

Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Belitan Terhadap Persentase Rugi Tembaga Generator Unit 2 PLTP Kamojang POMU

IDAN MUBAROK, NASRUN HARIYANTO

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email : Idanmubarok@gmail.com

ABSTRAK

Variasi perubahan beban dapat menimbulkan kenaikan temperatur belitan generator sehingga perlu diketahui kinerja generator dan persentase rugi tembaga akibat kenaikan temperatur belitan. Dilakukan visualisasi kurva kapabilitas untuk memuat karakteristik dan batas – batas aman pengoperasian, dan menghitung persentase rugi tembaga. Didapatkan hasil penelitian daya aktif tertinggi 54,4 MW, daya reaktif 12,3 MVAR pengoperasian berada pada batas aman kurva kapabilitas generator. Untuk perhitungan persentase rugi tembaga belitan hari libur dari daya aktif keseluruhan kenaikan temperatur stator (ΔT) maksimum 4,16°C diperoleh rugi tembaga 1,38 %, pada hari kerja dengan kenaikan temperatur stator 19,67°C diperoleh rugi tembaga 7,76%. Dan untuk daya reaktif keseluruhan hari libur dengan kenaikan temperatur belitan rotor (ΔT) maksimum 4°C persentase rugi tembaga belitan rotor sebesar 1%, pada hari kerja didapat kenaikan temperatur rotor sebesar 11°C persentase rugi tembaga pada belitan rotor sebesar 4,306%.

Kata kunci: Belitan Rotor, Belitan Stator, Daya aktif ,Daya reaktif, Rugi Tembaga, Temperatur belitan

ABSTRACT

Variations in load changes cause an increase in generator winding temperature, so it is necessary to know the performance of the generator and the percentage of copper loss due to the increase in winding temperature. Visualisation of the capability curve was carried out to contain the characteristics and safe operating limits, and calculate the percentage of copper loss. The highest active power of 54.4 MW, reactive power of 12,3 MVAR operating within the safe limits of the generator capability curve was obtained. For the calculation of the percentage of copper winding loss on holidays from the overall active power, the maximum stator temperature increase (ΔT) of 4.16°C obtained a copper loss of 1.38%, on weekdays with a stator temperature increase of 19.67°C obtained a copper loss of 7.76%. And for the overall reactive power on holidays with a maximum rotor winding temperature increase (ΔT) of 4°C the percentage of rotor winding copper loss is 1%, on weekdays a rotor temperature increase of 11°C is obtained, the percentage of copper loss in the rotor winding is 4.306%.

Keywords: Rotor Winding, Stator Winding, Active power, Reactive power, Copper Loss, Winding Temperature.

1. PENDAHULUAN

Pada proses pembangkitan energi listrik ini dibutuhkan komponen – komponen penting untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, salah satunya adalah generator. Kebutuhan pelanggan akan listrik tidak bisa dengan mudah diatur ditambah atau dikurangi pemakaiannya. Pengaruh dari permintaan pelanggan akan listrik dengan sifat beban yang bervariasi umumnya suplai daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR) oleh generator yang membuat arus beban akan mengalir akibat adanya kebutuhan beban tersebut, sehingga menimbulkan efek variasi terhadap temperatur belitan generator baik belitan stator ataupun belitan rotor **(Setiadi, 2018)**.

Kenaikan temperatur belitan generator berlebih dapat menyebabkan mengurangi umur dari belitan, mengakibatkan kegagalan isolasi dan menyebabkan kerusakan pada generator. Sehingga sifat beban yang bervariasi perlu diperhatikan, agar kenaikan temperatur generator belitan tidak menyebabkan berkurangnya umur belitan dan kegagalan isolasi **Sari, 2020**).

