

KINERJA TRANSFORMATOR DAYA PADA GARDU INDUK PASSO AREA AMBON

Dance Leunufna¹⁾, M. A. F. Haurissa²⁾, M. Jamlaay³⁾

¹⁾Mahasiswa Prodi TRSKM Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

^{2)&3)}Staf Pengajar Prodi TRSKM Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

¹⁾leunufnadance5@gmail.com, ²⁾haurissamarceau@gmail.com, ³⁾marselin90@gmail.com

Abstract - This study analyzes the performance of power transformers at the Passo substation in the Ambon Area. This study focuses on load imbalance, power loss and efficiency of power transformers at the Passo substation. Data was obtained through Observation, Interviews and Literature studies. The results of the study indicate that the load imbalance of the Passo substation power transformer in 2022 is said to be very good because the percentage does not exceed the standardization. The calculation results show the highest power loss at peak load time of 21172.44 kW which occurred in March 2022 and the lowest occurred in June 2022 which was 9380.44 kW. The highest power transformer efficiency at peak load time was 99.8935% which occurred in April 2022. The results of the analysis of the calculation of the efficiency of the power transformer at the Passo substation are said to be very good.

Keywords : Transformer, Efficiency, Power Loss, Load Imbalance, Performance

Abstrak - Penelitian ini menganalisis kinerja transformator daya pada gardu induk passo Area Ambon. Penelitian ini berfokus pada ketidakseimbangan beban, Rugi daya dan efisiensi transformator daya pada gardu induk passo. Data diperoleh melalui Observasi, Wawancara dan Studi literatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban transformator daya gardu induk passo pada tahun 2022 dikatakan sangat baik karena persentasenya tidak melebihi standarisasi. Hasil perhitungan menunjukkan rugi daya tertinggi pada waktu beban puncak sebesar 21172,44 kW yang terjadi pada bulan maret 2022 dan yang terendah terjadi pada bulan juni 2022 yaitu sebesar 9380,44 kW. Efisiensi transformator daya tertinggi pada waktu beban puncak sebesar 99,8935% yang terjadi di bulan april 2022. Hasil analisis perhitungan efisiensi transformator daya pada gardu induk passo dikatakan sangat baik.

Kata Kunci : Transformator, Efisiensi, Rugi Daya, Ketidakseimbangan beban, Kinerja

I.PENDAHULUAN

Dalam penyaluran tenaga listrik transformator sangat penting dan dapat di katakan sebuah jantung dari operasi penyaluran tenaga listrik dari transmisi maupun distribusi. Transformator daya adalah peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga / daya dan mengubah taraf tegangan nya dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya. Di dalam kondisi ini Transformator di haruskan untuk beroperasi secara maksimal dan di harapkan untuk bisa bekerja secara maksimal terus menerus. (Napitupulu, 2013)

Gardu Induk adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Gardu induk berfungsi untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi yang satu ke saluran transmisi yang lain, mendistribusikannya ke konsumen, sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi, dan sebagai tempat kontrol dan pengaman operasi sistem. (Prabowo, 2011)

Transformator daya merupakan komponen dalam sistem kelistrikan yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik demi memenuhi kebutuhan distribusi energi secara efisien. Kinerja transformator sangat penting untuk menjaga kestabilan pasokan listrik dan dapat dipengaruhi oleh efisiensi dan rugi daya yang terjadi selama operasional. Efisiensi transformator, yang merupakan perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan, menjadi indikator utama dalam menilai efektivitas transformator

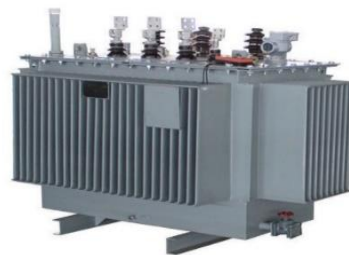
dalam mengalirkan energi listrik. Selain itu, rugi daya yang terjadi juga dapat berdampak signifikan terhadap kinerja sistem kelistrikan secara keseluruhan.

