

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 100 kVA
PADA PT. PLN (PERSERO) UNIT AIMAS**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF LOAD BALANCE IN THE
EFFICIENCY OF 100 kVA DISTRIBUTION TRANSFORMERS IN PT.
PLN (PERSERO) AIMAS UNIT**

Johanes Ohoiwutun¹, Markus Dwiyanto Tobi Sogen²

¹Politeknik Saint Paul Sorong

²Politeknik Saint Paul Sorong

¹johnhoiwutun@gmail.com, ²dwiyanto@poltekstpaul.ac.id

Abstrak

Meningkatnya perkembangan penduduk di kabupaten Sorong dilihat dari menjamurnya developer yang membangun perumahan dan pembangunan pertokoan yang sudah tentu kebutuhan energi listrik terus meningkat. Dengan demikian listrik sudah merupakan kebutuhan penting dalam kehidupan manusia sehingga untuk memperoleh listrik secara handal dan berkesinambungan maka PLN dituntut untuk mengelola menjaga kestabilan distribusi energi listrik yang berkelanjutan ke konsumen. Salah satu fenomena yang selalu dialami di lapangan adalah pendistribusian beban yang tidak merata dari sisi sekunder transformator ke pelanggan. Hal ini menyebabkan beban antar fasa R, S dan T tidak seimbang yang selanjutnya mengakibatkan arus akan mengalir pada penghantar netral transformator, sehingga arus tersebut menimbulkan rugi-rugi pada transformator. Dalam penelitian ini dilakukan analisis untuk mengetahui seberapa besar pengaruh rugi-rugi beban terhadap efisiensi transformator distribusi 100 kVA pada PT.PLN (Persero) Unit Aimas. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis maka diperoleh bahwa akibat ketidakseimbangan beban pada fasa R, S dan T, maka hal tersebut mengakibatkan rugi-rugi beban pada siang hari sebesar 0,499 kW dan meningkat pada malam hari sebesar 0,746 kW. Dengan meningkatnya rugi-rugi beban mengakibatkan rendahnya kinerja Transformator dan efisiensinya semakin rendah.

Kata kunci : Transformator distribusi, Ketidakseimbangan beban, Efisiensi

Abstract

The increasing population development in Sorong district is seen from the mushrooming of developers who build housing and the construction of shops which of course the need for electrical energy continues to increase. Thus electricity is an important requirement in human life so as to obtain electricity reliably and continuously, PLN is required to manage to maintain a stable distribution of electrical energy that is sustainable to consumers. One phenomenon that is always experienced in the field is the uneven distribution of loads from the secondary side of the transformer to the customer. This causes unbalanced load between phase R, S and T which in turn causes the current to flow in the neutral conductor of the transformer, so that the current causes losses in the transformer. In this study an analysis was conducted to find out how much influence the load losses

have on the efficiency of the 100 kVA distribution transformer at PT. PLN (Persero) Unit Aimas. After calculating and analyzing, it is found that due to load imbalance in R, S and T phases, this results in daytime load losses of 0.499 kW and increases at night by 0.746 kW. Increasing load losses results in lower transformer performance and lower efficiency.

Keywords: Distribution Transformer, Load Losses, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Listrik sudah merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam aktifitas manusia baik kebutuhan rumah tangga maupun industri. Kebutuhan listrik rumah tangga saat ini bukan hanya untuk penerangan semata tetapi lebih dari itu untuk menggerakkan pompa air, air condition, kipas angin, lemari pendingin serta industri rumah tangga kecil dan lain-lain.

Meningkatnya perkembangan penduduk di kabupaten Sorong dilihat dari menjamurnya developer yang membangun perumahan dan pembangunan pertokoan yang sudah tentu kebutuhan energi listrik terus meningkat. Dengan demikian listrik sudah merupakan kebutuhan penting dalam kehidupan manusia sehingga untuk memperoleh listrik secara handal dan berkesinambungan maka PLN dituntut untuk mengelola menjaga kestabilan distribusi energi listrik yang berkelanjutan ke konsumen.

