

Studi Karakteristik Generator Sinkron Terhadap Perubahan Beban Di PLTG Mobile Power Plant Balai Pungut

Iqbal Tara Sukmana¹, Arlenny², Elvira Zondra³, Monice⁴

Jl. Yos Sudarso Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru

Email : iqbalsukmana88@gmail.com¹, arlenny@unilak.ac.id², elviraz@unilak.ac.id³
monice@unilak.ac.id⁴

Submitted : 21 Maret 2022

Accepted: 15 Juni 2022*

DOI: 10.31849/sainetin.v7i1.9620

Abstrak

Generator sinkron adalah mesin sinkron pengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang memiliki frekuensi putar rotor sama dengan frekuensi tegangan yang dibangkitkan. Pada generator, energi mekanik didapat dari penggerak mula yang bisa berupa mesin diesel, turbin, baling-baling dan lain-lain. Pada pembangkit-pembangkit besar, salah satu alat konversi yang sering digunakan yaitu generator sinkron 3 fasa. Generator sinkron yang ditinjau adalah generator sinkron pada PLTG Balai Pungut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa generator sinkron tiga fasa terhadap perubahan beban. Dari hasil analisa data bulan Februari dan Maret dirata-ratakan menjadi 7 hari dan 7 tabel, isi tabel berdasarkan logsheet yaitu Beban, Arus Eksitasi, Tegangan Output. Beban generator yang bersifat fluaktif atau berubah ubah tiap jam nya. Beban terendah di hari senin yaitu 11 MW dan yang tertinggi 24,7 MW, Beban terendah di hari Selasa 15 MW dan yang tertinggi 26,64 MW, Beban terendah di hari Rabu 10,64 MW dan yang tertinggi 24,14 MW, Beban di hari Kamis adalah 14,25 MW hingga yang tertinggi 26,92 MW, Beban hari Jumat 13,02 MW dan 24,02 MW, Beban tertinggi dihari sabtu yaitu 26,82 MW, Beban hari minggu adalah 11,25 MW untuk yang terendah dan 24,82 MW saat beban tertinggi. Efisiensi generator berubah ubah berkisar 75% hingga 86%.

Kata Kunci : Generator Sinkron, Efisiensi Generator, Arus Jangkar dan Eksitasi, Tegangan Output.

Abstract

A synchronous generator is a machine that converts mechanical energy into electrical energy by rotating the rotor at the same frequency as the generated voltage. Mechanical energy is obtained in a generator from a prime mover, which can be a diesel engine, turbine, propeller, or other device. The three-phase synchronous generator is a popular conversion device in big power facilities. The synchronous generator under consideration is the one at the Balai Pungut Power Plant. The goal of this study is to examine the reaction of a three-phase synchronous generator to load variations. Based on data analysis from February and March, average values for 7 days and 7 tables were computed, with table contents based on the logsheet, comprising Load, Excitation Current, and Output Voltage. Every hour, the generator load swings and varies. On Monday, the lowest load was 11 MW and the highest was 24.7 MW. On Tuesday, the lowest load was 15 MW and the highest was 26.64 MW. On Wednesday, the lowest load was 10.64 MW and the highest was 24.14 MW. On Thursday, the load fluctuated from 14.25 MW to a maximum of 26.92 MW. The load on Friday was 13.02 MW and 24.02 MW. On Saturday, the maximum load was 26.82 MW. The lowest load on Sunday was 11.25 MW, and the highest was 24.82 MW. The generating efficiency ranged from 75% to 86%.