Adapun beberapa penelitian yang jadi referensi bahan landasan teori untuk penelitian ini. Panas akibat kenaikan temperatur belitan stator berlebih akan mengakibatkan timbulnya rugi-rugi tembaga pada belitan stator generator **(Johanda & Harris, 2017)**. Daya aktif dan reaktif dapat mempengaruhi kenaikan temperatur belitan generator di mana arus yang mengalir akan mengikuti beban (MW) dan (MVAR). Semakin tinggi temperatur belitan generator maka semakin besar menimbulkan rugi – rugi tembaga akibat kenaikan temperatur yang signifikan **(Ferdyekaputra, 2018)**. Semakin besar daya reaktif maka semakin besar arus eksitasi yang mengalir pada belitan rotor sehingga menyebabkan kenaikan temperaturnya dan besarnya arus eksitasi mempengaruhi variasi nilai beban daya reaktif **(Putra & Santoso, 2022)**.

Atas dasar pemikiran tersebut tujuan penulis mengetahui, mempelajari serta menganalisis hubungan pengaruh variasi perubahan temperatur belitan generator terhadap persentase rugi tembaga, apakah temperatur belitan masih dalam batas standar isolasi. menghitung besar persentase rugi-rugi tembaga dan kinerja generator bekerja dalam kondisi batas aman kurva kapabilitas generator yang diakibatkan oleh kenaikan temperatur belitan stator ataupun belitan rotor yang terjadi akibat variasi beban (daya aktif dan daya reaktif) yang dibutuhkan yang dapat mempengaruhi kinerja generator unit 2 PLTP Kamojang.

Diharapkan bisa memberikan manfaat dalam menjaga kualitas serta keandalan generator untuk menunjang kebutuhan beban dan bisa lebih ikut serta memperhatikan kenaikan temperatur belitan dari panas berlebih yang dapat mengakibatkan kegagalan isolasi, berkurangnya *lifetime* dan terhindar dari kerusakan generator.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Dalam proses penelitian mengenai “Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Belitan Terhadap Persentase Rugi Tembaga Generator Unit 2 PLTP Kamojang POMU”. Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan studi literatur mengenai generator, pengukuran generator, serta sistem pendingin generator. Adapun pengumpulan data yang diperlukan untuk dianalisis yaitu data spesifikasi generator, standarisasi isolasi, dan data *logsheet* generator unit 2 meliputi pengukuran besaran listrik generator. Setelah proses pengumpulan data sudah didapatkan maka dilakukan proses analisis kuantitatif. Perbandingan analisis data dilakukan untuk mengetahui hubungan pengaruh daya keluaran

terhadap temperatur belitan generator, menghitung besar perpindahan panas pada sistem pendingin, dan menghitung besar persentase rugi tembaga yang diakibatkan dari kenaikan temperatur belitan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai temperatur belitan masih sesuai dan dibawah standar kelas isolasi sebesar 130°C menurut standar IEEE Std 1-1969.

2.2 Pengumpulan Data

Data – data yang diperlukan untuk menunjang kebutuhan penelitian tentang “Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Belitan Stator dan Rotor Terhadap Prosentase Rugi – Rugi Tembaga Generator Unit 2 PLTP Kamojang” yaitu:

1. Data spesifikasi generator
2. *Logsheets* generator unit 2 PLTP Kamojang
 - Data aktif
 - Daya reaktif
 - Temperatur belitan stator dan rotor
 - Temperatur pendingin generator
 - Beserta besaran listrik keluaran lainnya

2.2.1 Data Spesifikasi Generator Unit 2 PLTP Kamojang

Tabel 1 Berikut ini merupakan data-data detail spesifikasi generator unit 2 PLTP Kamojang.

Tabel 1. Data Spesifikasi Generator Unit 2 PLTP Kamojang

Parameter	Keterangan
Pabrik Pembuat	<i>Mitsubishi Electric Corporation</i>
Phasa	3
Frekuensi	50 Hz
Tegangan pada Terminal	11.800 Volt
Arus pada Beban Nominal	3.364 Ampere
Daya Semu	68,7500 MVA
Daya Nyata	55 MW
Faktor Daya ($\cos \phi$)	0,8 <i>lagging</i>
Arus Eksitasi saat 0,8 <i>Lagging</i>	999 Ampere
Tegangan Eksitasi saat 0,8 <i>Lagging</i>	194 Volt
Kecepatan	3000 Rpm
Jumlah Kutub	2
Jumlah lilitan stator	96
Kelas Isolasi Stator	B
Kelas Isolasi Stator	B

2.2.2 Data Pengukuran Generator Unit 2 PLTP Kamojang

Tabel 2 merupakan data hari libur generator unit 2 pada tanggal 17 Juli 2022. Disajikan dalam bentuk tabel setiap jam untuk mengamati perubahan besaran listrik keluaran dan perubahan temperatur yang terjadi pada generator unit 2 PLTP Kamojang.