Tujuan dari penelitian yaitu Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya dan efisiensi transformator daya terpakai saat Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) pada Gardu Induk Passo dan Untuk mengetahui persentase ketidakseimbangan beban pada transformator daya Gardu Induk Passo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator Daya

Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian yang lainnya. (Febrianti, 2017)



Gambar 2. 1 Transformator daya
Sumber : indonesian.electrical-power-transformer.com

2.1.1 Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi ini terbuat dari lempengan lempengan besi tipis terisolasi, untuk mengurangi panas.



Gambar 2. 2 Inti transformator
Sumber : djukarna.wordpress.com

2.1.2 Kumparan Transformator

Kumparan trafo adalah beberapa lilitan kawat berisolasi akan membentuk suatu kumparan. Kumparan itu diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain lain.



Gambar 2. 3 Kumparan transformator
Sumber : slideplayer.info

Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/ arus bolak balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi. Fluksi ini akan menginduksikan tegangan, dan bila pada rangkaian sekunder ditutup maka akan menghasilkan arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan arus.

2.2 Pembebanan Transformator

Transformator merupakan sesuatu perlengkapan listrik yang bisa memindahkan serta mengonversikan tenaga listrik dari satu maupun beberapa rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya dengan sesuatu gandengan magnet yang berlandaskan kepada prinsip induksi elektromagnet. Pemanfaatan transformator pada sistem tenaga listrik perlu disesuaikan dengan kebutuhan, baik dalam hal tegangan tinggi, menengah, juga rendah. (Syukri, S., Asyadi, 2022)

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dan arus rata-rata ($I_{Rata-rata}$) dapat menggunakan rumus (Suhadi, 2008) :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{I_S + I_R + I_T}{3} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

I_{FL} = Arus beban penuh (Ampere)

S = Daya Transformator (VA)

$I_{Rata-rata}$ = Arus Rata-rata (A)

I_S, I_R, I_T = Arus per fasa (A)

V = Tegangan Transformator (V)

2.3 Ketidakseimbangan Beban

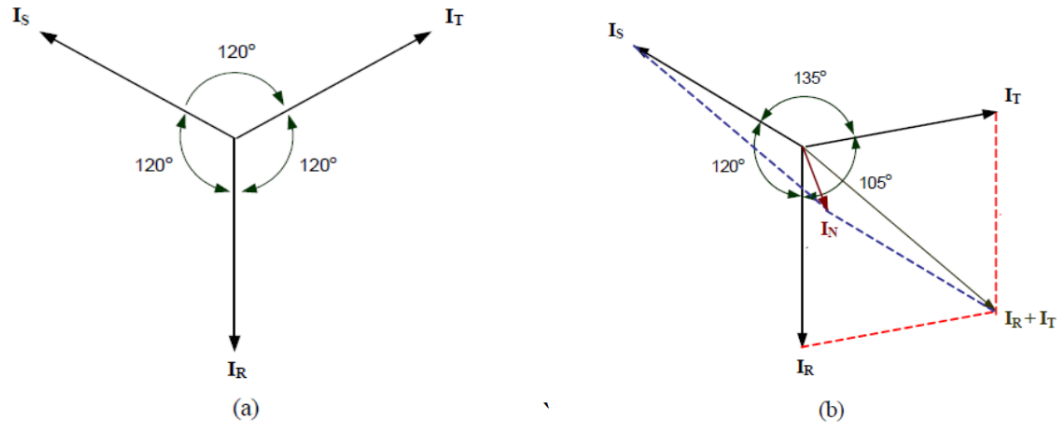
Dikutip dari Ruliyanto, 2020 Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan beban tidak seimbang ada tiga yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2. 4 Vektor diagram arus
Sumber : Ruliyanto, 2020

Gambar 2.4 (a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 2.4 (b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Untuk menghitung ketidakseimbangan beban dan persentase ketidakseimbangan beban menggunakan rumus :

$$I_R = a = \frac{I_R}{I_{Rata-rata}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$I_S = b = \frac{I_S}{I_{Rata-rata}} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$I_T = c = \frac{I_T}{I_{Rata-rata}} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\%K = \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.6)$$

2.4 Rugi Pada Transformator

2.4.1 Rugi Inti

Rugi inti pada transformator dibagi atas dua bagian, yaitu rugi hysteresis dan arus eddy yang dapat diukur melalui percobaan/test tanpa beban, dimana pada saat tanpa beban rugi hysteresis yaitu rugi yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi dan rugi arus eddy, yaitu rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi.

