



ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU EMBALUT UNIT 3

Osca Samudera Clever¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mulawarman
E-mail: oscas1351@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengaruh variasi pembebanan terhadap efisiensi generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Embalut unit 3. Generator merupakan komponen utama dalam sistem pembangkit yang mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Efisiensi generator dipengaruhi oleh besarnya beban yang diterima dan rugi-rugi daya yang terjadi selama proses konversi energi. Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data pembebanan dan parameter operasi generator selama periode 7-13 Oktober 2024. Selanjutnya, dilakukan perhitungan rugi-rugi generator meliputi rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, dan rugi beban *stray*, kemudian dianalisis untuk memperoleh efisiensi aktual pada berbagai tingkat pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi generator cenderung meningkat seiring bertambahnya beban hingga mendekati kapasitas nominal. Nilai efisiensi tertinggi mencapai sekitar 98,4% pada beban mendekati 60 MW, sedangkan pada beban rendah efisiensi berada dikisaran 98,7%. Perubahan kecil pada efisiensi, seperti penurunan dibeban tertentu, dipengaruhi oleh fluktuasi arus dan kondisi operasional generator. Secara keseluruhan, kinerja generator PLTU Embalut unit 3 masih memenuhi standar efisiensi berdasarkan IEC 60034-1:2004 dan spesifikasi pabrikan. Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pemantauan kinerja generator serta optimasi operasi pembangkit.

Kata Kunci: Efisiensi Generator, Pembebanan, Rugi-Rugi Daya, PLTU Embalut

ABSTRACT

This study analyzes the effect of load variations on the efficiency of the generator at the Embalut Steam Power Plant (PLTU) Unit 3. The generator is a key component in power generation, converting mechanical energy from the turbine into electrical energy. Generator efficiency is influenced by the applied load and the power losses occurring during the energy conversion process. This research was conducted by collecting load data and generator operating parameters during the period of October 7–13, 2024. Subsequently, the generator losses, including copper loss, core loss, mechanical loss, and stray load loss, were calculated and analyzed to determine the actual efficiency at various load levels. The results show that the generator efficiency generally increases as the load approaches its nominal capacity. The highest efficiency reached approximately 98.4% at a load close to 60 MW, while at lower loads the efficiency was around 98.7%. Minor fluctuations, such as a slight drop in efficiency at certain loads, are influenced by current variations and operational conditions of the generator. Overall, the performance of the Embalut Unit 3 generator meets the efficiency standards of IEC 60034-1:2004 and the manufacturer's specifications. This study can serve as a reference for generator performance monitoring and power plant operation optimization.

Keyword: Generator Efficiency, Loading, Power Loss, Embalut Steam Power Plant

1. Pendahuluan

Sumber energi listrik saat ini mempunyai peranan yang mutlak untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari oleh seluruh kalangan masyarakat. Energi listrik telah digunakan oleh berbagai kalangan, mulai dari masyarakat kota hingga desa dan juga digunakan sebagai sumber dari industri besar hingga kecil.

Bertambahnya pabrik dan populasi menjadi faktor utama dalam meningkatnya kebutuhan energi listrik, tentu hal ini berimbas pada perkembangan teknologi dan industri yang semakin pesat. Kebutuhan energi listrik di Indonesia diperkirakan tumbuh rata-rata 8,3% hingga tahun 2026, dengan sektor industri mencapai 9,2% [1].

Salah satu pembangkit yang berada di Kalimantan Timur adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU Embalut yang terletak di Desa Tanjung Batu, Kecamatan Tenggarong Seberang. Pemerintah selaku pembuat kebijakan ekonomi selalu memberikan prioritas utama pada pembangunan sebagai upaya pemenuhan kebutuhan penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat. Salah satu peralatan yang menunjang energi listrik pada PLTU adalah generator. Keandalan generator dalam pengoperasian PLTU sangat berpengaruh pada energi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi generator di PLTU Embalut.