Keywords: Synchronous Generator, Generator Load, Efficiency, Anchor Current, Excitation Current, Output Voltage.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat dari waktu ke waktu. Hal ini akan menyebabkan naiknya beban yang harus dipikul oleh generator yang terpasang. Mobile Power Plant (MPP) Balai

Pungut adalah perusahaan yang bergerak pada bidang pembangkit energi listrik. MPP Balai Pungut menjalankan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) [1], [2]. Generator merupakan jenis mesin listrik yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik [3]. PLTG Balai Pungut

Memiliki 3 Generator dengan daya 3 x 25 MW. Perubahan beban yang sangat fluktuatif atau berubah ubah dikarenakan permintaan daya yang meningkat Sehingga mempengaruhi kinerja generator sinkron. Dimana dari data bulan Februari generator *shut-down* untuk beberapa jam dan tidak bisa memberikan daya. Perubahan beban yang berubah ubah pada generator TM3 akan mempengaruhi tegangan, efisiensi dan juga arus jangkar generator tersebut. Besarnya perubahan beban pada generator balai punggut harus diketahui lebih dahulu dan disesuaikan dengan kemampuan generator yang akan digunakan sehingga kestabilan kinerja pada generator dapat dicapai. Akibat dari beban yang berlebihan tersebut dapat mempengaruhi penyediaan energi listrik pada pembangkit, sehingga menurunkan kualitas penyediaan listrik untuk pelanggan [4].

Berdasarkan pembahasan diatas maka penulis tertarik untuk mengkaji kinerja generator sinkron, dengan menganalisa pengaruh perubahan pembebanan generator terhadap karakteristik generator sinkron.

2. METODE PENELITIAN.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) PT. PLN (Persero) Unit Layanan PLTG Balai Punggut merupakan pembangkit listrik di bawah naungan PT PLN (Persero). PLTG MPP Balai Punggut 3 x 25 MW memakai 3 generator, data yang digunakan yaitu data logsheet generator TM 3. Untuk melengkapi data diperlukan data *logsheet* PLTG, Data penelitian menggunakan data *logsheet* bulan Februari dan Maret 2021 dan dirata ratakan menjadi 7 hari dan didapat 7 Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Generator

Parameter	Spesifikasi
Merk	Brush
Type	Turbo Generator
Tegangan	11,00 kV
Arus	1.718 A
Pf	0,9/0,9
Resistansi Rotor	0,00314 Ohm
Power	34,22 kVA
Frequensi	50 Hz
Conection	Y

Dalam menentukan Arus Jangkar pada generator sinkron digunakan persamaan sebagai berikut [5]–[7].

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \quad (2)$$

Efisiensi Generator sinkron diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut [7]–[10].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in} + P_{rugi}} \times 100 \% \quad (3)$$

Dan untuk menentukan Prugi didapat dengan cara berikut [11]. Dengan Ra 0,00314 Ohm,

$$\text{Rugi tanpa beban} = V \times I_f$$

$$P_{cu_jangkarRST} = Fasa_R = I_a^2 \times R_a$$

$$P_{cu_jangkarRST} = Fasa_S = I_a^2 \times R_a$$

$$P_{cu_jangkarRST} = Fasa_T = I_a^2 \times R_a$$

$$\text{Total } P_{cu_jangkar} = R + S + T$$

$$P_{cu_medan} = I_f^2 \times R_a$$

$$\sum P_{rugi} = \text{Rugi}_{tanpa\ beban} + P_{cu_jangkar} + P_{cu_medan}$$

3. HASIL PEMBAHASAN

Pembahasan menggunakan data log sheet Generator TM 3, tabel yang sudah dirata-ratakan menjadi 7 hari dan 7 tabel.

Faktor Daya dapat ditentukan sebagai berikut

$$\tan^{-1} \frac{Q}{P} = \tan^{-1} \frac{1}{15,16} = \tan^{-1} 0,065 = 3,718$$

$$\cos 3,718 = 0,997$$

Berdasarkan data Tabel 1 sampai 7 dan tabel 8 sampai 14 maka untuk mencari Arus Jangkar (I_a) pada generator dapat menggunakan persamaan (1) dan (2). Beban hari Senin jam 00.00 WIB pada beban 15,16 MW diperoleh I_a

$$P = \sqrt{3} \times 11,5 \times I_a \times 0,997$$

$$I_a = \frac{15,16 \text{ MW}}{\sqrt{3} \times 11,5 \text{ kV} \times 0,997} = 763,388 \text{ A}$$

$$I_a = \frac{15,16 \text{ MW}}{\sqrt{3} \times 11,5 \text{ kV} \times 0,997} = 763,388 \text{ A}$$

