitation*) [6].



Gbr 2. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat [6].

Prinsip kerja sistem Eksitasi tanpa sikat (*Brushless Excitation*) adalah sebagai berikut: Generator penguat pertama disebut pilot exciter dan generator penguat kedua disebut main exciter (penguat utama). Main exciter adalah generator arus bolak-balik dengan kutub pada statornya. Rotor menghasilkan arus bolak-balik disearahkan dengan dioda yang berputar pada poros main exciter (satu poros dengan generator utama). Arus searah yang dihasilkan oleh dioda berputar menjadi arus eksitasi generator utama. Pilot exciter pada generator arus bolak-balik dengan rotor berupa kutub magnet permanen yang berputar menginduksi pada lilitan stator [6].

Tegangan bolak-balik disearahkan oleh penyearah dioda dan menghasilkan arus searah yang dialirkan ke kutub-kutub magnet yang ada pada stator main exciter. Besar arus searah yang mengalir ke kutub main exciter diatur oleh pengatur tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator* atau AVR). Besarnya arus eksitasi berpengaruh pada besarnya arus yang dihasilkan main exciter, maka besarnya arus main exciter juga mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh

generator utama. Pada sistem Eksitasi tanpa sikat, permasalahan timbul jika terjadi hubung singkat atau gangguan hubung tanah di rotor dan jika ada sekering lebur dari dioda berputar yang putus, hal ini harus dapat dideteksi. Gangguan pada rotor yang berputar dapat menimbulkan distorsi medan magnet pada generator utama dan dapat menimbulkan vibrasi (getaran) berlebihan pada unit pembangkit [6].

C. Rugi-Rugi Generator

Rugi daya adalah besarnya energi listrik yang hilang secara percuma (tidak terpakai) akibat faktor tahanan dari kumparan medan dan kumparan jangkar generator yang menghambat arus mengalir pada kumparan tersebut pada saat generator dibebani. Perhitungan rugi-rugi daya terdiri atas rugi belitan jangkar dan rugi belitan medan [6].

1. Rugi-rugi Listrik atau Tembaga

a. Kerugian Belitan Stator

Kerugian ini merupakan Kerugian ohm yang terjadi dalam belitan stator dapat dihitung dari Persamaan 1 [3].

$$P_s = 3 \times I_s^2 \times R_s \tag{1}$$

Keterangan:

P_s = rugi-rugi tembaga stator (w)

I_s = arus stator maksimum (A)

R_s = resistansi belitan stator (Ω)

b. Arus Rotor

Kerugian belitan rotor dimaksud kehilangan energy dalam kumparan medan dapat dihitung dengan Persamaan 2 [3].

$$P_m = I_m^2 \times R_m \tag{2}$$

Keterangan:

P_m = rugi-rugi belitan rotor (w)

I_m = arus rotor maksimum (A)

R_m = resistansi belitan rotor (Ω)

2. Rugi Mekanik (*Mechanical Losses*)

Kerugian mekanis dalam generator sinkron atau 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. Rugi mekanik terdiri dari:

- a. Rugi gesek yang terjadi pada pergesekan sikat dan sumbu. Rugi ini dapat diukur dengan menentukan masukan pada mesin yang bekerja pada kecepatan yang semestinya tetapi tidak diberi beban dan tidak diteral.
- b. Rugi angin (*windage loss*) atau disebut juga rugi buta (*stray loss*) akibat adanya celah udara antara bagian rotor dan bagian stator. Besar rugi mekanik

sekitar 10 sampai 20% dari rugi total pada beban penuh [2].

3. Rugi-rugi Beban Hilang (Stray Load Losses).

Semua kerugian semacam itu disalah artikan sebagai kerugian untuk kebanyakan mesin, kerugian yang hilang diambil oleh konvensi menjadi 1 persen dari beban penuh. Rugi – rugi total yang terjadi pada generator sinkron terdiri dari rugi – rugi tembaga, rugi besi dan rugi mekanik [2].

