

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN LISTRIK TERHADAP TRANSFORMATOR DAYA DI PLTA TANGGARI

Friska Febri Yanti Karundeng *¹
Fransiskus R. Seke ²
Viverdy F. C. Memah ³

^{1,2,3} Electrical Engineering Education, Faculty of Engineering, Manado State University
*e-mail: friskakarundeng21@gmail.com

Abstrak

Energi listrik menjadi kebutuhan vital dalam kehidupan masyarakat, dan permintaan akan energi listrik terus meningkat seiring perkembangan zaman. Indonesia, sebagai negara berkembang, mengidentifikasi teknologi sebagai kunci untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Energi listrik menjadi pondasi bagi kemajuan modern dan kualitas hidup yang lebih baik serta pertumbuhan industri yang lebih maju. Transformator, alat penting dalam konversi energi listrik, mengalami berbagai masalah, termasuk efisiensi yang tidak optimal. Oleh karena itu, studi ini berfokus pada analisis pengaruh perubahan beban listrik terhadap transformator daya di PLTA Tanggari 2, sebuah pembangkit listrik utama di Sulawesi Utara. Dalam penelitian ini, metode penelitian melibatkan penelitian pustaka, lapangan, observasi, dan wawancara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi transformator dipengaruhi oleh beban listrik. Nilai efisiensi cenderung menurun saat beban listrik meningkat dan sebaliknya. Selain itu, perubahan arus pada transformator dan arus eksitasi juga memengaruhi rugi pada stator dan rotor. Berdasarkan hasil pengukuran, efisiensi transformator unit 1 dan 2 di PLTA Tanggari 2 mencapai $\pm 98\%$, menunjukkan kinerja yang sangat efisien sesuai dengan desain. Oleh karena itu, pemantauan dan analisis efisiensi transformator menjadi penting untuk memastikan kinerjanya yang optimal dan keandalan sistem kelistrikan.

Kata Kunci: Energi Listrik, Transformator, Arus Eksitasi, Rugi Stator dan Rotor

Abstract

Electrical energy has become a vital need in people's lives, and the demand for electrical energy continues to increase over time. Indonesia, as a developing country, identifies technology as the key to increasing economic growth. Electrical energy is the foundation for modern progress and a better quality of life as well as more advanced industrial growth. Transformers, important tools in electrical energy conversion, experience various problems, including suboptimal efficiency. Therefore, this study focuses on analyzing the effect of changes in electrical load on power transformers at the Tanggari 2 PLTA, a major power plant in North Sulawesi. In this research, the research method involves library research, field research, observation and interviews. The research results show that transformer efficiency is influenced by the electrical load. The efficiency value tends to decrease when the electrical load increases and vice versa. Apart from that, changes in current in the transformer and excitation current also affect losses in the stator and rotor. Based on measurement results, the efficiency of transformer units 1 and 2 at the Tanggari 2 PLTA reached $\pm 98\%$, indicating very efficient performance according to design. Therefore, monitoring and analyzing transformer efficiency is important to ensure its optimal performance and reliability of the electrical system.

Keywords: Electrical Energy, Transformer, Excitation Current, Stator and Rotor Losses

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu sumber energi listrik terbarukan yang penting di Indonesia. PLTA menghasilkan energi listrik melalui turbin yang digerakkan oleh aliran air. Transformator daya merupakan komponen vital di PLTA yang berfungsi untuk menaikkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator menjadi tegangan yang sesuai untuk distribusi ke jaringan listrik.