Generator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik karena memiliki peran yang besar dalam penyediaan energi listrik yang dimana pada zaman ini sangat dibutuhkan oleh masyarakat umum baik itu di bidang industri, perkantoran, sampai konsumen rumah tangga. Energi listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan yang vital bagi masyarakat secara umum, bahkan hampir selama 24 jam konsumen membutuhkan atau memakai energi listrik untuk berbagai macam penggunaan [2,3].

Efisiensi generator dapat diartikan sebagai perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan dalam suatu proses. Menghitung efisiensi pada generator adalah konsep dalam termodinamika yang sangat membantu untuk menilai sejauh mana konversi energi yang efisien. Pada generator, daya masukan biasanya berupa energi mekanik karena turbin dan generator dihubungkan sehingga menghasilkan daya keluaran berupa listrik. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi generator pada pembangkit listrik tenaga uap antara lain adalah perubahan beban dan rugi-rugi daya yang terjadi pada generator [4,5].

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terkait analisis efisiensi kerja generator yang juga menjadi referensi untuk penulis melakukan penelitian ini. Pada [2] didapatkan hasil bahwa nilai efisiensi pada generator di PLTA Wonogiri masih berubah-ubah tergantung dari besarnya beban yang dipakai, debit air, dan ketinggian air pada waduk yang memutar turbin. Kemudian pada penelitian [3] mendapatkan hasil bahwa efisiensi pada unit 1 yang terendah masih berada dalam nilai 98,13% dan pada unit 2 yang terendah masih berada dalam nilai 98,09% menunjukkan bahwa generator pada unit 1 dan 2 masih sangat efisien.

Berdasarkan penjelasan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penulis mengajukan skripsi tentang "Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Di PLTU Embalut Unit 3". Penelitian ini dilakukan karena perlu untuk melakukan analisa terhadap efisiensi generator apakah generator masih dalam batasan kondisi yang handal atau tidak. Besarnya perubahan beban yang ditangani oleh generator perlu diperhitungkan dan disesuaikan dengan karakteristik peralatan untuk mempertahankan stabilitas generator dan juga untuk mencapai efisiensi yang optimal.

A. Generator

Generator merupakan peralatan yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip dasar generator adalah bahwa bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet tetap, maka konduktor tersebut menimbulkan tegangan induksi. Semakin banyak jumlah lilitan konduktor atau semakin besar medan magnet (fluksi) tetap diberikan, semakin besar tegangan yang dibangkitkan. Pembangkitan tenaga listrik didapatkan dengan menerima tenaga mekanis dan mengubahnya menjadi tenaga listrik. Generator biasanya dibagi menjadi dua macam, yaitu generator AC dan generator DC, tergantung dari arus yang dibangkitkannya. Selain itu, generator juga dapat dibagi berdasarkan putaran medannya menjadi generator sinkron serta generator asinkron.

Generator sinkron merupakan salah satu jenis generator listrik yang dimana terjadi proses pengkonversian energi mekanik menjadi energi listrik yang dihasilkan dari putaran kumparan rotor yang memotong suatu medan elektromagnetik yang dihasilkan di stator dan kemudian menyebabkan timbulnya energi listrik. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan oleh putaran rotor dengan kutub magnet yang berputar yang memiliki kecepatan yang sama dengan medan yang berputar pada stator. Pada generator sinkron kumparan medan terletak pada rotornya, sedangkan kumparan jangkar terletak di statornya.

Generator sinkron bekerja dengan mengganti tenaga mekanik menjadi tenaga listrik dengan cara induksi medan magnet. Gerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator dapat menimbulkan pergantian tenaga ini. Generator bekerja bersumber pada prinsip induksi elektromagnetik.

Pada saat rotor generator berbalik dengan kecepatan konstan, tegangan akan diinduksikan pada belitan jangkar stator. Tegangan induksi ini meningkat dengan meningkatnya arus magnetisasi sampai saturasi tercapai di inti rotor. Ketika terminal rotor terhubung ke inti beban, arus akan mengalir melalui belitan angker stator, dan mentransfer arus dari generator menuju ke beban. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), generator akan dihubungkan langsung menuju turbin uap yang menciptakan tegangan pada turbin.