Transformator distribusi adalah suatu alat yang dapat merubah energi listrik 20 kV pada sisi sekunder menjadi 220/380 Volt pada sisi sekunder yang akan digunakan oleh konsumen. Dalam proses pendistribusian energi listrik fenomena ketidakseimbangan selalu menjadi isu yang sangat penting, dimana sistemnya muncul ketika perbedaan prioritas pada pelanggan (Bina, 2011). Daya yang disupply ke transformator tidak sama dengan daya keluaran atau beban dimana ada daya input pada transformator hilang ketika memiliki komponen reaktif, dan ada juga pergeseran fasa antar tegangan input dan tegangan output yang mengakibatkan rugi-rugi pada transformator (Mgunda, 2017). Ketidakseimbangan fasa R, S dan T inilah yang menyebabkan timbulnya arus pada penghantar netral dan sekaligus rugi-rugi pada transformator baik pada sisi sekunder maupun pada sisi primer. Apabila ketidakseimbangan ini dibiarkan maka akan berdampak yaitu merugikan baik pihak PLN maupun

konsumen (Kawihing, dkk, 2013) Tenaga listrik dikatakan seimbang apabila beban yang disalurkan pada tiap-tiap fasa (R, S, T) sama besar dan membentuk sudut 120° antar fasa. Sehingga apabila terdapat salah satu fasa mempunyai nilai beban berbeda dengan yang lain maka dapat dikatakan jalur distribusi tersebut mengalami ketidakseimbangan beban. Hal ini menimbulkan rugi-rugi daya pada system distribusi dan membatasi kemampuan pemuatan trafo dibawah nilai nominalnya (Bina & A. Kashefi, 2011). Dalam penelitian ini diambil salah satu beban trafo distribusi pada PLN Unit Aimas dimana trafo tersebut berkapasitas 100 kVA sebagai dasar analisis keadaan jaringan distribusi tersebut.

2. DASAR TEORI DAN METODELOGI

2.1. Teori Dasar

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut: [1,2]

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

S : daya transformator (kVA)

- V : tegangan sisi primer transformator (kV)
- I : arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- I_{FL} : arus beban penuh (A)
- S : daya transformator (kVA)
- V : tegangan sisi sekunder transformator (kV)

2.1.1. Efisiensi Transformator

Efisiensi Trafo dapat didefinisikan sebagai Perbandingan antara daya listrik keluaran (P_{out}) dengan daya listrik masukan (P_{in}). Efisiensi Trafo dapat dirumuskan dengan Rumus berikut:

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

dimana:

- η : Efisiensi transformator
- P_{out} : Daya Keluaran (Output) atau Daya pada Kumbaran Sekunder (kW)
- P_{in} : Daya listrik Masukan (Input) atau Daya pada Kumbaran Primer (kW)

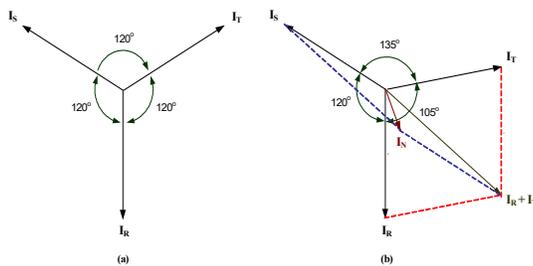
2.1.2. Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana:

- a) Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- b) 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 tidak seimbang ada 3 yaitu:

- a) Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- b) Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- c) Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.1. Vektor Diagram Arus

Gambar 2.1 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 1(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.[6]

2.1.3. Penyaluran Dan Susut Daya

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut: [3,5]

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- P : daya pada ujung kirim
- V : tegangan pada ujung kirim
- $\cos \varphi$: faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran.

Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \dots\dots\dots (5) \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned}$$

dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T. Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai:

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (6)$$

Apabila persamaan (7) dan persamaan (5) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \dots\dots\dots (7)$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

2.1.4. Rugi-Rugi Daya

Untuk menghitung rugi-rugi digunakan rumus:[5]

$$\Sigma \text{Rugi-rugi} = P_i + P_{cu} + P_N \dots\dots\dots (8)$$

dimana:

- P_i = Rugi inti besi (kW)
- P_{cu} = Rugi tembaga (kW)
- P_N = Rugi penghantar netral (kW)

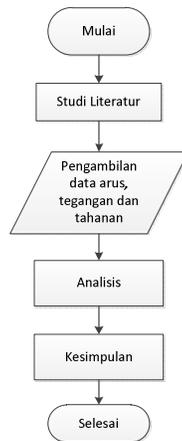
2.2. Metodologi Penelitian

Dalam rancangan penelitian ini penulis melakukannya dalam 3 tahapan agar terarah dan diperoleh hasil yang diharapkan sebagai berikut :