Indonesia merupakan negara berkembang yang menjadikan teknologi sebagai sebuah peluang untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Tenaga listrik merupakan pedoman bagi kehidupan modern dan tersedianya jumlah dan mutu yang cukup menjadi syarat bagi suatu masyarakat yang memiliki tingkat taraf kehidupan yang lebih baik dan perkembangan industri

yang lebih maju. (Abdul 2010 : 3). Permintaan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi. Hal ini menyebabkan perubahan beban listrik yang signifikan pada sistem kelistrikan, termasuk PLTA. Perubahan beban listrik dapat berdampak negatif pada kinerja transformator daya seperti: penurunan efisiensi, peningkatan suhu, serta penurunan tegangan. Maka dari itu salah satu alat yang digunakan dalam mengkonversi listrik yaitu transformator atau sering disebut trafo. Transformator ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Pada transformator terdapat banyak masalah- masalah yang timbul termasuk permasalahan efisiensi transformator.

Memahami pengaruh perubahan beban listrik terhadap transformator daya di PLTA Tanggari sangatlah penting untuk meningkatkan efisiensi analisis yang dapat membantu menentukan strategi operasi yang optimal untuk memaksimalkan efisiensi transformator daya dan meminimalkan pemborosan energi.

Transformator yang tidak dapat bekerja secara efisien akan menyebabkan ketidakefektifan pada transformator dan sistem kelistrikan konsumen akan terganggu. Efisiensi pada transformator akan mempengaruhi kinerja dari sistem pembangkit listrik. Pemilihan judul “ Analisis pengaruh perubahan beban listrik terhadap transformator daya di PLTA Tanggari ” berawal dari setelah melihat semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi, jumlah penduduk serta semakin berkembangnya bangunan-bangunan industri di Sulawesi utara yang tentunya sangat bergantung pada kebutuhan energi listrik yang semakin besar dan lebih berkualitas. (Irwan Nas, 2017) PLTA merupakan sumber energi listrik terbarukan yang penting di Indonesia, dan transformator daya merupakan komponen vital dalam sistem kelistrikan PLTA. Maka dari itu permintaan energi listrik terus meningkat, sehingga perubahan beban listrik menjadi isu penting yang perlu dikaji di PLTA. Memahami pengaruh perubahan beban listrik terhadap transformator daya di PLTA sangat penting untuk meningkatkan efisiensi operasi PLTA memperpanjang umur pakai transformator daya, menjaga kualitas daya pada jaringan listrik untuk masa depan yang lebih baik.

PLTA Tanggari merupakan salah satu anak perusahaan PT PLN (Persero) yang bergerak di bidang Unit Jasa Pembangkitan energi listrik dengan memanfaatkan sumber air yang memasok daya sebesar (2x50MW). Merupakan salah satu sumber pemasok tenaga listrik di Kec. Airmadidi Kab. Minahasa Utara Prov. Sulawesi utara. Dari hal tersebut peneliti mencoba untuk mencari bagaimana cara untuk memaksimalkan sumber energi listrik yang bisa dihasilkan.

Dan pembebanan listrik yang merupakan sesuatu beban yang harus di pikul oleh Pembangkit listrik dalam menyuplai energi listrik kepada pelanggannya. Sedangkan Transformator adalah suatu alat yang menggunakan prinsip induksi magnet yang handal, sederhana, dan efisien yang dapat mengubah tegangan arus bolak balik dari tingkat ke tingkat yang lain. Transformator memegang peranan yang sangat penting dalam kelangsungan atau produksi energi listrik. Pola pembebanan yang di tanggung oleh pembangkit listrik sifatnya tidak stabil karena sebagian listrik di salurkan ke pelanggan rumah tangga. Rugi-rugi yang terdapat di dalam transformator adalah rugi rugi inti tembaga, yang menyebabkan perbedaan daya masukan dengan daya keluaran, semakin besar rugi yang dihasilkan maka semakin besar pula energi yang terbuang oleh transformator sendiri.

Transformator merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan, terutama di pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Saat beroperasi transformator seringkali mengalami berbagai kendala yang dapat mengganggu kinerja bahkan menyebabkan kerusakan. Untuk mencegah dan menanggulangi kendala pada transformator maka perlu dilakukan pemantauan beban yang terhubung pada transformator secara berkala dan hindari kelebihan beban.