B. Kontruksi Generator Sinkron

Ada dua struktur medan magnet pada generator sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC dan sebuah jangkar tempat dibangkitkannya ggl arus bolak balik. Hampir semua generator sinkron mempunyai belitan ggl berupa stator yang diam dan struktur medan magnet berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada struktur medan yang berputar dihubungkan pada sumber luar melalui *slipring* dan sikat arang, tetapi ada juga yang tidak menggunakan sikat arang yaitu sistem *brushless excitation*.

Generator secara umum terdiri dari dua bagian yaitu stator dan rotor. Pada bagian stator terdapat kumparan jangkar sedangkan pada bagian rotor terdapat kumparan medan. Kontruksi generator sinkron dapat dilihat pada gambar 2.1

1) Stator

Stator adalah komponen tetap (statis), gulungan kawat yang ditempatkan di slot dalam inti besi yang disebut dengan belitan angker. Konduktor ini adalah tempat pembentukan gaya gerak listrik induksi, yang terjadi ketika medan magnet putar rotor melewati kumparan konduktif stator. Stator mesin sinkron terbuat dari bahan feromagnetik berlapis untuk mengurangi kerugian arus.

2) Rotor

Rotor adalah komponen yang bergerak maupun berotasi. Komponen ini terdiri atas inti rotor, kumparan rotor serta plot rotor. Rotor generator diputar dengan penggerak khusus guna menciptakan medan magnet bolak balik di generator.

C. Rugi-Rugi Daya Generator

Rugi-rugi pada generator atau *losses* merupakan hilangnya sejumlah besar daya listrik yang telah dibangkitkan kemudian dapat mengurangi/menurunkan jumlah energi yang telah diperoleh.

3) Rugi Tembaga

Rugi tembaga yaitu rugi-rugi pada belitan generator baik itu yang ada distator yang merupakan bagian yang diam maupun belitan pada rotor yang merupakan bagian yang bergerak.

$$P_c = P_{\text{stator}} + P_{\text{rotor}} \quad (1)$$

Sehingga untuk mengetahui nilai dari rugi stator dan rugi rotor adalah sebagai berikut

$$P_{\text{stator}} = 3 \times I_s^2 \times R_s \quad (2)$$

Dengan keterangan :

P_{stator} : Rugi tembaga pada stator (W)

I_s = Arus pada generator (A)

R_s = Tahanan pada stator (ohm)

$$P_{\text{rotor}} = I_E^2 \times R_f \quad (3)$$

Dengan keterangan :

P_{rotor} : Rugi tembaga pada rotor (W)

I_E = Arus Eksitasi (A)

R_f = Tahanan pada rotor (ohm)

4) Rugi Besi

Rugi besi merupakan kerugian yang didapatkan oleh adanya panas di besi pada bagian stator dan rotor karena timbul arus pusar (*eddy current*) dan efek *histerisis*. Biasanya inti statornya berbentuk laminasi yang tidak terlalu tebal kemudian berbahan baja silikon yang diisolasi satu sama lainnya yang berguna untuk mengurangi arus pusar dan efek histerisis yang ada pada stator. Besar rugi besi mencapai 30% dari

rugi total pada beban penuh, sehingga untuk menghitung rugi besi perlu untuk menghitung rugi beban penuh terlebih dahulu sebagai berikut :

$$Rugi\ beban\ penuh = P_{100\%} - (P_{100\%} \times \eta) \quad (4)$$

Dengan keterangan :

Rugi beban penuh = Rugi total pada beban 100% (W)

$P_{100\%}$ = Beban penuh (W)