Tabel 2. Data Besaran Listrik Keluaran Dan Temperatur Generator Unit 2 PLTP Kamojang Pada 17 Juli 2022

Jam	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Tegangan Eksitasi (V)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	Temperatur Winding Stator (°C)	Temperatur Winding Rotor (°C)
01:00	41,6	3,5	47	2044	318	79,66667	64
02:00	41,6	3,3	45	2042	318	79,66667	64
03:00	41,6	3,4	43	2046	316	79,66667	64
04:00	41,6	3,3	42	2043	312	80,16667	65
05:00	41,5	4,8	45	2046	316	80,16667	65
06:00	41,7	6,1	47	2060	318	80,16667	65
07:00	41,6	4,8	47	2054	318	80,16667	65
08:00	41,5	7	46	2061	315	81,16667	66
09:00	41,6	9,6	45	2087	315	81,16667	66
10:00	41,6	8,9	46	2086	316	81,16667	66
11:00	41,7	8,8	46	2091	312	81,16667	66
12:00	41,7	8,9	45	2092	315	83,83333	68
13:00	41,4	11,4	44	2107	311	83,83333	68
14:00	41,6	11,7	46	2119	310	83,83333	68
15:00	41,6	11,8	45	2117	312	83,83333	68
16:00	41,6	11,7	53	2120	355	83,5	68
17:00	41,6	10,5	52	2107	344	83,5	68
18:00	41,6	10,3	50	2101	342	83,5	68
19:00	41,7	9,1	50	2096	336	83,5	68
20:00	41,6	8,7	51	2091	337	82,33333	67
21:00	41,6	9	51	2089	335	82,33333	67
22:00	41,6	7,5	50	2084	330	82,33333	67
23:00	41,6	7,4	49	2077	336	82,33333	67
00:00	41,6	4,6	47	2055	312	82,33333	67

Untuk perubahan daya aktif tidak terlalu signifikan itu berarti tidak ada perubahan yang besar dalam daya yang digunakan oleh beban. Untuk daya reaktif terjadi perubahan signifikan dikarenakan beban yang mempunyai karakteristik induktif dan kapasitif dimana dapat mengubah faktor daya dan mempengaruhi daya reaktif. Ketika rotor (gulungan medan magnet) berputar di sekitar stator, terjadi perubahan fluks magnetik yang memicu arus pada belitan stator. Arus ini merupakan hasil induksi elektromagnetik dan merupakan sumber daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Perubahan kenaikan arus medan atau eksitasi tertinggi mencapai 355 A mempengaruhi temperatur belitan rotor 68°C dan memicu kenaikan arus yang dihasilkan pada belitan stator naik mencapai sebesar 2120 A dengan temperatur belitan stator naik sampai 83,83°C.

Tabel 3 merupakan data hari kerja generator unit 2 pada tanggal 20 Juli 2022. Disajikan dalam bentuk tabel setiap jam untuk mengamati perubahan besaran listrik keluaran dan perubahan temperatur yang terjadi pada generator unit 2 PLTP Kamojang.

Tabel 3. Data Besaran Listrik Keluaran Dan Temperatur Generator Unit 2 PLTP Kamojang Pada 20 Juli 2022