2.4.2 Rugi Tembaga

Rugi yang diakibatkan arus beban mengalir pada tembaga.dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut : (Mubarok, M. K. 2023) :

$$P_{cu} = (I_R^2 \times R) + (I_S^2 \times R) + (I_T^2 \times R) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$$P_{cu} = \text{Rugi Tembaga (W)}$$

$$I_R, I_S, I_T = \text{Arus per Phasa (A)}$$

$$R = \text{Resistansi kumparan } (\Omega)$$

2.5 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya keluar (P_{out}) dengan daya masuk (P_{in}). (Napitupulu, J., Tinambunan, 2021)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi total}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana

η = efisiensi

P_{out} = Daya keluar (W)

P_{in} = Daya Masuk (W)

P_{cu} = Rugi tembaga (W)

P_{core} = Rugi inti (W)

III. METODE

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Survey Research* (Penelitian Survei), dimana tidak dilakukan perubahan atau tidak ada perlakuan khusus terhadap variabel yang diteliti. Penelitian ini dilakukan di Gardu induk passo Area Ambon yang terletak di Negeri Passo, Kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kota Ambon, Maluku. Jenis data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan yaitu sebagai berikut : i) Data transformator daya Unit 1 pada gardu induk Passo. ii) Data Pembebanan pada tahun 2022 yang mencakup Data arus, tegangan, beban, dan $\cos \phi$. iii) Data Spesifikasi Transformator Daya. iv) Data standarisasi untuk Rugi daya dan efisiensi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian didapat dari sumber data PT. PLN Gardu Induk Passo. Data yang diperoleh yaitu data Pembebanan Transformator Daya 60 MVA pada tahun 2022 dan data spesifikasi transformator daya.

4.1.1 Spesifikasi Transformator Daya

Tabel 4. 1 Spesifikasi transformator daya 60 MVA

| Spesifikasi Transformator | |
|---------------------------|-----------------|
| Merk | UNINDO |
| Nomor Transformator | P060LEC844 - 01 |
| Tahun Pembuatan | 2017 |
| Tegangan Primer/Sekunder | 150 kV / 20 kV |
| Tipe Transformator | Minyak Terendam |
| Standart | IEC 60076 |
| Daya | 60 MVA |
| Frekuensi | 50 Hz |
| Jenis Pendingin | ONAN/ONAF |
| Jumlah Fasa | 3 |
| Impedansi | 12,5 % |

4.1.2 Data Pembebanan

Data pembebanan bulan Januari sampai desember pada tahun 2022 diperoleh dengan menghitung rata-rata dari seluruh data harian yang tercatat selama satu bulan penuh.

Data yang digunakan untuk malam hari diambil pada pukul 19.00 WIT, karena waktu tersebut termasuk dalam periode Waktu Beban Puncak (WBP) yang ditetapkan oleh PLN, di mana beban listrik mencapai titik tertinggi. Sedangkan data untuk siang hari diambil pada pukul 10.00 WIT, yang termasuk dalam periode Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), namun tetap menunjukkan beban tertinggi untuk waktu tersebut.