η = Efisiensi Generator Pada Saat Beban Penuh (%)

sehingga persamaan dari rugi besi adalah sebagai berikut

$$P_{core} = 0,3 \times Rugi\ beban\ penuh \quad (5)$$

5) Rugi Mekanik

Dalam buku “Electric Machinery Fundamentals” karya Stephen J. Chapman, rugi mekanik pada mesin listrik termasuk juga generator umumnya mencakup rugi akibat gesekan dan rugi ventilasi (*windage*). Rugi-rugi ini biasanya dianggap konstan dan tidak bergantung pada beban mesin. Besar rugi mekanik adalah 20% dari total rugi beban penuh. Berikut adalah persamaan dari rugi mekanik

$$P_{mech} = 0,2 \times Rugi\ beban\ penuh \quad (6)$$

6) Rugi Beban Stray

Rugi beban stray adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh arus didalam tembaga dan rugi inti tambahan didalam besi, rugi ini timbul karena pendistorsian fluks magnetik oleh arus beban. Didalam perhitungannya besar rugi-rugi beban stray ini dinyatakan sebesar kurang lebih 1% dari rugi belitan stator. Berikut adalah persamaan dari rugi beban stray

$$P_{stray} = 0,01 \times P_{stator} \quad (7)$$

Sehingga total rugi-rugi daya pada generator dapat dinyatakan sebagai berikut

$$Prugi\ total = P_c + P_{core} + P_{mech} + P_{stray} \quad (8)$$

D. Efisiensi Generator

Sebuah kinerja dari generator sinkron dapat dilihat dengan melakukan perhitungan efisiensi generator yang merupakan sebuah perbandingan diantara daya pada output generator dengan daya input juga rugi rugi yang diciptakannya. Berikut adalah persamaan dari perhitungan efisiensi generator.

$$\eta_{gen} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (9)$$

Dengan keterangan :

η_{gen} = Efisiensi generator (%)

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

P_{out} = Daya keluaran

P_{in} = Daya masukan

2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian kuantitatif, pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data yang berkaitan dengan spesifikasi generator, data arus generator, data arus eksitasi generator, faktor daya generator, data keluaran daya generator, dan data tegangan generator pada generator unit 3. Data yang diambil adalah data selama 7 hari berturut turut untuk kemudian dilakukan analisis dari pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi generator dengan menghitung rugi-rugi generator, menghitung daya input generator, serta menghitung pembebanan generator unit 3 untuk mengetahui nilai efisiensi generator pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

3. Hasil dan Pembahasan

A. Data Spesifikasi Generator

Spesifikasi generator yang digunakan pada PLTU Embalut unit 3 terdapat pada table berikut

Tabel 1. Spesifikasi Generator

Generator	
Manufaktur	Dong Fang
Tipe	QF-60-2-10,5A
kVA	70600 kVA
<i>Rated Output</i>	60 MW
Tegangan	10500 V
<i>Field amperes</i>	576,3 A
<i>Phase</i>	3
<i>Power factor</i>	0,85
Frekuensi	50 Hz
Tegangan eksitasi	98,9 V
Rpm	3000
<i>Amperes</i>	3881,3 A
Resistansi stator	0,005508 Ω
Resistansi rotor	0,079106 Ω

B. Data Pembebanan Generator

Data pembebanan yang diperoleh dari pihak PLTU Embalut untuk perhitungan adalah data pembebanan harian generator unit 3 di setiap jam selama tanggal 7-13 Oktober 2024.