Memasang peralatan pengaturan tegangan gunakan peralatan pengatur tegangan untuk menjaga stabilitas tegangan pada jaringan listrik dan menggunakan sistem pemantauan untuk memantau kinerja transformator secara real-time dan mendeteksi potensi masalah sedini mungkin.

Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi para pembaca agar

dapat mengetahui pembebanan transformator secara meluas sehingga penelitian ini dapat membantu meningkatkan kinerja PLTA dan juga mengurangi biaya operasi, dan menjaga keandalan sistem kelistrikan. Dalam hal ini dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut tentang pengaruh perubahan beban listrik terhadap transformator daya di PLTA

Memahami pengaruh perubahan beban listrik terhadap transformator daya di PLTA tanggari merupakan langkah penting dalam meningkatkan efisiensi operasi PLTA, memperpanjang umur pakai transformator daya, dan menjaga kualitas daya pada jaringan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan daya di PLTA tanggari. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi operator PLTA, teknisi listrik, dan peneliti dalam mengoptimalkan kinerja transformator daya dan menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

Operasional PLTA Tanggari tidak luput dari fluktuasi beban listrik. Fluktuasi beban ini dapat berakibat pada perubahan kinerja transformator daya, seperti efisiensi, rugi-rugi, dan panas yang dihasilkan. Hal ini dikhawatirkan dapat memperpendek umur transformator daya dan mengganggu kelancaran operasi pembangkit listrik.

METODE

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTA Tanggari. Lama penelitian dalam waktu 2 bulan mulai dari bulan Mei sampai Juni 2023.

B. Alat Dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini instrument penelitian yang dipakai adalah sebagai berikut:

- Alat tulis menulis
- Tang Ampere
- Laptop
- Kamera

C. Jenis data dan sumber data

Data diperoleh di PLTA Tanggari serta data yang diperlukan antara lain ; spesifikasi transformator, data pembebanan transformator, diagram satu garis transformator.

D. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode penelitian berikut :

a. Penelitian pustaka

Metode ini digunakan untuk mengumpulkan data-data atau informasi dengan cara membaca dan mengkaji sumber literatur seperti , buku, artikel, laporan kerja dan dokumen lain sesuai masalah yang diteliti.

b. Penelitian lapangan

Metode ini dilakukan secara langsung oleh peneliti terhadap obyek penelitian, yaitu kajian penampang penghantar dalam system kelistrikan di area tambak.

c. Observasi (Pengamatan Langsung)

Penulis mengadakan pengamatan langsung terhadap objek yang diteliti guna mengumpulkan data-data.

d. Interview (Wawancara)

Penulis melakukan tanya jawab secara langsung untuk memperoleh data-data dengan pihak-pihak yang memahami permasalahan ini.

E. Teknik Analisis Data

Metode dalam menganalisis data menggunakan teknik perhitungan jberdasarkan rumus-rumus yang telah ditetapkan (Analisis matematis).

Adapun dalam perhitungan nilai efisiensi transformator daya dapat digunakan rumus sebagai

berikut :

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan : η : Efisiensi trafo (%)

P_{out} : Daya keluaran trafo (watt)

P_{in} : Daya masukan trafo (watt)

F. Hasil

Hasil adalah penyelesaian dari permasalahan yang ada dalam penelitian ini. Permasalahan yang ada diselesaikan dengan cara matematis menggunakan persamaan yang sudah ada, hasil penelitian ini berupa kesimpulan yang menunjukkan data dan pengaruh perubahan beban listrik terhadap transformator.

Adapun dalam perhitungan nilai efisiensi transformator daya dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan: η : Efisiensi trafo (%)

P_{out} : Daya keluaran trafo (watt)

P_{in} : Daya masukan trafo (watt)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data transformator

Ukuran dan Kapasitas :

1. Transformator tersedia dalam berbagai ukuran dan kapasitas, mulai dari yang kecil untuk keperluan rumah tangga hingga yang sangat besar untuk pembangkit listrik.
2. Kapasitas transformator diukur dalam volt-ampere (VA) atau kilovolt-ampere (kVA).
3. 1 kVA sama dengan 1.000 VA.