Tabel 1. Log Sheet Generator TM 3

Jam	Arus Eksitasi (If)	TeganganEksitasi (Vf)	Tegangan Output (kV)	P (MW)	Q (MVAr)
00.00	3,23	15,73	11,5	15,16	1
01.00	3,45	15,44	11,6	15,34	1,2
02.00	3,01	14,45	11,5	14,2	1
03.00	2,82	13,22	11,5	12,58	1
04.00	2,74	13,12	11,5	12,22	1
05.00	3,03	14	11,5	13	1,4
06.00	5,45	26,12	11,5	20,1	2,1
07.00	3,43	17,21	11,5	17,3	1,5
08.00	3,12	15,32	11,5	15,4	1,2
09.00	5,45	26,81	11,5	20,8	2,3
10.00	5,45	26,98	11,6	20,8	2,1
11.00	5,78	27,32	11,7	22,76	2,4
12.00	6,01	27,89	11,6	24,38	2,5
13.00	6,03	28,90	11,5	24,62	2,4
14.00	6,11	28,01	11,6	24,7	2,4
15.00	5,28	26,90	11,6	22,42	2,5
16.00	4,88	23,32	11,5	20	2,1
17.00	3,89	16,45	11,7	16,38	1,5
18.00	2,22	13,4	11,6	11	1
19.00	5,46	25,55	11,5	23,12	2,1
20.00	6,12	26,56	11,7	24,64	2,3
21.00	5,67	26,76	11,6	23,58	2,4
22.00	3,67	17,89	11,5	18,54	1,6
23.00	3,56	17,21	11,5	17,66	1,5

Faktor Daya dapat ditentukan sebagai berikut

$$\tan^{-1} \frac{Q}{P} = \tan^{-1} \frac{1,2}{15,34} = \tan^{-1} 0,078 = 4,460$$

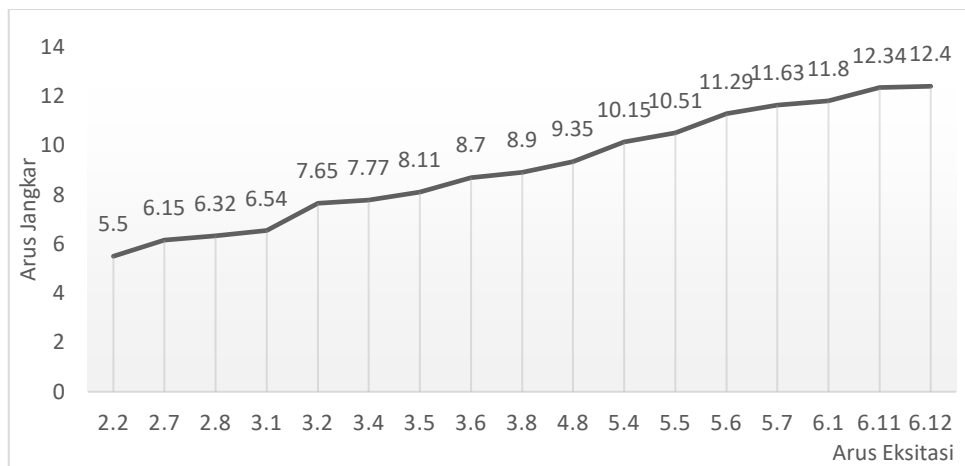
$$\cos 4,460 = 0,996$$

Beban hari Senin jam 01.00 WIB pada beban 15,34 MW diperoleh Ia sebagai berikut :