Tabel 2. Pembebanan Generator Tanggal 7-13 Oktober 2024

JAM	Tanggal/Bulan (MW)						
	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10	13/10
00.00	57,1	56,2	56,5	55,7	45,8	55,8	53,3
01.00	55,6	57,8	57,5	56	46	54,2	56,6
02.00	56,2	56,3	56,9	39,4	46,1	53,7	52,1
03.00	54,2	56,7	56,2	36,4	37,7	57,5	56,2
04.00	55,4	56,8	53,4	35,9	36,2	56,3	56,8
05.00	57,5	56,6	55,9	37,2	37,1	55,3	55,8
06.00	58,3	56,8	54,9	36,1	36,3	55,2	56,9
07.00	45,1	56,5	56	35,4	35,6	54,7	47,4
08.00	46,3	56,4	56,7	36,8	35,2	56,2	46,3
09.00	57,2	57,1	55,9	57,6	56,4	56,4	44,9
10.00	56,7	54,6	56,8	56,9	56,7	57,1	45,9
11.00	56,1	57,7	59,7	57,6	56,3	57,4	47,1
12.00	56,5	57	55,8	59,9	56,1	55,5	45
13.00	56,4	57,5	57,6	45,7	55,5	55,9	44,5
14.00	56	57,1	56	46,6	57,8	58,9	55,1
15.00	56,2	56,9	55,8	45,6	58,3	52,8	56
16.00	57,2	56	56,8	46	57,3	55,2	55
17.00	56	57,6	54,4	49,9	58	57,5	53,5
18.00	56,7	58,6	55,6	52,2	58,3	55,7	55,5
19.00	55,9	54,5	55,6	57,6	58,8	54,8	56,1
20.00	55,4	57,9	57,4	54,2	54,6	55,5	56,9
21.00	54	57,8	56,3	46,8	55	58,5	57
22.00	55,9	57	55,9	47,3	57	57,4	56,2
23.00	56,8	55,9	58,6	46	57,4	56	56,1

Berdasarkan tabel 2 terjadi perubahan pada generator unit 3, namun cenderung konstan. Ketika beban generator naik maka arus eksitasi dan arus generator juga akan naik nilainya, sedangkan pada tegangan dan frekuensi tidak terpengaruh dengan beban karena nilai tegangan dan frekuensi cukup konstan. Faktor daya pembebanan bernilai positif atau generator beroperasi dalam keadaan lagging karena generator lebih banyak memasok daya pada beban resistif. Beban yang paling tinggi dibangkitkan pada generator unit 3 terjadi pada saat jam 12.00 pada tanggal 10 Oktober 2024 dengan nilai 59,9 MW, sedangkan beban

terendah yang dibangkitkan pada generator unit 3 terjadi pada saat jam 08.00 pada tanggal 11 Oktober 2024 dengan nilai 35,2 MW.

C. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Total Generator

Dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan diatas maka diperoleh hasil dari rugi-rugi daya total pada generator unit 3 di PLTU Embalut seperti pada table berikut.

Tabel 3. Rugi-Rugi Daya Total Generator Tanggal 7-13 Oktober 2024

JAM	Tanggal/Bulan (MW)						
	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12 /10	13/10
00.00	0,9406	0,939	0,9374	0,9395	0,8563	0,9351	0,9121
01.00	0,9321	0,9532	0,9482	0,9361	0,8549	0,9217	0,9388
02.00	0,9351	0,9374	0,9519	0,8165	0,8593	0,9187	0,9067
03.00	0,9236	0,9438	0,9419	0,7968	0,8109	0,9455	0,9368
04.00	0,9344	0,9427	0,9179	0,7896	0,7892	0,9358	0,9443
05.00	0,9535	0,9414	0,9397	0,7954	0,7977	0,9279	0,9368
06.00	0,96	0,9436	0,9289	0,7923	0,7914	0,9305	0,9429
07.00	0,8534	0,9443	0,9396	0,7898	0,7878	0,9294	0,8664
08.00	0,8615	0,9407	0,9446	0,7975	0,7901	0,9436	0,8613
09.00	0,9497	0,9493	0,9451	0,9602	0,945	0,9448	0,8566
10.00	0,9444	0,9299	0,9548	0,9511	0,9493	0,9511	0,8597
11.00	0,9423	0,9564	0,9773	0,9548	0,945	0,9591	0,8679
12.00	0,9403	0,9508	0,9402	0,9756	0,9425	0,9365	0,8536
13.00	0,9438	0,9547	0,9599	0,8568	0,9372	0,9433	0,851
14.00	0,9431	0,9523	0,9449	0,861	0,9576	0,9685	0,9353
15.00	0,9392	0,9511	0,9387	0,8583	0,961	0,9158	0,9424
16.00	0,9508	0,9432	0,956	0,8597	0,9499	0,9369	0,9341
17.00	0,9429	0,9531	0,9306	0,8564	0,9562	0,9531	0,9203
18.00	0,9476	0,962	0,9375	0,9075	0,9651	0,938	0,937
19.00	0,9404	0,9305	0,9421	0,957	0,9648	0,9276	0,9419
20.00	0,9391	0,9587	0,9561	0,9324	0,9308	0,9313	0,9462
21.00	0,9255	0,9589	0,9461	0,8694	0,9338	0,96	0,9475
22.00	0,9411	0,9485	0,9403	0,8724	0,9452	0,947	0,9397
23.00	0,9431	0,9354	0,9612	0,8545	0,9457	0,9358	0,939