Jenis transformator :

1. Transformator daya: Digunakan untuk menyalurkan daya listrik dalam jumlah besar.
2. Transformator distribusi: Digunakan untuk mendistribusikan daya listrik dari gardu induk ke pelanggan.
3. Transformator instrument: Digunakan untuk mengubah tegangan dan arus AC menjadi nilai yang lebih kecil untuk pengukuran.
4. Transformator autotransformator: Memiliki satu kumparan yang berfungsi sebagai kumparan primer dan sekunder.
5. Transformator kering: Menggunakan udara untuk pendinginan.
6. Transformator minyak: Menggunakan minyak untuk pendinginan.

Data Teknis Transformator:

Beberapa data teknis penting yang perlu diketahui tentang transformator meliputi:

1. Tegangan primer dan sekunder : Tegangan pada sisi primer dan sekunder transformator.
2. Kapasitas : Kapasitas transformator dalam kVA.
3. Impedansi : Impedansi transformator, yang merupakan hambatan listrik yang dilihat oleh beban.
4. Frekuensi operasi : Frekuensi AC yang digunakan oleh transformator.
5. Kelas isolasi : Kelas isolasi transformator, yang menunjukkan kemampuannya untuk menahan tegangan tinggi.
6. Metode pendinginan : Metode yang digunakan untuk mendinginkan transformator.

Secara umum, PLTA dengan kapasitas kecil (dibawah 10 MW) bisa menggunakan satu atau dua transformator. PLTA dengan kapasitas sedang (10-100 MW) biasanya menggunakan tiga atau empat transformator, sedangkan PLTA dengan kapasitas besar (lebih dari 100 MW) bisa menggunakan lima atau lebih transformator.

Name Plate Transformator :

Informasi Umum:

1. Nama Pabrik: PT XYZ
2. Model: Transformator Daya 3 Fasa
3. Nomor Seri: 123456789
4. Tahun Pembuatan: 2020

Spesifikasi Listrik:

1. Tegangan Primer: 132 kV
2. Tegangan Sekunder: 33 kV
3. Kapasitas: 100 MVA
4. Frekuensi: 50 Hz
5. Impedansi: 12%
6. Kelas Isolasi: F

Informasi Lainnya:

1. Metode Pendinginan: Minyak
2. Berat: 50 ton
3. Standar: IEC 60076

Tabel 1. Data logsheet transformator

Data	Transformator (MW)	Arus Eksitasi (A)	Arus Transformator (A)	Tegangan (kV)	Jam
1/2/2023	625,69	3715,25	16.510	22,25	7.00
2/2/2023	633,75	3740,44	16.780	22,14	9.00
3/2/2023	647,13	3829,36	17.140	22,19	12.00
4/2/2023	653,66	3862,66	17.320	22,18	15.00
5/2/2023	644,99	3757,59	17.130	22,01	17.00
6/2/2023	650,69	3869,52	17.190	22,29	19.00
7/2/2023	653,00	3819,67	17.150	22,32	20.00
8/2/2023	653,33	3809,52	17.210	22,24	21.00
9/2/2023	679,49	4010,39	17.940	22,33	22.00
10/2/2023	626,33	3753,28	16.510	22,34	24.00

B. Perhitungan Rugi-Rugi Transformator

Efisiensi Transformator dapat diketahui dengan menghitung besarnya rugi daya terlebih dahulu. Berikut contoh perhitungan rugi-rugi generator pada sampel data hari pertama Kamis 1 Februari 2023. Dengan perhitungan Rugi tembaga (rugi ohmik) dan rugi inti (rugi besi) dapat dihitung sebagai berikut :

a. Rugi Tembaga (rugi ohmik)

$$P_{cu} = I^2 * R_c \tag{3}$$

Keterangan : P_{cu} : Rugi tembaga (W)

I: Arus yang mengalir melalui lilitan (A)