D. Konversi Nilai Hambatan

Nilai hambatan belitan akan tergantung dari suhu yang dihitung dengan Persamaan 3 [3].

$$R_t = \frac{(1 + \alpha \times t_2)}{(1 + \alpha \times t_1)} \times R_0 \tag{3}$$

Keterangan:

- α = nilai koefisien tembaga yaitu 0,004
- R_t = Resistansi total (Ω)
- R_0 = Resistansi awal (Ω)
- t_2 = Suhu akhir ($^{\circ}C$)
- t_1 = Suhu awal ($^{\circ}C$)

E. Efisiensi Genrator

Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Seperti halnya dengan mesin- mesin listrik lainnya, maupun transformator, maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan seperti Persamaan 4, 5, 6 dan 7 [2]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \tag{4}$$

$$P_{in} = P_{out} + \sum P_{rugi} \tag{5}$$

$$\sum P_{rugi} = (P_{tanpa\ Beban} + I_r^2 \times R_f + 3 \times I_a^2 \times R_a) \tag{6}$$

$$\eta = \frac{Output}{Output + Losses} \times 100 \% \tag{7}$$

Dimana:

- η th = Efisiensi
- P = Daya (kW)
- P_{in} = Daya masukan (watt)
- $I_r^2 R_f$ = Rugi kumparan medan (watt)
- P_{out} = Daya keluaran (watt)
- $I_a^2 R_a$ = Rugi kumparan jangkar (watt)

III. METODOLOGI

A. Pengambilan Data Lapangan

PT Pupuk Iskandar muda terdapat dua unit pembangkit, namun penulis akan mengambil data pada Generator Turbin Gas unit 2 (GTG2) terletak dijalan Medan-Banda Aceh, Desa Keude Krueng Geukuh, Kec. Dewantara, Kabupaten Aceh Utara pada tanggal 2 – 5 Agustus 2022. Data yang di ambil sebagai berikut.

TABEL I
Spesifikasi Generator Turbin Gas Unit 2

TECHNICAL SPECIFICATION GENERATOR	
Merk: GEC ALSTHOM	Frekuensi: 50 Hz
Type: T600, 3 Phase	Jumlah Phasa: 3
Year of Manufacture: 1996	Sambungan phasa: Star
Cooling by: Air	Eksitasi sistem: Brushless
Active Power: 19,486 MW	Standard: IEC
Apparent Power: 24,358 MVA	Ambient air temperature: 26.7 $^{\circ}C$

TABEL II
Data Kenaikan Beban Pada Generator Turbin Gas Unit 2

No	P	Teg	Jangkar		Medan	
			Arus	Suhu	Arus	Suhu
			MW	V	A	$^{\circ}C$
1	2,4	10,79	167	50,6	16,4	59,2
2	3,0	10,79	199	54,4	16,8	62,6
3	3,6	10,85	252	51,2	17,6	59,2
4	4,2	10,83	295	50,5	18,0	59,6
5	4,8	10,85	329	52,7	18,5	59,9
6	5,4	10,86	356	52,1	18,4	60,3
7	6,1	10,86	413	54,1	19,3	63,0
8	6,4	10,86	418	53,8	19,3	64,0
9	8,3	10,53	570	52,8	21,5	63,7
10	8,9	10,94	599	57,9	22,1	67,4
11	9,7	10,98	665	53,3	23,1	65,4
12	10,5	10,98	708	59,1	23,8	69,8

TABEL III
Data Tahanan Generator

Data	Tahanan (Ω)	Suhu ($^{\circ}C$)
Stator	0,0035	22
Rotor	0,350	21

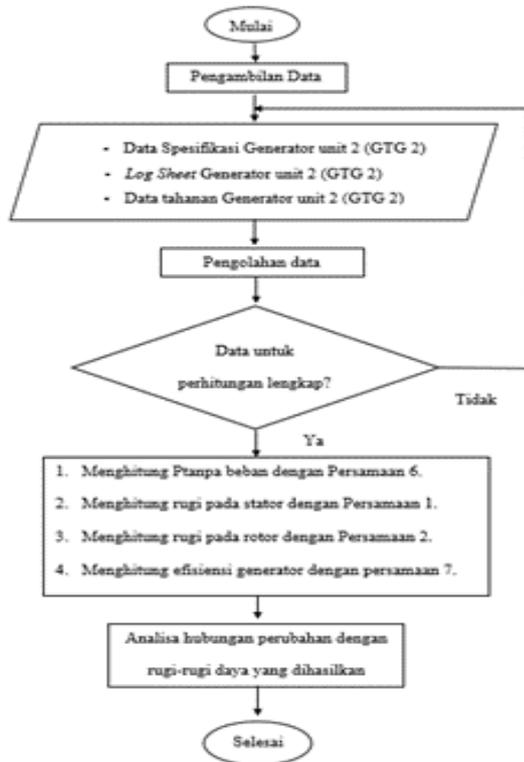
Setelah melakukan pengambilan data, selanjutnya penulis akan mengolah data yang dapat digunakan dalam menghitung rugi-rugi daya dan menghitung efisiensi dari spesifikasi generator, log sheet generator dan data tahanannya.