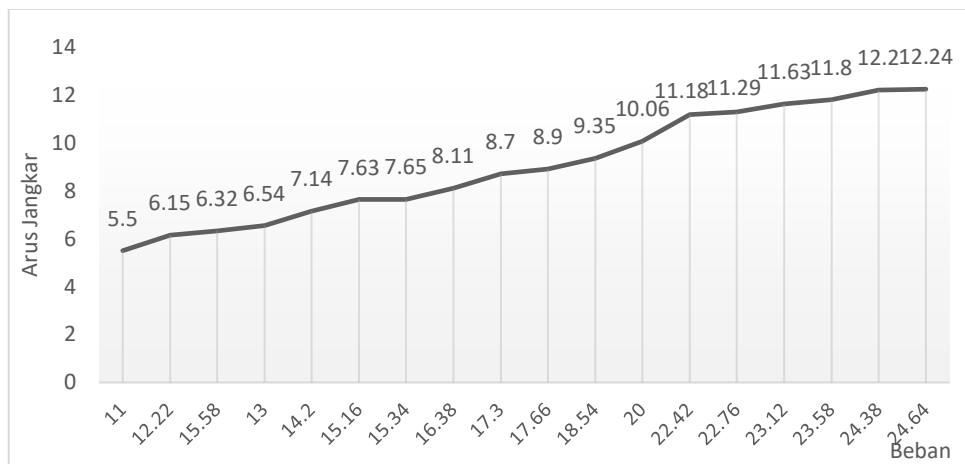
$$P = \sqrt{3} \times 11,6 \times I_a \times 0,996$$

$$I_a = \frac{15,34 \text{ MW}}{\sqrt{3} \times 11,6 \text{ kV} \times 0,996} = 766,573 \text{ A}$$

Untuk hasil perhitungan Ia pada jam berikut dan hari berikut dari hari senin sampai hari minggu, maka didapat hasil Ia dalam Tabel 3 dan Gambar 1 menampilkan grafik perubahan arus eksitasi terhadap arus jangkar.



Gambar 1. Grafik perubahan arus eksitasi terhadap arus jangkar



Gambar 2. Grafik perubahan beban terhadap arus jangkar

Perubahan arus eksitasi terhadap arus jangkar pada hari Senin, Bisa dilihat pada Gambar 1 terdapat grafik perubahan arus jangkar dimana semakin tinggi arus eksitasi maka arus jangkar juga akan naik. Dari hasil perhitungan pada tabel dapat dibuat grafik untuk melihat perbandingan perubahan beban terhadap arus jangkar, grafik untuk melihat perubahan beban terhadap arus jangkar perhari nya, seperti Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan perubahan beban terhadap arus jangkar, beban 11 MW arus jangkar 550,792 A, saat beban naik maka arus jangkar akan naik hingga beban 24,64 MW arus jangkarnya adalah 1.224,461 A.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Arus Jangkar

Jam	Tegangan Output (kV)	P (MW)	Arus Eksitasi (If)	Cos φ	Ia (A)
00.00	11,5	15,16	3,23	0,997	763,388
01.00	11,6	15,34	3,45	0,996	765,026
02.00	11,5	14,2	3,01	0,997	714,330
03.00	11,5	12,58	2,82	0,996	632,836
04.00	11,5	12,22	2,74	0,997	615,343
05.00	11,5	13	3,03	0,997	654,620
06.00	11,5	20,1	5,45	0,994	1015,199
07.00	11,5	17,3	3,43	0,998	870,276
08.00	11,5	15,4	3,12	0,995	777,032
09.00	11,5	20,8	5,45	0,993	1051,612
10.00	11,6	20,8	5,45	0,993	1042,546
11.00	11,7	22,76	5,78	0,994	1129,898
12.00	11,6	24,38	6,01	0,994	1220,755
13.00	11,5	24,62	6,03	0,994	1243,492
14.00	11,6	24,7	6,11	0,996	1234,295
15.00	11,6	22,42	5,28	0,998	1118,114
16.00	11,5	20	4,88	0,998	1006,099
17.00	11,7	16,38	3,89	0,996	811,536
18.00	11,6	11	2,22	0,994	550,792
19.00	11,5	23,12	5,46	0,998	1163,051
20.00	11,7	24,64	6,12	0,993	1224,461
21.00	11,6	23,58	5,67	0,994	1180,697
22.00	11,5	18,54	3,67	0,995	935,466
23.00	11,5	17,66	3,56	0,996	890,169