R_c : Resistensi total lilitan (Ω)

b. Rugi Inti (rugi besi)

$$P_{ci} = K_f \cdot V^2 \cdot f^2 \tag{4}$$

Keterangan : P_{ci} : Rugi inti (W)
 K_f : Konstanta rugi inti ($W/s \cdot V^2 \cdot f^2$)
 V : Tegangan nominal trafo (V)
 f : Frekuensi (Hz)

Berdasarkan tabel data logsheet diperoleh total daya di transformator adalah sebesar 626,33 pada 10/2/2023 pukul 24.00 yang mengakibatkan perubahan arus eksitasi yang dapat mempengaruhi nilai rugi pada transformator dimana ketika nilai arus transformator dan arus eksitasi besar maka nilai rugi akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus transformator dan arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada transformator akan menurun.

C. Perhitungan Daya Input Transformator

Perhitungan Pin Transformator yaitu dengan menjumlahkan nilai Pout generator dengan total rugi-rugi generator. Berikut contoh perhitungan daya masukan Transformator pada sampel data hari pertama kamis 1 februari 2023 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{Out} + \Sigma P_{rugi-rugi} \tag{5} \\ &= 625,69 \text{ MW} + 11,49 \text{ MW} \\ &= 637,18 \text{ MW} \end{aligned}$$

D. Perhitungan Efisiensi Transformator

Sampel data perhitungan hari ke-1 kamis 1 februari 2024. Persentase efisiensi Transformantor diperoleh dari data pembebanan Transformantor sebagai berikut :

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% \tag{6}$$

Keterangan : η Efisiensi trafo (%)
 P_{out} : Daya keluaran trafo (watt)
 P_{in} : Daya masukan trafo (watt)
 $\eta_{gen} = 0,9819674189 \times 100\%$
 $\eta_{gen} = 98,20 \%$

Untuk perhitungan efisiensi Transformantor diurutkan berdasarkan beban yang paling kecil ke beban yang besar, bukan berdasarkan data harian yang ada di Logsheets transformator. Sehingga nilai efisiensi pada Transformantor sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil perhitungan efisiensi Transformantor

Data	Pin Transformantor (MW)	Pout Transformantor (MW)	Beban Transformantor (%)	Efisiensi perhitungan (%)
1	637,18	625,69	95	98,20
2	637,88	626,33	95	98,19
3	645,44	633,75	96	98,19
4	656,94	644,99	98	98,18
5	659,20	647,13	98	98,17
6	662,87	650,69	99	98,16
7	665,12	653,00	99	98,18
8	665,46	653,33	99	98,18
9	665,91	653,66	99	98,16
10	692,43	679,49	103	98,13

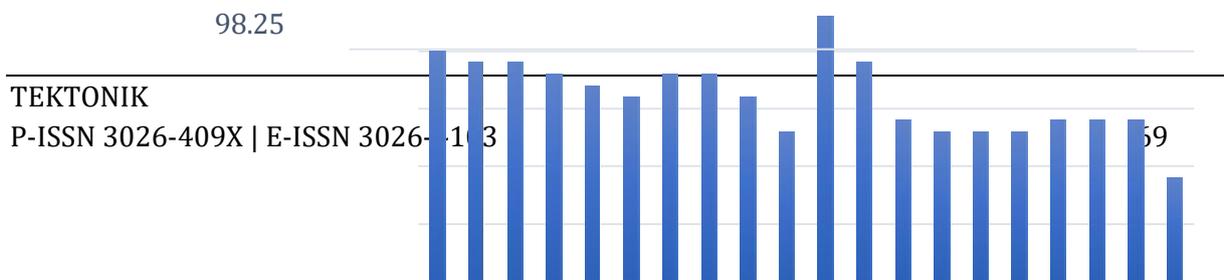
Rata-rata	658,84	646,81	98	98,17
-----------	--------	--------	----	-------