Rugi-rugi daya total generator didapatkan melalui penjumlahan dari rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, dan rugi beban *stray* yang dimana nilai rugi besi dan rugi mekanik tidak mengalami perubahan dan memiliki nilai yang sama dari jam 00.00 – 23.00, hal ini disebabkan karena pada dasarnya tidak ada perubahan nilai frekuensi yang signifikan dan juga rugi besi dan rugi mekanik ini tidak dipengaruhi oleh perubahan beban generator. Sedangkan nilai rugi tembaga dan rugi beban *stray* berubah ubah sesuai dengan beban yang dibangkitkan oleh generator, arus pembebanan disini berpengaruh pada rugi beban *stray* sedangkan arus eksitasi berpengaruh pada rugi tembaga. Jadi semakin besar nilai arus pembebanan generator dan juga arus eksitasi maka nilai rugi tembaga dan rugi beban *stray* juga akan semakin besar.

Berdasarkan pada tabel 3 juga dapat dilihat bahwa rugi daya total yang dihasilkan oleh generator unit 3 ini cukup konstan sekitar angka 0,9. Generator unit 3 PLTU Embalut pada tanggal 7-13 Oktober 2024 memiliki rugi daya total tertinggi yaitu pada jam 11.00 pada tanggal 9 Oktober 2024 dengan nilai 0,9773 MW dengan beban yang dibangkitkan sebesar 59,7 MW, dan rugi daya total terendahnya yaitu pada jam 04.00 pada tanggal 11 Oktober 2024 dengan nilai 0,7892 MW dengan beban yang dibangkitkan sebesar 36,2 MW.

D. Hasil Perhitungan Efisiensi Generator

Perhitungan Efisiensi Generator yang dilakukan ini merupakan rasio antara daya listrik yang dihasilkan oleh generator dengan daya yang digunakan untuk mengoperasikannya, biasanya dinyatakan dalam persentase. Ini penting karena efisiensi yang baik berkontribusi pada penghematan biaya operasional dan pengurangan dampak lingkungan, serta memastikan kinerja yang optimal dalam sistem kelistrikan. Berikut merupakan contoh perhitungan efisiensi generator pada saat pembebanan tanggal 7 Oktober 2024 sampai tanggal 13 Oktober 2024. Dengan menggunakan persamaan diatas untuk menghitung efisiensi generator maka diperoleh nilai efisiensi generator unit 3 seperti pada tabel berikut