Jam	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Tegangan Eksitasi (V)	Arus Jangkar (A)	Arus Eksitasi (A)	Temperatur Winding Stator (°C)	Temperatur Winding Rotor (°C)
01:00	54,3	4,1	60	2663	389	80,83333	66
02:00	54,3	10,3	63	2698	410	80,83333	66
03:00	54,4	7,2	65	2687	412	80,83333	66
04:00	54,4	6,5	65	2679	412	96,66667	72
05:00	54,2	8,4	67	2682	423	96,66667	72
06:00	54,2	11,1	67	2704	422	96,66667	72
07:00	54,3	11,7	66	2717	422	96,66667	72
08:00	54,2	11,2	66	2716	428	100,5	74
09:00	53,9	11	66	2701	416	100,5	74
10:00	53,9	12,3	66	2712	422	100,5	74
11:00	53,9	12	67	2709	422	100,5	74
12:00	53,9	8,7	63	2681	398	100,5	77
13:00	54	8,3	66	2675	416	100,5	77
14:00	53,8	9,1	65	2688	404	100,5	77
15:00	53,8	9,2	64	2684	398	100,5	77
16:00	53,8	3,4	65	2636	377	97,83333	76
17:00	53,3	0,9	67	2623	348	97,83333	76
18:00	53,5	6,5	65	2687	355	97,83333	76
19:00	54,3	4,1	60	2663	389	80,83333	66
20:00	54,3	10,3	63	2698	410	80,83333	66
21:00	54,4	7,2	65	2687	412	80,83333	66
22:00	54,4	6,5	65	2679	412	96,66667	72
23:00	54,2	8,4	67	2682	423	96,66667	72
00:00	54,2	11,1	67	2704	422	96,66667	72

Untuk beban pada saat hari kerja jauh lebih besar dibandingkan pada hari libur. Untuk perubahan daya aktif tidak terlalu signifikan dikisaran 54,4 – 53 MW. Untuk daya reaktif terjadi perubahan signifikan dikarenakan beban yang mempunyai karakteristik induktif dan kapasitif dimana dapat mengubah faktor daya dan mempengaruhi daya reaktif. Ketika rotor (gulungan medan magnet) berputar di sekitar stator, terjadi perubahan fluks magnetik yang memicu arus pada belitan stator. Arus ini merupakan hasil induksi elektromagnetik dan merupakan sumber daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Perubahan kenaikan arus medan atau eksitasi tertinggi mencapai 428 A mempengaruhi temperatur belitan rotor 74°C hingga mencapai 77°C dan memicu kenaikan arus yang dihasilkan pada belitan stator naik tertinggi mencapai sebesar 2716 A dengan temperatur belitan stator naik sampai 100,5°C.

2.3 Perhitungan Persentase Rugi Tembaga

Berdasarkan hasil penelitian dari **(Ni Made Putri Ulan Sari, 2020)**. Kenaikan temperatur generator belitan baik stator dan rotor dapat menyebabkan rugi panas pada belitan tembaga generator. Persentase rugi tembaga pada lilitan stator dan rotor dapat dihitung dengan rumus dan langkah-langkah sebagai berikut:

2.3.1 Menghitung Nilai Resistansi Belitan Generator Akibat Perubahan Temperatur Belitan Generator

Perubahan temperatur generator belitan khususnya kenaikan temperatur akan berdampak pada nilai resistansi belitan pada suhu tertentu. Korelasi perubahan temperatur generator

belitan (ΔT) dengan resistansi belitan pada suhu tertentu (R_t) dapat dihitung berdasarkan persamaan (1) di bawah ini:

$$R_t = R_0(1 + \alpha(\Delta T)) \quad (1)$$

Di mana:

R_t = Resistansi bahan pada suhu tertentu ($T_{\max}$ atau $T_{\min}$) (Ω)

R_0 = Resistansi bahan pada suhu referensi 20°C atau $T_{\min}$ (Ω)

α = Koefisien suhu bahan logam ($^\circ\text{C}$)

ΔT = Perubahan temperatur ($T_2 - T_1$) ($^\circ\text{C}$)

2.3.2 Menghitung Persentase Rugi – Rugi Tembaga (%Pcu) Akibat Kenaikan Temperatur Belitan Generator

Rugi tembaga yang timbul akibat kenaikan temperatur generator baik stator belitan ataupun rotor belitan dapat dihitung dengan perbedaan nilai resistansi saat kondisi temperatur minimum dan maksimum. Adapun perhitungan tersebut dapat dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$P_{cu} = \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Persentase rugi-rugi tembaga (%Pcu) yang dihitung untuk belitan stator dan rotor menggunakan acuan perubahan temperatur (ΔT) yang berbeda. Adapun perbedaan tersebut sebagai berikut:

a. Belitan Stator

Persentase rugi-rugi tembaga (%Pcu) saat kondisi perubahan temperatur stator belitan sebesar ΔT maksimum untuk beban (MW) secara keseluruhan.

b. Belitan Rotor

Persentase rugi-rugi tembaga (%Pcu) saat kondisi perubahan temperatur rotor belitan sebesar ΔT maksimum untuk beban (MVAR) secara keseluruhan.