Sementara efisiensi generator sinkron diperoleh dari persamaan (3). Selanjutnya jika $R_a = 0,00314$ Ohm, besar Prugi didapat dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Rugi tanpa beban} = V \times If$$

$$\begin{aligned} \text{Pcu jangkar}_{RST} &= \text{fasa}_R = Ia^2 \times Ra \\ &= \text{fasa}_S = Ia^2 \times Ra \\ &= \text{fasa}_T = Ia^2 \times Ra \end{aligned}$$

$$\text{Total Pcu jangkar} = R + S + T$$

$$\text{Pcu medan} = If^2 \times Ra$$

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{rugi}} &= \text{Rugi tanpa beban} + \text{Pcu jangkar} \\ &+ \text{Pcu medan} \end{aligned}$$

Beban hari Senin jam 00.00 WIB pada beban 15,16 MW diperoleh Efisiensi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Rugi tanpa beban} &= V \times If = 11,5 \text{ kV} \times 3,23 \\ &= 37,145 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pcu jangkar fasa}_R &= Ia^2 \times Ra = 7,462 \times 0,00314 \\ &= 0,183 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pcu jangkar fasa}_S &= Ia^2 \times Ra = 7,462 \times 0,00314 \\ &= 0,183 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pcu jangkar fasa}_T &= Ia^2 \times Ra = 7,462 \times 0,00314 \\ &= 0,183 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\text{Pcu medan} = If^2 \times Ra$$

$$\begin{aligned} P_{\text{cu medan}} &= I_f^2 \times Ra = 3,23^2 \times 0,00314 \\ &= 0,032 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Pcu jangkar} &= R + S + T \\ &= 0,183 + 0,183 + 0,183 \\ &= 0,549 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{cu medan}} &= I_f^2 \times Ra = 3,23^2 \times 0,00314 \\ &= 0,032 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{rugi}} &= \text{Rugi}_{\text{tanpa beban}} + P_{\text{cu jangkar}} + P_{\text{cu medan}} \\ &= 37,145 \text{ kW} + 0,546 \text{ W} + 0,032 \text{ W} \\ &= 37,73 \text{ W} \end{aligned}$$

Efisiensi Generator Beban 24.7 MW

$$\eta = \frac{15,16}{15,6 + 3,773} \times 100\% = 80,07$$

Untuk hasil perhitungan efisiensi di jam berikut dan hari berikut dari hari senin sampai hari minggu, maka didapat hasil efisiensi dalam Tabel 4 dan

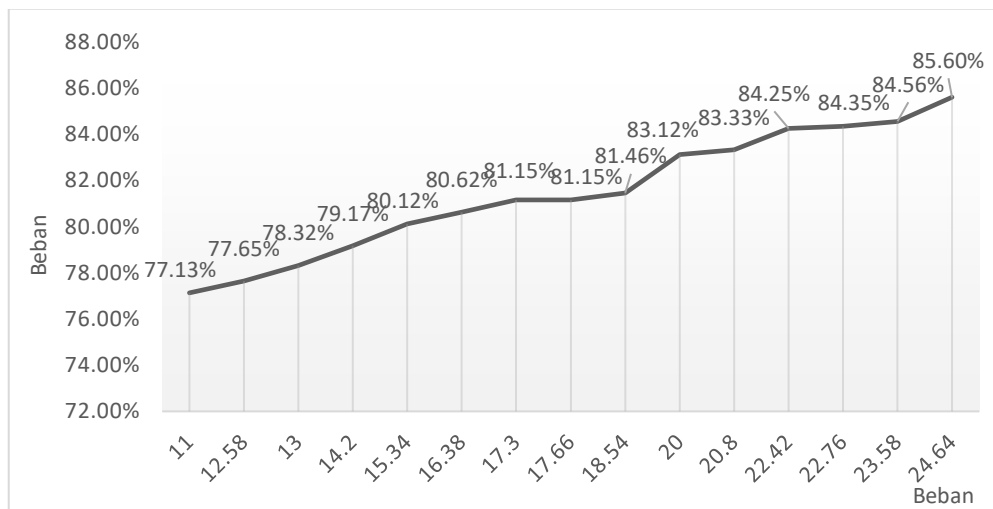
Gambar 3 menampilkan Grafik perubahan beban terhadap efisiensi generator.