- **Pembebanan Malam hari**

Tabel 4. 2 Data pembebanan malam hari

| Bulan | Beban (MW) | Daya Reaktif (MVAR) | ARUS (A) | | | Tegangan (kV) | Cos Phi |
|-----------|------------|---------------------|----------|-----|-----|---------------|---------|
| | | | R | S | T | | |
| Januari | 11,7 | 3,2 | 330 | 344 | 340 | 20,15 | 0,95 |
| Februari | 12,3 | 3,5 | 359 | 361 | 357 | 20,16 | 0,95 |
| Maret | 12,5 | 3,9 | 419 | 420 | 420 | 20,2 | 0,95 |
| April | 12,9 | 3,8 | 357 | 363 | 357 | 20,18 | 0,95 |
| Mei | 11,4 | 3,4 | 389 | 389 | 385 | 20,24 | 0,95 |
| Juni | 11,2 | 3,3 | 277 | 284 | 276 | 19,52 | 0,95 |
| Juli | 12,4 | 3,9 | 362 | 362 | 359 | 20,23 | 0,95 |
| Agustus | 12,1 | 3,7 | 368 | 375 | 373 | 20,29 | 0,95 |
| September | 12,4 | 3,7 | 349 | 352 | 351 | 20,27 | 0,95 |
| Oktober | 12,8 | 4 | 368 | 372 | 368 | 20,24 | 0,95 |
| November | 11,2 | 3,5 | 363 | 363 | 361 | 20,23 | 0,95 |
| Desember | 11,3 | 3,5 | 371 | 376 | 379 | 20,16 | 0,95 |

- **Pada siang hari**

Tabel 4. 3 Data pembebanan siang hari

| Bulan | Beban (MW) | Daya Reaktif (MVAR) | SIANG Arus (A) | | | Tegangan (kV) | Cos Phi |
|-----------|------------|---------------------|-------------------|-----|-----|---------------|---------|
| | | | R | S | T | | |
| Januari | 9,9 | 2,6 | 256 | 258 | 247 | 20,3 | 0,95 |
| Februari | 10,5 | 2,9 | 306 | 304 | 299 | 20,28 | 0,95 |
| Maret | 13,8 | 3,3 | 341 | 334 | 339 | 20,29 | 0,95 |
| April | 10,5 | 3 | 292 | 296 | 293 | 20,27 | 0,95 |
| Mei | 9,8 | 2,7 | 300 | 304 | 301 | 20,32 | 0,95 |
| Juni | 9,4 | 2,8 | 202 | 208 | 205 | 20,31 | 0,95 |
| Juli | 10 | 3,1 | 286 | 288 | 282 | 19,67 | 0,95 |
| Agustus | 9,6 | 3 | 288 | 296 | 293 | 20,4 | 0,95 |
| September | 10 | 2,8 | 274 | 278 | 274 | 20,37 | 0,95 |
| Oktober | 11,1 | 3,3 | 322 | 329 | 329 | 20,35 | 0,95 |
| November | 9,7 | 3,3 | 345 | 344 | 339 | 20,34 | 0,95 |
| Desember | 10,4 | 2,8 | 293 | 295 | 300 | 20,29 | 0,95 |

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Arus beban penuh dan arus rata-rata

- a. **Perhitungan Arus beban penuh (Full Load) Transformator Daya**

Diketahui dari spesifikasi transformator daya 60 MVA ;

$$S = 60 \text{ MVA} = 60.000.000 \text{ VA}$$

$$V = 20 \text{ kV} = 20.000 \text{ V}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_{FL} = \frac{60.000.000}{\sqrt{3} \times 20000}$$

$$I_{FL} = 1732,05 \text{ A}$$

b. Perhitungan Arus Rata-rata Transformator

$$I_{Rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{330 + 344 + 330}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = 334,67 \text{ A}$$

Hasil Perhitungan Arus Rata-rata transformator daya gardu induk passo pada malam dan siang hari tahun 2022 dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan arus rata-rata

| Bulan | MALAM | SIANG |
|-----------|-------------|-------------|
| | I Rata-rata | I Rata-rata |
| Januari | 338,00 | 253,67 |
| Februari | 359,00 | 303,00 |
| Maret | 419,67 | 338,00 |
| April | 359,00 | 293,67 |
| Mei | 387,67 | 301,67 |
| Juni | 279,00 | 205,00 |
| Juli | 361,00 | 285,33 |
| Agustus | 372,00 | 292,33 |
| September | 350,67 | 275,33 |
| Oktober | 369,33 | 326,67 |
| November | 362,33 | 342,67 |
| Desember | 375,33 | 296,00 |