2.4 Perhitungan Perpindahan Kalor pada Pendingin Udara Generator

Menurut **(Mahmudah & Ichsani, 2013)** pada penelitian (Re-design dan modifikasi generator cooler heat exchanger pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) untuk meningkatkan performansi) untuk menghitung perpindahan kalor pada pendingin udara generator menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$$Q_{\text{cooler}} = m_a \cdot c_p \cdot (\Delta T) \quad (3)$$

$Q_{\text{cooler}}/Q_{\text{act}}$ = Laju perpindahan panas pendingin (W)

m_a = Laju aliran massa udara (Kg/s)

c_p = Panas jenis udara (J/Kg.K)

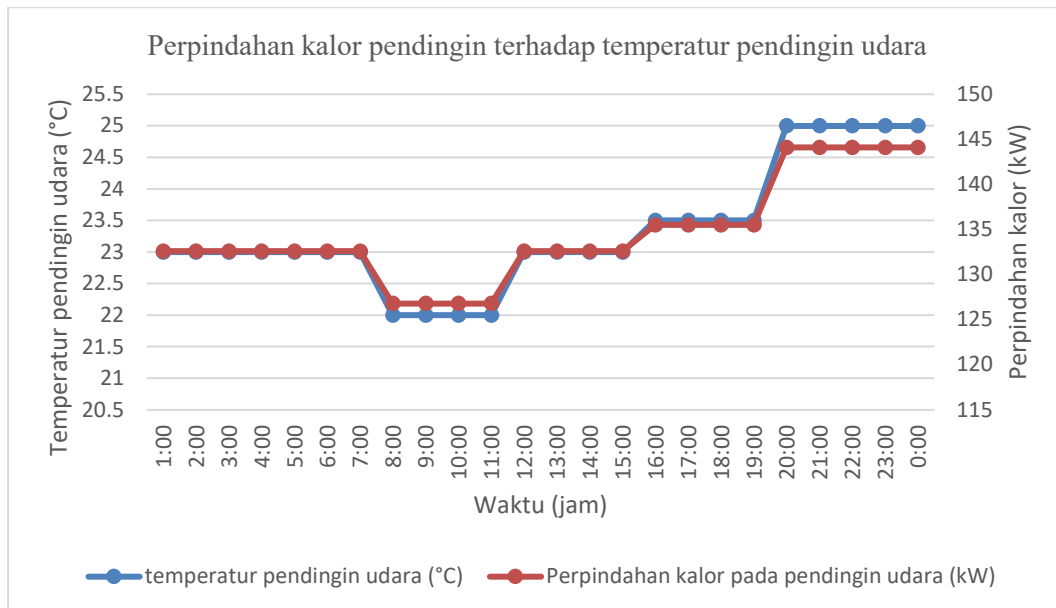
ΔT = Selisih temperature pendingin udara pada generator ($^\circ\text{C}$)

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Perhitungan Perpindahan Kalor pada Pendingin Udara Generator