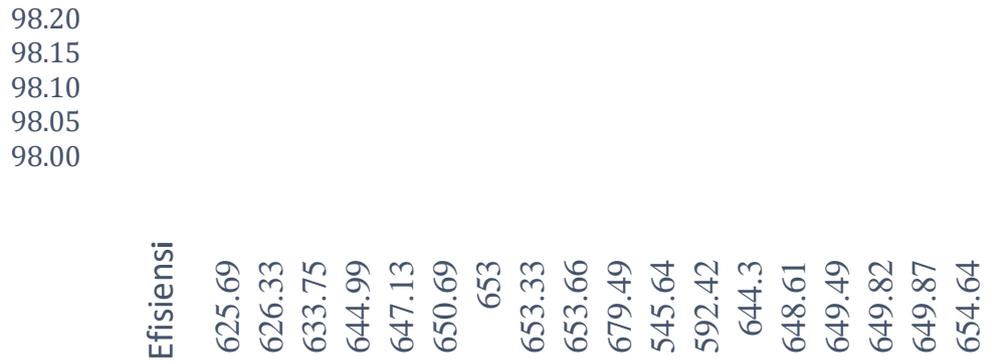
Tabel 3. Hasil perhitungan efisiensi Transformantor

Data	Pin Transformantor (MW)	Pout Transformantor (MW)	Beban Transformantor (%)	Efisiensi perhitungan (%)
1	555,45	545,64	83	98,23
2	603,31	592,42	90	98,19
3	656,49	644,30	98	98,14
4	660,95	648,61	98	98,13
5	661,87	649,49	98	98,13
6	662,23	649,82	98	98,13
7	662,15	649,87	98	98,14
8	667,06	654,64	99	98,14
9	669,15	656,68	99	98,14
10	692,30	679,11	103	98,09
Rata-rata	649,10	637,06	97	98,14

Berdasarkan efisiensi rata-rata transformator sebesar 98,17 % dan beban rata-rata sebesar 646,81 MW. menunjukkan efisiensi terendah saat beban melebihi nilai maksimum sebesar 679,49 MW atau 103 % dengan efisiensi sebesar 98,13%, sedangkan efisiensi tertinggi pada saat beban sebesar 625,69 MW atau sebesar 95% dengan nilai efisiensi 98,20%. Dari Tabel 2 terlihat bahwa perubahan beban Transformantor dapat mempengaruhi nilai efisiensi, dengan nilai beban yang tinggi atau daya Transformantor yang tinggi maka efisiensinya lebih rendah. Sedangkan dengan nilai beban yang rendah atau daya

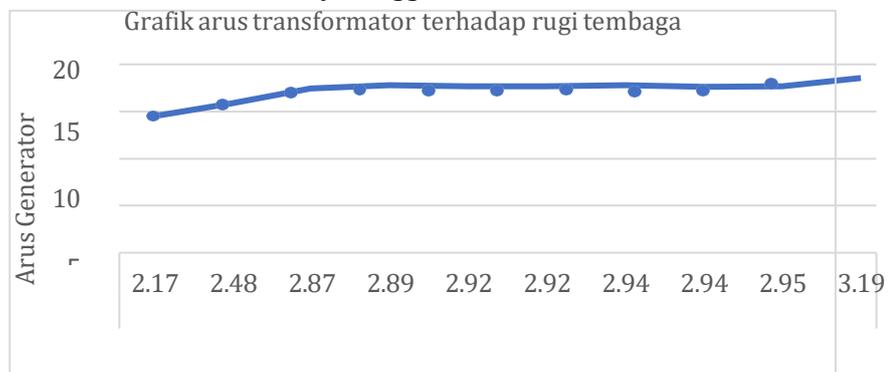
Berdasarkan efisiensi Transformantor yaitu 98,14 % dan rata-rata bebannya sebesar 637,06 MW. Tabel 3 menunjukkan efisiensi terendah saat beban melebihi nilai maksimum sebesar 679,11 MW atau 103% dengan nilai efisiensi sebesar 98,13%, Sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada saat beban 545,64 MW atau 83% dengan nilai efisiensi sebesar 98,23%. Jadi, dapat dilihat pada tabel 3 tersebut bahwa terlihat bahwa perubahan beban Transformantor dapat mempengaruhi nilai efisiensi, dengan nilai beban yang tinggi atau daya Transformantor yang tinggi maka efisiensinya lebih rendah. Sedangkan dengan nilai beban yang rendah atau daya Transformantor yang rendah maka efisiensinya meningkat.