Tabel 4. Hasil Perhitungan Efisiensi Generator

JAM	Tanggal/Bulan						
	7/10 (%)	8/10 (%)	9/10 (%)	10/10 (%)	11/10 (%)	12 /10(%)	13/10(%)
00.00	98,38	98,36	98,37	98,34	98,16	98,35	98,32
01.00	98,35	98,38	98,38	98,36	98,18	98,33	98,37
02.00	98,36	98,36	98,35	97,97	98,17	98,32	98,29
03.00	98,32	98,36	98,35	97,86	97,89	98,38	98,36
04.00	98,34	98,37	98,31	97,85	97,87	98,37	98,36
05.00	98,37	98,36	98,35	97,91	97,9	98,35	98,35
06.00	98,38	98,37	98,34	97,85	97,87	98,34	98,37
07.00	98,14	98,36	98,35	97,82	97,83	98,33	98,2
08.00	98,17	98,36	98,36	97,88	97,8	98,35	98,17
09.00	98,37	98,36	98,34	98,36	98,35	98,35	98,13
10.00	98,36	98,33	98,35	98,36	98,35	98,36	98,16
11.00	98,35	98,37	98,39	98,37	98,35	98,36	98,19
12.00	98,36	98,36	98,34	98,39	98,35	98,34	98,14
13.00	98,35	98,37	98,36	98,16	98,34	98,34	98,12
14.00	98,34	98,36	98,34	98,19	98,37	98,38	98,33
15.00	98,36	98,36	98,35	98,15	98,38	98,3	98,34
16.00	98,36	98,34	98,34	98,17	98,37	98,33	98,33
17.00	98,34	98,37	98,32	98,31	98,38	98,37	98,31
18.00	98,36	98,38	98,34	98,29	98,37	98,34	98,34
19.00	98,35	98,32	98,33	98,37	98,39	98,34	98,35
20.00	98,33	98,37	98,36	98,31	98,32	98,35	98,36
21.00	98,31	98,37	98,35	98,18	98,33	98,39	98,36
22.00	98,34	98,36	98,35	98,19	98,37	98,38	98,36
23.00	98,37	98,35	98,39	98,18	98,38	98,36	98,35

Hubungan efisiensi generator dengan beban yang dilayani generator berbanding lurus, semakin tinggi beban generator maka efisiensi yang dihasilkan generator akan semakin tinggi juga. Nilai efisiensi generator tidak dapat mencapai 100% dikarenakan saat generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, generator akan mengalami kehilangan daya atau biasa disebut dengan rugi rugi daya generator.

Berdasarkan pada tabel 4 terlihat nilai efisiensi generator unit 3 memiliki nilai yang lumayan kosntan di kisaran 98,8%, dan ada juga beberapa nilai efisiensi yang turun hal ini dapat disebabkan karena daya keluaran yang dihasilkan oleh generator unit 3 di jam tersebut turun dari biasanya. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan generator unit 3 di tanggal 7-13 Oktober 2024 terjadi diangka sebesar 98,39%, nilai ini terjadi di beberapa jam contohnya di jam 11.00 pada tanggal 9 Oktober dengan daya yang dibangkitkan sebesar 59,7 MW, sedangkan efisiensi terendah yang dihasilkan generator terjadi pada saat jam 08.00 pada tanggal 11 Oktober yaitu sebesar 97,8% dengan daya yang dibangkitkan sebesar 35,2 MW.

E. Perbandingan Nilai Efisiensi Dengan Standar Efisiensi

Analisa dilakukan dengan cara melakukan perbandingan data efisiensi hasil perhitungan dengan data efisiensi desain dari generator itu sendiri dan dari standar efisiensi yang berlaku. Perbandingan efisiensi generator ini sangat penting dilakukan untuk menganalisis dan mengevaluasi kondisi operasional generator secara menyeluruh. Perbandingan dilakukan dengan standar spesifikasi yang ada yaitu IEC 60034-1 2004 dan standar efisiensi yang ada pada manual book generator unit 3.

Tabel 5. Standar Efisiensi Generator

Efisiensi	Standar Efisiensi (%)
Menurut IEC 60034-1 2004	≥ 85
Berdasarkan <i>Manual Book</i> ketika membangkitkan 100% dari daya kapasitas	$\geq 98,3$

Standar IEC 60034-1 tahun 2004 adalah pedoman operasional untuk generator sinkron. Dalam standar ini, diatur bahwa efisiensi dari sebuah generator harus beroperasi diatas 85% untuk memastikan bahwa generator tersebut dapat memberikan kinerja yang optimal. Sementara itu, dari hasil perhitungan dan data yang telah diperoleh dari pembebanan generator PLTU Embalut Unit 3 dari tanggal 7-13 Oktober 2024

didapatkan bahwa seluruh perhitungan efisiensi generator berada diatas 85%, diketahui juga nilai efisiensi tertinggi didapat sebesar 98,39% yang didapat pada beban maksimal.