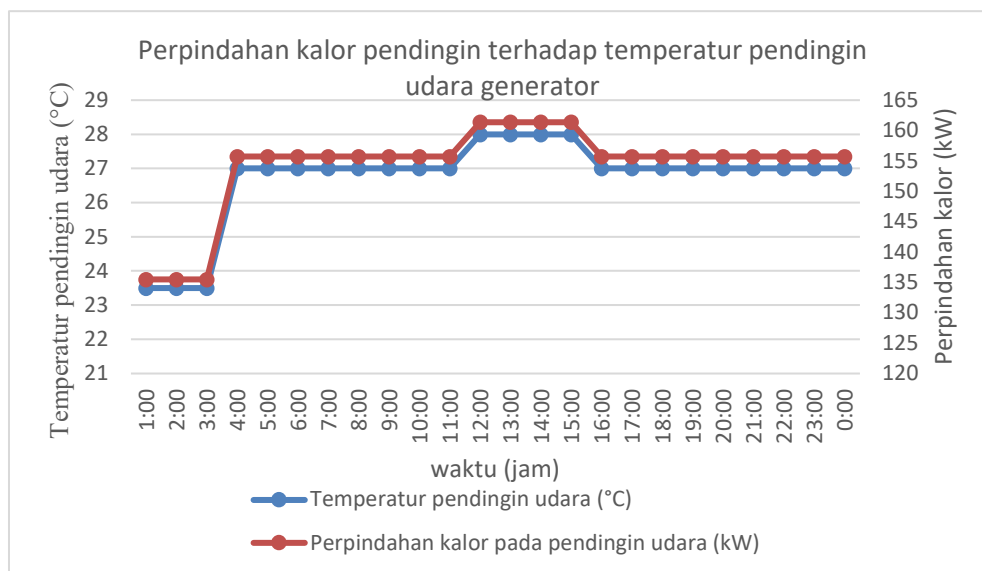
Mengacu pada referensi penelitian **(Ria Mahmudah, 2013)** dengan menggunakan rumus (3) untuk menghitung perpindahan kalor pada pendingin udara generator menggunakan persamaan 4.10. didapat berdasarkan pengujian teknisi O&M PLTP Kamojang POMU, dengan panas jenis udara sebesar 1.008 J/kg.K dan laju aliran massa sebesar 5,72 Kg/s.

Gambar 1 dan Gambar 2 merupakan hasil pengukuran perpindahan kalor yang terjadi pada sistem pendingin udara tertutup generator disajikan dalam bentuk grafik untuk membantu menganalisis.



Gambar 1. Hubungan Temperatur Pendingin Terhadap Perpindahan Kalor Pada Tanggal 17 Juli 2022

Garis biru merupakan hasil pengukuran temperatur pendingin udara dan garis merah merupakan hasil perpindahan kalor pendingin. Pada pukul 08:00 – 11:00 terjadi perpindahan kalor pendingin yang berbanding lurus dengan penurunan temperatur pendingin udara hingga titik terendah pada temperatur 22°C pada perpindahan kalor 126,8 kW pada pukul 11:00. Dan pada pukul 11:00 – 23:00 mengalami kenaikan temperatur pendingin udara hingga mencapai 25°C pada perpindahan kalor 144,1 kW.



Gambar 2. Hubungan Temperatur Pendingin Terhadap Perpindahan Kalor Pada Tanggal 20 Juli 2022

Pada pukul 03:00 – 15:00 terjadi perpindahan kalor pendingin yang diiringi dengan kenaikan temperatur pendingin udara hingga mencapai 28°C pada perpindahan kalor 161,4 kW pada

pukul 15:00. Dan pada pukul 15:00 – 23:00 mengalami penurunan temperatur pendingin udara stabil hingga mencapai 27°C pada perpindahan kalor 155,7 kW.

3.2 Perhitungan Persentase Rugi – Rugi Tembaga (%Pcu) Akibat Kenaikan Temperatur Belitan Stator

Dihitung dengan mengacu pada kondisi perubahan temperatur sebesar ΔT maksimum untuk beban (MW) keseluruhan dengan kenaikan temperatur 4,16°C. Berikut hasil perhitungan persentase rugi tembaga akibat kenaikan temperatur belitan stator disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Persentase Rugi Tembaga Belitan Stator Pada Hari Libur Minggu 17 Juli 2022

Temperatur Belitan Stator (°C)	Resistansi Belitan stator		Persentase Rugi Tembaga (Pcu%)
79,67	R ₁	0,0218 Ω	1,38%
83,83	R ₂	0,0221 Ω	

Tabel 5 merupakan hasil perhitungan persentase rugi tembaga pada hari kerja, saat kondisi perubahan sebesar ΔT maksimum sebesar 19,67°C.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Persentase Rugi Tembaga Belitan Stator Pada Hari Rabu 20 Juli 2022

Temperatur Belitan Stator (°C)	Resistansi Belitan stator		Persentase Rugi Tembaga (Pcu%)
80,83	R ₁	0,0219 Ω	7,76%
100,5	R ₂	0,0236 Ω	

Dilihat dari Tabel 4 dan 5 kenaikan temperatur belitan mempengaruhi besar resistansi belitan yang dihasilkan untuk menghitung persentase rugi tembaga. Kenaikan temperatur yang sebesar 19,67°C menimbulkan persentase rugi tembaga jauh lebih besar yaitu 7,76%.