Gambar 1. Grafik beban terhadap efisiensi Transformator

Jika dilihat dari grafik diatas terjadi fluktuasi nilai efisiensi transformator Selama pengambilan data dari tanggal 1-10 Februari 2023 menunjukkan bahwa nilai efisiensi terendah terjadi pada saat beban mencapai 679,49 MW atau 103%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,13%. Sebaliknya, nilai efisiensi tertinggi terjadi pada saat beban 625,69 MW atau 95%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,20% Sedangkan nilai efisiensi terendah pada saat beban mencapai 679,11 MW atau 103%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,13%. Sedangkan, nilai efisiensi tertinggi pada saat beban mencapai 545,64 MW atau 83%, dengan nilai efisiensi mencapai 98,23%. Perubahan beban pada Transformator dapat mempengaruhi nilai efisiensi, sehingga pada saat nilai beban atau daya Transformator tinggi maka efisiensinya rendah, sedangkan pada saat nilai beban atau daya Transformator rendah maka nilai efisiensinya tinggi.



Gambar 2. Grafik arus eksitasi terhadap rugi tembaga

Jika dilihat dari grafik diatas menunjukkan bahwa perubahan arus pada Transformator dapat mempengaruhi nilai rugi pada tembaga, dimana ketika nilai arus Transformator besar maka nilai rugi pada tembaga akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator kecil maka nilai rugi pada tembaga akan menurun



Gambar 3. Grafik arus eksitasi terhadap rugi besi

Jika dilihat dari grafik diatas menunjukkan bahwa perubahan arus pada eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada besi, dimana ketika nilai arus eksitasi besar maka nilai rugi pada tembaga akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada tembaga akan menurun.

E. Hasil Perhitungan Pembebanan Transformator

Tabel 4. Data Perhitungan Pembebanan Transformator

Data	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAR)
1/2/2023	636,26	629,90	89,07
2/2/2023	643,47	637,03	90,08
3/2/2023	658,76	652,17	92,22
4/2/2023	665,38	652,07	126,42
5/2/2023	653,03	646,50	91,42
6/2/2023	663,66	650,38	126,09
7/2/2023	663,00	656,37	92,82
8/2/2023	662,94	656,31	92,81
9/2/2023	693,85	679,98	131,83
10/2/2023	638,83	626,06	121,37

Contoh perhitungan daya semu, aktif dan reaktif hari pertama kamis 1 februari 2023 sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \tag{7}$$

$$= \sqrt{3} \times 22.250 \times 16.510$$

$$= 636.264.534$$

$$= 636,264 \text{ MVA}$$

$$P = \sqrt{3} \times V_g \times I_g \times \text{Cos}\phi \tag{8}$$

$$= \sqrt{3} \times 22.250 \times 16.510 \times 0,99$$

$$\begin{aligned} &= 629.901.888 \\ &= 629,901 \text{ MW} \\ Q &= \sqrt{3} \times V_g \times I_g \times \sin\phi \quad (9) \\ &= \sqrt{3} \times 22.250 \times 16.510 \times \sin 8,10 \\ &= \sqrt{3} \times 367.347.500 \times 0,14 \\ &= 89.077.034,76 \\ &= 89,07 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

F. Analisa

Selama pengambilan data pada tanggal 1-10 Februari 2023, tercatat bahwa nilai efisiensi terendah terjadi pada saat beban mencapai 679,49 MW atau 103% dengan nilai efisiensi sebesar 98,13%. Sebaliknya, nilai efisiensi tertinggi terjadi pada saat beban 625,69 MW atau 95% dengan nilai efisiensi sebesar 98,20%.