Efisiensi dari desain generator PLTU Embalut Unit 3 dalam *manual book* generator diketahui bahwa nilai efisiensi desain pada 100% *rated* output atau beban yang dibangkitkan sebesar 100% dari kapasitas generator nilai efisiensinya adalah 98,3%, dimana dari hasil perhitungan dan data yang telah diperoleh dari pembebanan generator PLTU Embalut Unit 3 dari tanggal 7-13 Oktober 2024 didapatkan seluruh nilai efisiensi yang didapat berada diangka kurang lebih 98,3%, nilai efisiensi terendah yang didapat pada saat perhitungan adalah sebesar 97,8% yang didapat pada beban minimal.

Hal ini mengindikasikan bahwa generator tersebut beroperasi dalam kondisi yang sangat baik, dengan tidak adanya kerugian daya yang signifikan selama proses pembangkitannya. Kondisi ini menunjukkan nilai efisiensi yang optimal untuk menghasilkan energi listrik, dan untuk memastikan generator terus dalam kondisi yang terbaik dan efisien, sangat penting untuk melakukan pemeliharaan rutin dan terjadwal. Penurunan efisiensi dari desain awal generator dapat dimaklumi karena seiring berjalannya waktu (*life time*) dan sangat dipengaruhi oleh besaran dari rugi rugi generator yang terjadi seperti rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, dan rugi beban *stray*.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat dilihat bahwa pembebanan sangat berpengaruh terhadap efisiensi generator karena efisiensi generator berbanding lurus dengan beban atau daya keluaran yang dibangkitkan generator. Berdasarkan dari perhitungan nilai efisiensi generator dapat dinyatakan bahwa semakin besar daya keluaran atau semakin mendekati daya beban penuh maka generator akan bekerja lebih optimal sesuai dengan kapasitasnya. Hal ini dapat dilihat pada efisiensi tertinggi dan terendah masing masing generator, dimana efisiensi tertinggi terjadi ketika daya keluaran yang dibangkitkan generator sebesar 59,9 MW yang mana mendekati nilai daya beban penuh dengan efisiensi sebesar 98,39%, sedangkan efisiensi terendah terjadi ketika daya keluaran yang dibangkitkan generator sebesar 35,2 MW yang mana cukup jauh dengan nilai daya beban penuh dengan efisiensi generator sebesar 97,8%.

Dalam penelitian ini standar yang digunakan mengikuti standar IEC 60034-1 tahun 2004 dengan efisiensi sebesar 85% dan mengacu dari efisiensi dari desain generator itu sendiri sebesar 98,3% dengan membangkitkan beban 100% yang terdapat di manual book generator unit 3, dan hampir keseluruhan efisiensi generator berada di kisaran angka 98,3% yang mana dapat dikatakan generator unit 3 masih sangat layak untuk dioperasikan. Walaupun pada tanggal 10 dan 11 Oktober terjadi penurunan generator di jam jam tertentu yang nilainya angka 97,8% namun hal ini dapat dimaklumi karena masih dibawah standar dari standar efisiensi dari generator unit 3 tersebut.

5. Daftar Pustaka

- [1] PT PLN (Persero). (2017). Ruptl Pln 2017-2026. In *Jurnal Ruptl* (Vol. 1, Issue 3, p. 644). <http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL PLN 2017-2026.pdf>.
- [2] Oktavian, D. (2021). Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator Pada PLTA Wonogiri.
- [3] Candra, F. (2023). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator Di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan 2.
- [4] Apouw, A. A., & Mangindaan, G. M. C. and R. (2023). Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Generator. 1–6.
- [5] Farhan, M., Hidayat, R., Saragih Y. (2021). Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug. *Jurnal Simetrik*, Vol 11 (1).