3.3 Perhitungan Persentase Rugi – Rugi Tembaga (%Pcu) Akibat Kenaikan Temperatur Belitan Rotor

Berdasarkan referensi penelitian Ni Made Ulan Sari Rugi – rugi tembaga yang disebabkan oleh adanya pengaruh kenaikan temperatur belitan rotor. Untuk mengetahui rugi-rugi tembaga yang dihasilkan dan dinyatakan dalam persentase (%), dapat dihitung dengan mengacu pada kondisi perubahan temperatur sebesar ΔT maksimum untuk beban (MVAR) secara keseluruhan.

Tabel 6 merupakan hasil perhitungan persentase rugi tembaga saat kondisi perubahan temperatur terendah sebesar 64°C dan temperatur tertinggi sebesar 68°C yaitu selisih sebesar 4°C pada hari libur minggu 17 Juli 2022.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Persentase Rugi Tembaga Belitan Rotor Pada Hari Minggu 17 Juli 2022

Temperatur Belitan Rotor (°C)	Resistansi Belitan Rotor		Persentase Rugi Tembaga (Pcu%)
64	R ₁	0,0200 Ω	1%
68	R ₂	0,0202 Ω	

Tabel 7 merupakan hasil perhitungan persentase rugi tembaga pada hari kerja dari kenaikan temperatur 11°C untuk beban daya reaktif keseluruhan pada hari rabu 20 Juli 2022.

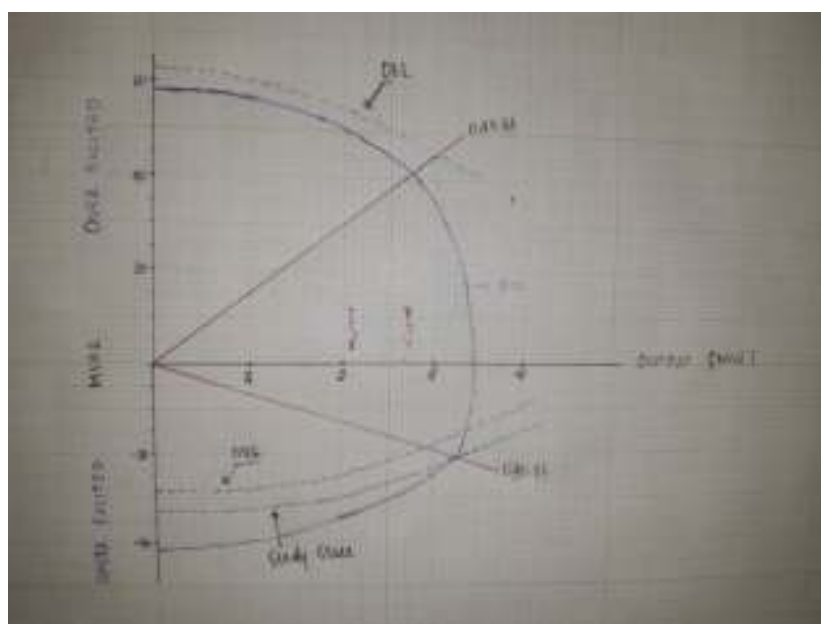
Tabel 7. Hasil Perhitungan Persentase Rugi Tembaga Belitan Rotor Pada Hari Rabu 20 Juli 2022

Temperatur Belitan Rotor (°C)	Resistansi Belitan Rotor		Persentase Rugi Tembaga (Pcu%)
66	R ₁	0,0209 Ω	4,306%
77	R ₂	0,0218 Ω	

Begitupun dilihat dari Tabel 6 dan 7 kenaikan temperatur belitan rotor mempengaruhi besar resistansi belitan yang dihasilkan untuk menghitung persentase rugi tembaga. Kenaikan temperatur yang sebesar 11°C menimbulkan persentase rugi tembaga jauh lebih besar yaitu 4,306%.