4.2.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_R = a \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{Rata-rata}} = \frac{330}{338,00} = 0,9763 \text{ A}$$

$$I_S = b \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{Rata-rata}} = \frac{344}{338,00} = 1,0178 \text{ A}$$

$$I_T = c \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{Rata-rata}} = \frac{340}{338,00} = 1,0059 \text{ A}$$

Besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1 pada saat keadaan seimbang. Sehingga, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebagai berikut :

$$\%K = \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100 \%$$

$$\%K = \frac{|0,9763-1| + |1,0178-1| + |1,0059-1|}{3} \times 100$$

$$\%K = 1,58 \%$$

Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban dan persentase ketidakseimbangan beban dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan Persentase Ketidakseimbangan beban

| Bulan | Ketidakseimbangan Beban Malam | | | | Ketidakseimbangan Beban Siang | | | |
|-----------|-------------------------------|--------|--------|------|-------------------------------|--------|--------|------|
| | R | S | T | % | R | S | T | % |
| Januari | 0,9763 | 1,0178 | 1,0059 | 1,58 | 1,0092 | 1,0171 | 0,9737 | 1,75 |
| Februari | 1,0000 | 1,0056 | 0,9944 | 0,37 | 1,0099 | 1,0033 | 0,9868 | 0,88 |
| Maret | 0,9984 | 1,0008 | 1,0008 | 0,11 | 1,0089 | 0,9882 | 1,0030 | 0,79 |
| April | 0,9944 | 1,0111 | 0,9944 | 0,74 | 0,9943 | 1,0079 | 0,9977 | 0,53 |
| Mei | 1,0034 | 1,0034 | 0,9931 | 0,46 | 0,9945 | 1,0077 | 0,9978 | 0,52 |
| Juni | 0,9928 | 1,0179 | 0,9892 | 1,19 | 0,9854 | 1,0146 | 1,0000 | 0,98 |
| Juli | 1,0028 | 1,0028 | 0,9945 | 0,37 | 1,0023 | 1,0093 | 0,9883 | 0,78 |
| Agustus | 0,9892 | 1,0081 | 1,0027 | 0,72 | 0,9852 | 1,0125 | 1,0023 | 0,99 |
| September | 0,9952 | 1,0038 | 1,0010 | 0,32 | 0,9952 | 1,0097 | 0,9952 | 0,65 |
| Oktober | 0,9964 | 1,0072 | 0,9964 | 0,48 | 0,9857 | 1,0071 | 1,0071 | 0,95 |
| November | 1,0018 | 1,0018 | 0,9963 | 0,25 | 1,0068 | 1,0039 | 0,9893 | 0,71 |
| Desember | 0,9885 | 1,0018 | 1,0098 | 0,77 | 0,9899 | 0,9966 | 1,0135 | 0,90 |

Sesuai standar IEC 61000-4-30 yaitu persentase ketidakseimbangan beban sebesar 2% maka persentase ketidakseimbangan beban pada transformator daya gardu induk passo dikatakan sangat baik.

4.2.3 Perhitungan Rugi Tembaga

Nilai hambatan (R) didapat dari nameplate grounding (NGR) yaitu sebesar 40 ohm. Rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada tembaga dapat dihitung seperti berikut :

$$P_{cu} = (I_R^2 \times R) + (I_S^2 \times R) + (I_T^2 \times R)$$

$$P_{cu} = (330^2 \times 40) + (344^2 \times 40) + (340^2 \times 40)$$

$$P_{cu} = 13713,44 \text{ kW}$$

Hasil perhitungan rugi tembaga selama 1 tahun dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan Rugi tembaga