Hasil perhitungan efisiensi boiler yang terlihat pada grafik maka dapat disimpulkan bahwa bahan bakar *co-firing* dapat meningkatkan nilai efisiensi boiler dan terjadi peningkatan efisiensi boiler 0,12 % dengan metoda *Direct Method* dengan perhitungan

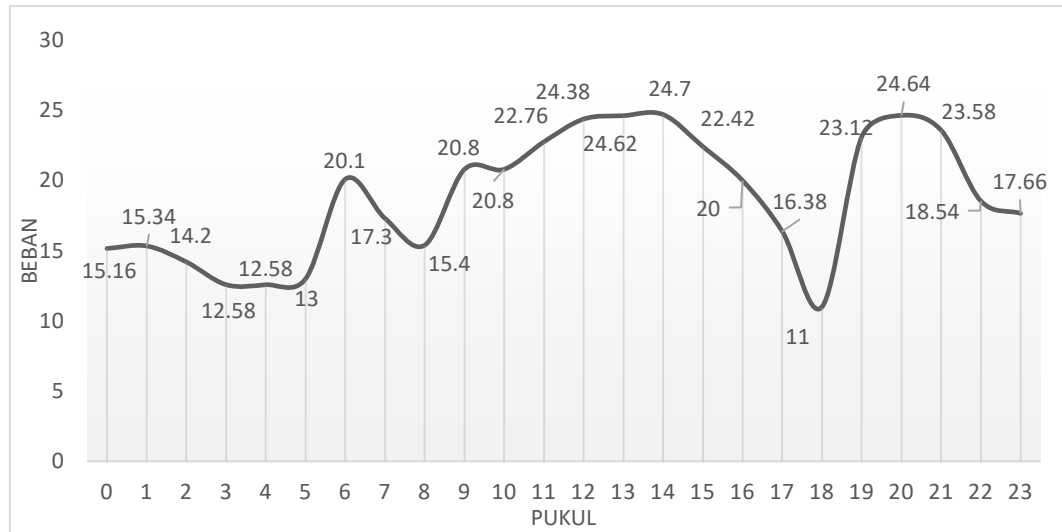
mathcad dan simulasi, Sedangkan Dari hasil tabel di atas dapat dibuat grafik untuk melihat perbandingan perubahan beban generator per jam nya dan melihat kenaikan dan penurunan beban generator. Gambar 4 menunjukkan perubahan beban perjamnya

Tabel 4. Hasil perhitungan efisiensi generator

Jam	Tegangan Output (kV)	P (MW)	Arus Eksitasi (If)	Ia (A)	Efisiensi %
00.00	11,5	15,16	3,23	763,388	80,07 %
01.00	11,6	15,34	3,45	765,026	80,12 %
02.00	11,5	14,2	3,01	714,330	79,17 %
03.00	11,5	12,58	2,82	632,836	77,65 %
04.00	11,5	12,22	2,74	615,343	77,47 %
05.00	11,5	13	3,03	654,620	78,32 %
06.00	11,5	20,1	5,45	1015,199	83,16 %
07.00	11,5	17,3	3,43	870,276	81,15 %
08.00	11,5	15,4	3,12	777,032	80,09 %
09.00	11,5	20,8	5,45	1051,612	83,33 %
10.00	11,6	20,8	5,45	1042,546	83,27 %
11.00	11,7	22,76	5,78	1129,898	84,35 %
12.00	11,6	24,38	6,01	1220,755	86,13 %
13.00	11,5	24,62	6,03	1243,492	86,22 %
14.00	11,6	24,7	6,11	1234,295	85,11 %
15.00	11,6	22,42	5,28	1118,114	84,25 %
16.00	11,5	20	4,88	1006,099	83,12 %
17.00	11,7	16,38	3,89	811,536	80,62 %
18.00	11,6	11	2,22	550,792	77,13 %
19.00	11,5	23,12	5,46	1163,051	83,25 %
20.00	11,7	24,64	6,12	1224,461	85,60 %
21.00	11,6	23,58	5,67	1180,697	83,56 %
22.00	11,5	18,54	3,67	935,466	81,46 %
23.00	11,5	17,66	3,56	890,169	81,15 %



Gambar 3. Grafik perubahan beban terhadap efisiensi



Gambar 4 Grafik perubahan beban.