Efisiensi Transformator tidak bisa 100% karena adanya rugi Transformator yang disebabkan oleh peningkatan daya input. Penggunaan generator pada saat beban berat atau puncak untuk waktu yang lama juga dapat berdampak pada kinerja alternator dalam mengubah energi menjadi listrik. Rugi Transformator terdiri dari rugi panas pada belitan dan inti, serta rugi mekanik akibat gesekan udara selama putaran.

Berdasarkan efisiensi rata-rata Transformator adalah 98,17%, merujuk pada manual transformator di PLTA tanggari, diketahui nilai efisiensi $\pm 98\%$. yang dihitung sebesar 98,17 % dan 98,14%, nilai efisiensi generator ini masih tergolong rendah.

Semakin tinggi efisiensi Transformator, semakin baik keandalan sistem. Oleh karena itu, analisis efisiensi Transformator harus dilakukan supaya mengetahui kinerja Transformator masih layak beroperasi. Arus listrik mengalir ketika Transformator dihubungkan dengan beban. Besar kecilnya aliran arus tergantung dari besar kecilnya tahanan beban. Untuk kinerja yang optimal, penting untuk menjaga stabilitas selama pengoperasian Transformator. Perbedaan beban kerja dapat menyebabkan ketidakstabilan Transformator, yang menyebabkan penurunan efisiensi.

Daya eksitasi/ arus eksitasi sangat berpengaruh terhadap perubahan beban yang dibangkitkan pada Transformator karena dengan eksitasi maka akan membangkitkan medan magnet/ medan putar pada kumparan rotor yang diinduksikan sesuai dengan proses elektromagnetik untuk menghasilkan ggl induksi yang akan menimbulkan arus bolak-balik.

Perubahan arus pada Transformator dan arus eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada stator dan rotor, dimana ketika nilai arus dan Transformator arus eksitasi besar maka nilai rugi pada stator dan rotor akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus generator dan arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada stator dan rotor akan menurun. Efisiensi generator dapat dipengaruhi oleh perubahan bebannya, dengan beban tinggi menghasilkan efisiensi yang lebih rendah sedangkan pada beban rendah menyebabkan efisiensi meningkat.

KESIMPULAN

Efisiensi unit 1 terendah pada beban 679,49 MW dengan efisiensi 98,13%. Sebaliknya, efisiensi tertinggi adalah 98,20% pada beban 625,69 MW. Unit 2 paling tidak efisien dengan beban 679,11 MW dengan efisiensi 98,09 %. Sedangkan, efisiensi tertinggi adalah 98,23% pada beban 545,64 MW.

Perubahan beban pada Transformator dapat mempengaruhi nilai efisiensi, sehingga pada saat nilai beban atau daya generator tinggi maka efisiensinya rendah, sedangkan pada saat nilai beban atau daya Transformator rendah maka nilai efisiensinya tinggi.

Perubahan arus pada Transformator dan arus eksitasi dapat mempengaruhi nilai rugi pada stator dan rotor, dimana ketika nilai arus Transformator dan arus eksitasi besar maka nilai rugi pada stator dan rotor akan semakin meningkat, sedangkan ketika nilai arus Transformator dan arus eksitasi kecil maka nilai rugi pada stator dan rotor akan menurun

Berdasarkan manual book Transformator diketahui bahwa efisiensi desain Transformator $\pm 98\%$. Dibandingkan dengan nilai efisiensi yang dihitung sebesar 98,17% dan 98,14% untuk unit generator 1 dan 2, nilai efisiensi Transformator saat ini sangat efisien.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Kadir (2010). Pembangkit Tenaga Listrik. Edisi revisi. Jakarta.

Irwan Nas. "Analisis Pembebanan Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Jeneponto", 2017.