| Bulan | Rugi Tembaga (kW) | | Hambatan |
|-----------|-------------------|----------|----------|
| | Malam | Siang | |
| Januari | 13713,44 | 7724,36 | 40 |
| Februari | 15466,04 | 11018,12 | 40 |
| Maret | 21134,44 | 13710,32 | 40 |
| April | 15466,68 | 10349,16 | 40 |
| Mei | 18034,68 | 10920,68 | 40 |
| Juni | 9342,44 | 5043,72 | 40 |
| Juli | 15638,76 | 9770,56 | 40 |
| Agustus | 16607,12 | 10256,36 | 40 |
| September | 14756,24 | 9097,44 | 40 |
| Oktober | 16369,28 | 12806,64 | 40 |
| November | 15754,36 | 14091,28 | 40 |
| Desember | 16906,32 | 10514,96 | 40 |

4.2.4 Perhitungan Rugi Total

Rugi inti (P_{core}) didapat dari SPLN 61-1997 yaitu sebesar 38 kW.

Rugi total dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{cu} \text{ (Rugi Tembaga)} = 13751,44 \text{ kW}$$

$$P_{core} \text{ (Rugi Inti)} = 38 \text{ kW}$$

$$\text{Rugi Total} = P_{cu} + P_{core}$$

$$\text{Rugi Total} = 13713,44 + 38$$

$$\text{Rugi Total} = 13751,44 \text{ kW}$$

Hasil perhitungan rugi total selama 1 tahun dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan rugi total

| Bulan | Rugi Total (kW) | | |
|-----------|-----------------|----------|----------------|
| | Malam | Siang | Rugi Inti (kW) |
| Januari | 13751,44 | 7762,36 | 38 |
| Februari | 15504,04 | 11056,12 | 38 |
| Maret | 21172,44 | 13748,32 | 38 |
| April | 15504,68 | 10387,16 | 38 |
| Mei | 18072,68 | 10958,68 | 38 |
| Juni | 9380,44 | 5081,72 | 38 |
| Juli | 15676,76 | 9808,56 | 38 |
| Agustus | 16645,12 | 10294,36 | 38 |
| September | 14794,24 | 9135,44 | 38 |
| Oktober | 16407,28 | 12844,64 | 38 |
| November | 15792,36 | 14129,28 | 38 |
| Desember | 16944,32 | 10552,96 | 38 |

4.2.5 Perhitungan Efisiensi Transformator

Nilai P_{out} diketahui dari data beban (MW), pada perhitungan efisiensi transformator satuannya dikonversikan dari (MW) ke (W). Perhitungan efisiensi transformator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{Rugi total}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{11700000}{11700000 + 13751,44} \times 100\%$$

$$\eta = 99,8826 \%$$

Hasil perhitungan efisiensi transformator daya tahun 2022 dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan efisiensi transformator

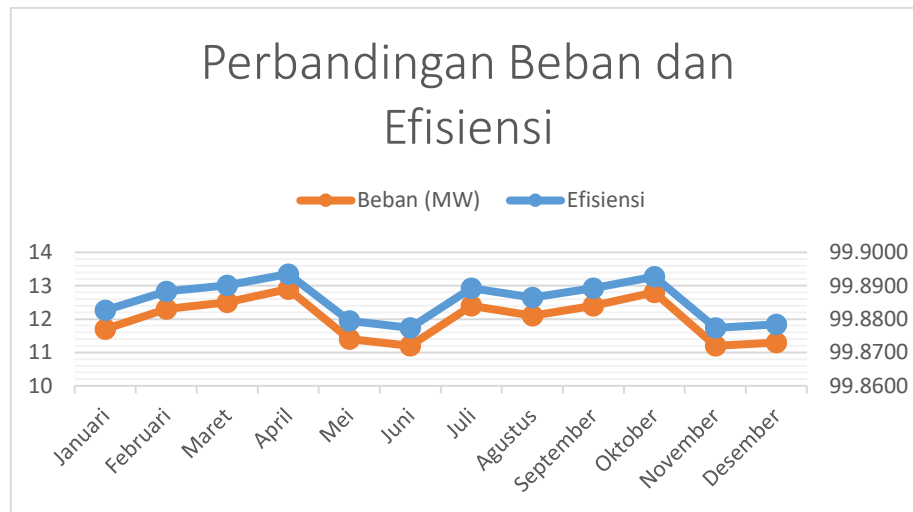
| Bulan | Efisiensi | |
|-----------|-----------|---------|
| | Malam | Siang |
| Januari | 99,8826 | 99,9217 |
| Februari | 99,8883 | 99,8948 |
| Maret | 99,8901 | 99,9005 |
| April | 99,8935 | 99,9012 |
| Mei | 99,8795 | 99,8883 |
| Juni | 99,8774 | 99,946 |
| Juli | 99,8892 | 99,902 |
| Agustus | 99,8865 | 99,8929 |
| September | 99,8892 | 99,9087 |
| Oktober | 99,8927 | 99,8844 |
| November | 99,8774 | 99,8545 |
| Desember | 99,8785 | 99,8986 |