Beban Generator unit 3 bersifat sangat flukatif. Grafik di atas menunjukkan perubahan beban tiap jam nya pada hari Senin, Proses terjadinya kenaikan dan penurunan beban disebabkan karena permintaan energi listrik yang di atur oleh PT.PLN. Beban terendah adalah 11 MW yang mana saat jam 18.00 WIB dan beban tertinggi adalah 24,64 di jam 20.00 WIB.

4. KESIMPULAN

Data bulan Februari dan Maret dirata ratakan menjadi 7 hari dan di dapat 7 tabel, yang mana terdapat data Beban, Arus Eksitasi, Tegangan Output, Tegangan Eksitasi. Beban perhari generator unit 3 PLTG Balai Pungut bersifat sangat flukatif atau berubah ubah tiap jam nya. Tegangan Output Generator berkisar 11,5 kV hingga 11,7 kV. Arus jangkar pada generator ber ubah ubah ,dalam grafik di bab 4 terdapat perbandingan yaitu Grafik perubahan arus eksitasi terhadap arus jangkar yang mana semakin tinggi arus eksitasi maka arus jangkar akan naik, Grafik perubahan beban dari terendah hingga yang tertinggi. Perubahan beban generator unit 3 mempengaruhi efisiensi generator pada hari senin sampai minggu. Yang mana Efisiensi generator unit 3 berkisar 75% sampai 85%. Bed Temperature turun 4 °C dan Coal flow.

Dalam pengoperasian generator sinkron harus memperhatikan parameter parameternya agar tidak melebihi kemampuan dari generator tersebut, untuk menjaga kestabilan generator dan generator dapat tahan lama pemakaiannya. Batas maksimum beban generator senantiasa juga perlu diperhatikan dalam rangka pemeliharaan generator.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Hendry, H. Eteruddin, and A. Atmam, "Analysis of Voltage Sag Due to Short Circuit on the Sub System in Central Sumatera," *International Journal of Electrical, Energy an Power System Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2018.
- [2] R. Abdullah, D. Meliala, and Z. Zulfahri, "Studi PLTG Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut Sebagai Black Start Saat Kehilangan Tegangan Pada Sistem 150 kV," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 11–17, 2018.
- [3] A. Tanjung, H. Sinurat, H. Eteruddin, and Arlenny, "Analisis Pengaruh Udara Ambien Terhadap Beban Turbin Generator PLTG Teluk Lembu," *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, Vol. 8 No. 2, pp. 175–186, 2022.
- [4] M. Muharrir and I. Hajar, "Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang," *Kilat*, vol. 8, no. 2, pp. 93–102, 2019.
- [5] S. Bandri, "Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron (Aplikasi PLTG Pauh Limo Padang)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [6] R. Catur Pamungkas, M. Yusvin Mustar, and R. Syahputra, "Analytical Studies of the Excitation System of Synchronous

- Generator in Steam Power Plant Unit 3 and 4 at PJB UP Gresik,” *Journal of Electrical Technology UMY*, vol. 1, no. 3, pp. 148–156, 2017.
- [7] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [8] A. Annisa, W. Winarso, and W. Dwiono, “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron,” *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37–53, 2019.
- [9] Y. Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Edisi Revi. Yogyakarta: Andi Offset, 2014.
- [10] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia, 2000.
- [11] H. S. Muslim, Joko, and P. W. R., *Teknik Pembangkit Listrik, Jilid I*, vol. 4, no. 1. Jakarta: Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, 2016.