B. Analisa Data

Prosedur analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. menghitung P_{tanpa} beban dengan Persamaan 6
2. menghitung rugi pada stator dengan Persamaan 1
3. menghitung rugi pada rotor dengan Persamaan 2
4. menghitung efisiensi generator dengan Persamaan 7
5. menganalisa bagaimana hubungan dari perubahan beban terhadap rugi-rugi daya.

Untuk lebih jelasnya metode penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gbr 3. Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. 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 4.

$$Pin = \frac{Pout}{\eta} = \frac{19,486 \text{ MW}}{0,96} = 20,300 \text{ MW}$$

Jadi Pin generator adalah 20,300 MW, sehingga dapat dihitung rugi total nya dengan Persamaan 5.

$$\sum P \text{ rugi} = Pin - Pout = 20,300 - 19,486 = 814 \text{ KW}$$

Jadi rugi total antara daya masuk dengan rugi daya output adalah 814 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 3.

$$P_{tanpa \text{ beban}} = \sum P \text{ rugi} - (3 \times Ia^2 \times Ra + If \times Rf) = 814 \text{ KW} - (22, 118 \text{ KW} + 77, 430 \text{ KW}) = 714 \text{ KW}$$

Jadi rugi daya tanpa beban adalah 714 KW.

Untuk menghitung rugi tembaga akan dihitung pada saat beban 2,4 MW parameternya dapat dilihat pada Tabel 2 , rugi tembaga akan dihitung pada jangkar stator, hambatan jangkar terlebih dahulu dikonversikan ke suhu pada beban 2,4 MW dapat dihitung dengan Persamaan 3.

$$Rt = \frac{1 + \alpha \times t2}{1 + \alpha \times t1} \times R0 = \frac{1 + 0,004 \times 50,6}{1 + 0,004 \times 22} \times 0,0035 = 0,0039 \Omega$$

Selanjutnya menghitung rugi jangkar menggunakan Persamaan 1.

$$Ps = 3 \times Is^2 \times Rs = 3 \times 167^2 \times 0,0039 = 326,3013 \text{ watt} = 0,326 \text{ KW}$$

Jadi rugi Total daya jangkar pada beban 2,4 MW adalah 0,326 KW.

Perhitungan rugi medan pada beban 2,4 MW, terlebih dahulu mengkonversi nilai hambatannya ke suhu 59,2 °C dengan Persamaan 3.

$$Rm \text{ total} = \frac{1 + \alpha \times t2}{1 + \alpha \times t1} \times Rm = \frac{1 + 0,004 \times 59,2}{1 + 0,004 \times 21} \times 0,350 = 0,40068 \Omega$$

Selanjutnya menghitung rugi medan dari Persamaan 2.

$$Pm = Im^2 \times Rm = 16,4^2 \times 0,40068 = 107,767 \text{ watt} = 0,107 \text{ KW}$$

Jadi rugi daya medan pada beban 2,4 MW adalah 0,107 KW. Setelah mendapatkan rugi daya Ptanpa beban, rugi jangkar dan rugi medan dapat dihitung Total besar rugi-rugi daya dapat dihitung dengan Persamaan 6.

$$\sum P \text{ rugi} = P_{tanpa \text{ beban}} + 3 \times Ia^2 \times Ra + If \times Rf = 714 \text{ KW} + 0,326 \text{ KW} + 0,107 \text{ KW} = 714,433 \text{ KW}$$

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

Untuk melakukan perhitungan pada beban 3 MW, 3,6 MW dan seterusnya nilai rugi tanpa beban adalah tetap yaitu 714 KW dan hambatan belitan jangkar terlebih dahulu di konversikan ke suhu beban 3 MW dan lalu belitan medan yang telah dikonversikan dikali dengan arus kuadrat dan dikali dengan 3 karna terdapat 3 jumlah belitan dan medan juga dengan cara yang sama, maka diperoleh nilai rugi total yang tertera pada Tabel 4.

TABEL IV
Rugi Daya Total

NO	P	Rugi Daya Total	Efisiensi
	MW	KW	%
1	2,4	714,433	77,06
2	3,0	714,590	80,76
3	3,6	714,866	83,43
4	4,2	715,148	85,45
5	4,8	715,436	87,02
6	5,4	715,606	88,29
7	6,1	716,198	89,49
8	6,4	716,249	89,93
9	8,3	718,087	92,03
10	8,9	718,507	92,52
11	9,7	719,525	93,09
12	10,5	720,251	93,58

B. Hubungan Perubahan Beban Terhadap Rugi Daya

Setelah mendapatkan nilai total rugi daya pada generator penulis akan membahas hubungan perubahan beban dengan rugi-rugi daya aktif generator dapat dilihat dari Grafik pada Gambar 4.