4.3 Hasil Analisis

Untuk memudahkan dalam menganalisa maka di buat dalam bentuk grafik yang akan memperlihatkan data beban, data hasil perhitungan efisiensi dan rugi daya pada malam hari (Waktu Beban Puncak) setiap bulan pada tahun 2022.

4.3.1 Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap Efisiensi Transformator

Berikut adalah tampilan grafik perbandingan antara pembebanan dengan efisiensi pada transformator daya di gardu induk passo pada waktu beban puncak setiap bulan pada tahun 2022.



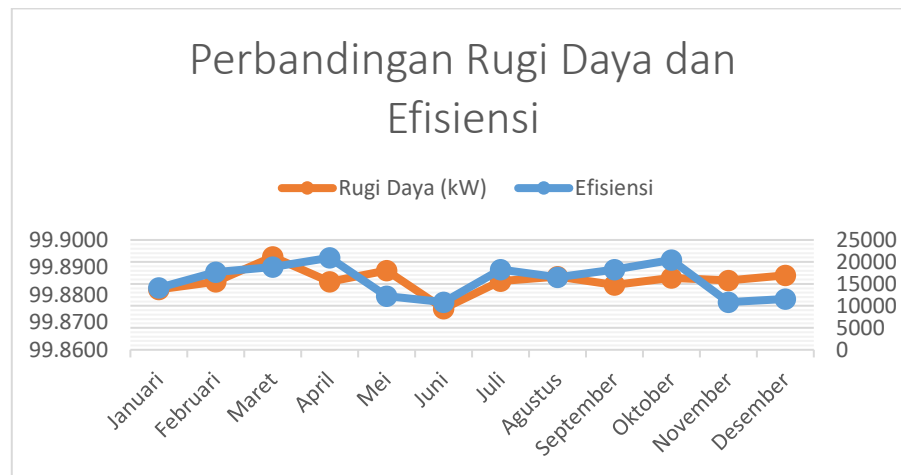
Grafik 4. 1 Perbandingan beban dan efisiensi pada waktu beban puncak

Grafik diatas menampilkan data saat beban puncak dan efisiensi transformator dimana semakin tinggi beban maka nilai efisiensi juga semakin tinggi. Beban yang rendah dapat mengakibatkan efisiensi yang lebih rendah karena rugi daya inti tetap ada meskipun tidak ada beban.

Hasil perhitungan efisiensi transformator daya selama satu tahun pada tahun 2022, diperoleh beban tertinggi pada waktu beban puncak (malam hari) sebesar **12,90 MW** dengan efisiensi sebesar **99,8935%** yang terjadi pada bulan april sedangkan beban terendah pada malam hari sebesar **11,20 MW** dengan nilai efisiensi **99,87744%** yang terjadi pada bulan juni 2022.