3.4 Analisis Pengoperasian Terhadap Generator pada Kurva Kapabilitas Generator Unit 2 PLTP Kamojang pada tanggal 17 dan 20 Juli 2022.

Didapatkan saat beban daya aktif maksimum sebesar 54,4 MW dengan daya reaktif sebesar 7,2 MVAR. Kemudian saat daya reaktif maksimum sebesar 12,3 MVAR dengan daya aktif sebesar 53,9 MW.



Gambar 3. Kurva Kapabilitas Generator Unit 2 Pada Tanggal 17 Dan 20 Juli 2022

Sedangkan batas daya aktif dan reaktif yang diperbolehkan menurut spesifikasi generator unit 2 PLTP Kamojang POMU, untuk daya aktif maksimum sebesar 56,5 MW dan untuk daya reaktif maksimum sebesar 27 MVAR dengan minimum -3 MVAR. Sehingga generator dikatakan masih beroperasi pada batas aman yang diperbolehkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dari 2 hari pengamatan persentase rugi – rugi tembaga ($P_{cu}\%$) diperoleh 1,38% untuk kenaikan temperatur stator sebesar $4,16^{\circ}\text{C}$ dan rugi tembaga pada belitan rotor sebesar 1% pada hari libur dikarenakan perubahan temperatur tidak terlalu besar. Sedangkan pada hari kerja diperoleh persentase rugi tembaga 7,76% untuk kenaikan temperatur belitan stator sebesar $19,67^{\circ}\text{C}$ saat ΔT maksimum. Dan persentase rugi tembaga belitan rotor sebesar 4,306% untuk kenaikan temperatur belitan rotor sebesar 11°C saat kondisi ΔT maksimum pada hari kerja. Didapat dari selisih kenaikan temperatur belitan yang besar menghasilkan nilai resistansi belitan yang lebih besar pula, sehingga mengakibatkan persentase rugi tembaga juga naik.

Berdasarkan hasil dari penelitian perpindahan kalor atau panas masih linier sesuai dengan kenaikan dan penurunan temperatur pendingin udara. Temperatur belitan masih berada dibawah batas standar maksimum kelas isolasi tipe B sebesar 130°C menurut IEEE Std 1-1969. Serta generator masih tetap beroperasi pada batas aman kurva kapabilitas generator dengan daya aktif maksimum sebesar 54,4 MW dan daya reaktif 12,3 MVAR dengan batas maksimum untuk daya aktif sebesar 56,4 MW dan daya reaktif 27 MVAR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT Indonesia Power Kamojang POMU yang telah mengizinkan dan memberi data serta pengalaman kepada penulis untuk keperluan dalam penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Ferdyekaputra. (2018). Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Belitan Terhadap Kinerja Generator pada PLTA Siguragura. *Repositori Institusi Universitas Sumatera Utara*, 25–56.
- Johanda, & Muhammad Harris. (2017). Pengaruh Pembebanan Terhadap Temperatur Stator Generator Sinkron pada PLTU Pelabuhan Ratu. *Repositori Institusi Universitas Sumatera Utara (RI-USU)*, 50–70.
- Ni Made Putri Ulan Sari. (2020). Analisis Pengaruh Variasi Beban Terhadap Perubahan Temperatur Generator Winding Pada Generator Sinkron di PT Indonesia Power Suralaya PGU Unit 5.
- Putra, S. A., & Santoso, D. B. (2022). Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Sinkron Unit 3 PLTA UBRUG. *Jurnal DISPROTEK*, 13(2), 113–122. <https://doi.org/10.34001/jdpt.v13i2.3160>
- Ria Mahmudah, & Djatmiko Ichani. (2013). Re-Design dan Modifikasi Generator Cooler Heat Exchanger Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) untuk Meningkatkan Performasi. *Jurnal Teknik Pomits*, 2, 409–413.
- Setiadi, D. (2018). Analisis Data Daya Reaktif Dan Aktif Berdasarkan Kurva Kapabilitas Generator di PLTP Kamojang.