Gbr 4. Grafik Perubahan Beban terhadap Rugi-Rugi Daya

Dari Gambar 4 Grafik tersebut menjelaskan bahwa beban dimulai dari terkecil ke beban yang besar, perubahan beban sangat mempengaruhi besar rugi daya generator, pada saat generator dibebani 2,4 MW rugi daya yang di hasilkan adalah 714,433 KW kemudian saat beban naik menjadi 3 MW, nilai arus dan suhu yang diterima oleh generator dari beban semakin besar sehingga rugi daya bertambah 0.157 W dari daya tanpa beban ditambah rugi daya jangkar dan rugi medan menjadi rugi total pada beban 3 MW sebesar 714,59 KW, pada saat beban puncak pada beban 10,5 MW yang mengakibatkan arus yang mengalir pada lilitan stator sebesar 708 A dengan suhu lilitan stator 59,1 °C dan pada stator nya arus eksitasi mengalir sebesar 23,8 A pada

suhunya 69,8 °C sehingga mengakibatkan rugi daya total pada generator sebesar 720,251 KW.

C. Persentase Efisiensi Daya Pada Generator

Besar efisiensi daya generator sangat sangat dipengaruhi oleh besar daya output generator, daya output yang dihasilkan generator disesuaikan dengan beban yang diberikan. Nilai daya input adalah daya output ditambah dengan rugi daya totalnya, daya output 2.400 KW dan rugi totalnya 714,433 KW, maka efisiensi saat beban 2,4 MW dihitung dengan Persamaan 7.

$$\eta = \frac{Output}{Output+Losses} \times 100 \%$$

$$= \frac{2.400 \text{ KW}}{2.400 + 714,433} \times 100 \%$$

$$= 77,06 \%$$

Jadi efisiensi generator pada saat beban 2,4 MW adalah 77,06 %.

Selanjut nya efisiensi dihitung pada beban 3,0 MW, 3,6 MW, 4,2 MW, 4,8 MW, 5,4 MW, 6,1 MW, 6,4 MW, 8,3 MW, 8,9 MW, 9,7 MW dan 10,5 MW dengan cara yang sama lalu dimasukkan kedalam Tabel V.

TABEL V
Efisiensi Kenaikan Beban

NO	P	Ptanpa Beban	Pcu total Jangkar	Pcu total Medan	Rugi Daya Total
	MW	KW	KW	KW	KW
1	2,4	714	0,326	0,107	714,433
2	3,0	714	0,475	0,115	714,590
3	3,6	714	0,742	0,124	714,866
4	4,2	714	1,018	0,130	715,148
5	4,8	714	1,298	0,138	715,436
6	5,4	714	1,465	0,141	715,606
7	6,1	714	2,046	0,152	716,198
8	6,4	714	2,096	0,153	716,249
9	8,3	714	3,898	0,189	718,087
10	8,9	714	4,305	0,202	718,507
11	9,7	714	5,306	0,219	719,525
12	10,5	714	6,015	0,236	720,251

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa pada beban terendah pada 2,4 MW mendapatkan efisiensi daya sebesar 77,06 %, kemudian pada saat beban naik pada 3 MW efisiensi juga naik menjadi 80,78 % dan pada beban tertinggi yaitu 10,5 MW efisiensi yang diperoleh 93,58 %.

V. KESIMPULAN

Hasil analisa perhitungan dari data-data yang didapat, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar rugi-rugi daya output pada generator yaitu sebesar 714,433 KW pada saat beban terendah 2,4 MW, selanjutnya pada beban 5,4 MW rugi-rugi daya yang diperoleh sebesar 715,606 KW dan pada beban tertinggi yaitu 10,5 MW rugi-rugi daya nya sebesar 720,251 KW, jadi semakin besar beban yang diberikan pada generator maka rugi daya yang dihasilkan juga akan semakin besar.
2. Perubahan pembebanan pada generator akan mengakibatkan mengalirnya arus pada belitan stator serta nilai tahanan pun bertambah akibat kenaikan suhu, maka akan mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya pada stator.
3. Semakin besar beban yang diberikan maka rugi-rugi yang dihasilkan juga akan semakin besar.
4. Efisiensi daya pada generator sangat dipengaruhi oleh kinerja generator. Efisiensi yang di dapat dari beban terendah 2,4 MW menghasilkan efisiensi sebesar 77,06 %, kemudian saat beban naik menjadi 3 MW menghasilkan efisiensi sebesar 80,76 % dan saat beban tertinggi 10,5 MW menghasilkan efisiensi sebesar 93,58 %.

REFERENSI

- [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.