Mengacu pada SPLN 61-1997 dimana standarisasi nilai efisiensi transformator yang baik yaitu 99,57%. Maka rata-rata nilai efisiensi pada transformator daya Gardu Induk Passo berada dalam kategori sangat baik.

4.3.2 Analisa pengaruh Rugi Daya terhadap Efisiensi Transformator



Grafik 4. 2 Perbandingan rugi daya dan efisiensi pada waktu beban puncak

Hasil analisis pengaruh rugi daya terhadap efisiensi transformator dinyatakan pada grafik diatas dimana semakin besar rugi daya maka semakin kecil nilai efisiensinya. Pada malam hari rugi daya tertinggi terjadi di bulan Maret 2022 yaitu sebesar **21172,44 kW** dengan nilai efisiensi **99,8901%** dan yang terendah terjadi pada bulan juni 2022 yaitu sebesar **9380,44 kW** dengan efisiensi **99,8774%**. Hal

ini menunjukkan bahwa fluktuasi rugi daya berdampak langsung pada efisiensi operasional transformator.

V. PENUTUP

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan terkait kinerja transformator daya pada gardu induk passo maka didapatkan kesimpulan yaitu Hasil analisa diperoleh nilai efisiensi tertinggi saat malam hari (Waktu Beban Puncak) sebesar 99,8935% dengan rugi daya 10387,16 kW yang terjadi di bulan April 2022, Rugi daya terbesar pada Waktu Beban Puncak terjadi pada bulan maret 2022 sebesar 21172,44 kW dan Persentase ketidakseimbangan beban tertinggi pada waktu beban puncak terjadi di bulan januari 2022 yaitu 1,58% dan yang terendah terjadi pada maret 2022 dengan nilai 0,11%.

Untuk mengoperasikan transformator sebaiknya dengan beban yang sesuai standar dan tidak mengoperasikan transformator dengan beban tinggi dalam waktu yang relatif lama, agar dapat menjaga kondisi transformator dalam kondisi baik serta Rutin mengecek beban transformator agar dapat mengidentifikasi hal-hal yang tidak diinginkan seperti overload dan lain lain pada transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Febrianti, I. K. (2017). Analisa Penurunan Faktor Kerja Transformator Daya 30 Mva. *Jurnal Ampere*, 2(1), 18-22.
- Mubarak, M. K. (2023). *Studi Pengaruh Rugi-Rugi Transformator Daya Terhadap Efisiensi Transformator Daya 60 MVA di PT PLN (Persero) GI Babat. (Study of the Effect of Power Transformer Losses on the Efficiency of 60 MVA Power Transformer at PT PLN (Persero) GI Babat)* (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Ondrialdi, Rifky, and Usaha Situmeang. "Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang." *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri* 4.2 (2020): 72-81.
- Ruliyanto, R. (2020). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat. *Jurnal Ilmiah Giga*, 23(1), 27-34.
- Setiadji, Julius Sentosa, Tabrani Machmudsyah, and Yanuar Isnanto. "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi." *Jurnal Teknik Elektro* 7.2 (2007): 68-73.
- SOGEN, Markus Dwiyanto Tobi; ST, M. T. Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong. *Jurnal Electro Luceat*, 2018, 4.1.
- Suganda, Suganda, and Abdul Muis. "Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya." *SINUSOIDA* 23.2 (2021): 1-10.
- Syukri, S., Asyadi, T. M., Muliadi, M., & Moesnadi, F. (2022). Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 202-206.
- Wibowo, A., & Anam, K. (2020, September). Analisa Harmonik Gardu Listrik Kereta Layang Automated People Mover System (APMS) Bandara Soekarno-Hatta. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 11, No. 1, pp. 769-774).
- Wibowo, S. S. (2018). *Analisa Sistem Tenaga: Analisa Sistem Tenaga* (Vol. 1). UPT Percetakan dan Penerbitan Polinema.
- Wuwung, Janny Olny, "Pengaruh pembebanan terhadap kenaikan suhu pada belitan transformator daya jenis terendam minyak". *Tekno* 8.52 (2010).