1. Studi literature yaitu mengumpulkan buku-buku referensi, dan jurnal-jurnal serta sumber lain yang berhubungan dan mendukung penelitian ini.
2. Pada tahap ini peneliti memperoleh data dari PT. PLN (Persero) Unit Aimas dimana sebelumnya didahului dengan membuat surat permohonan. Setelah disetujui maka peneliti mengambil data transformator yang secara lengkap tertera pada *nameplate* transformator tersebut, selain itu juga peneliti mengambil data pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan pada siang dan malam hari. pada transformator tersebut.
3. Selanjutnya untuk menganalisis data yang diperoleh maka peneliti melakukan analisis hanya dengan menggunakan rumus yang ada dengan perhitungan biasa tanpa menggunakan metode apapun.

2.3. Diagram Alir

Agar penelitian ini terarah maka dibawah ini disajikan diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 2.2. Diagram alir

3. PEMBAHASAN

3.1. Data Transformator

- Nama transformator : UNINDO
- Daya : 200 kVA
- Tegangan : 400 Volt
- Kabel input : AAAC 70 mm².....R = 0,582 Ω/km
- Kabel output : LVTC 3 x 50 + 1 x 70 mm² R = 0,453 Ω/km
- Cos ψ : 0,85

Rugi inti besi : 210 W
 Rugi tembaga Siang : 219 W
 Rugi tembaga malam : 486 W
 Rugi Penghantar netral : 70 W

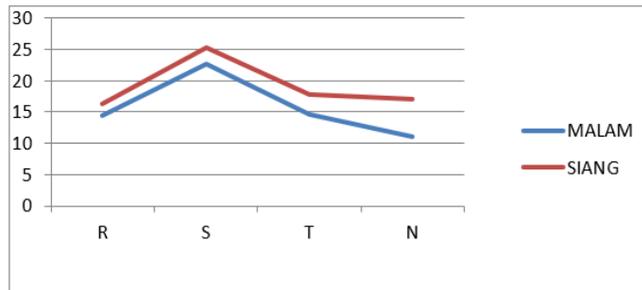
3.2. Pengukuran Transformator

Di bawah ini disajikan hasil pengukuran transformator pada siang dan malam hari

Table 3.1. Hasil pengukuran Transformator

Pengukuran	Siang hari	Malam hari
Arus fasa R (A)	14,5	16,3
Arus Fasa S (A)	22,6	25,2
Arus fasa T (A)	14,6	17,8
Arus netral (A)	11	17
Tegangan fasa R (V)	378,87	380,6
Tegangan fasa S (V)	378,87	380,6
Tegangan fasa T (V)	378,87	380,6

Data pada table 3.1 di atas terlihat jelas bahwa dari hasil pengukuran terdapat ketidakseimbangan beban pada transformator, baik fasa R, dan fasa S maupun pada fasa T, yang selanjutnya ditampilkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 3.1 Grafik Tegangan

3.3. Analisis Data

3.3.1. Arus Beban Penuh

Untuk menentukan arus beban penuh maka digunakan rumus pada persamaan (4) sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{100000 VA}{\sqrt{3} \times 400 V}$$

$$= 144,5 \text{ Ampere}$$

3.3.2. Arus Rata-Rata dan Persentase Peban Pada Siang dan Malam

Untuk menghitung besar arus rata-rata

- a. $I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{14,5 + 22,6 + 14,6}{3} = 17,23 \text{ A}$
- b. $I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{16,3 + 25,2 + 17,8}{3} = 19,76 \text{ A}$

Menghitung persentase beban sebagai berikut :

- a. Persentase beban pada siang hari

$$\frac{I_{rata-rata\ siang}}{I_{FL}} \times 100 \% = \frac{17,23}{144,5} \times 100 \% = 11,92 \%$$

- b. Persentase beban pada malam hari

$$\frac{I_{rata-rata\ malam}}{I_{FL}} \times 100 \% = \frac{19,76}{144,5} \times 100 \% = 13,67 \%$$

3.3.3. Ketidakseimbangan Beban

Oleh karena arus fasa dalam keadaan seimbang adalah arus rata-rata maka dalam kasus ini digunakan koefisien kesimbangan beban dimana $a = b = c = 1$. Sehingga untuk menghitung keseimbangan beban digunakan rumus (9) sebagai berikut:

$$I_R = a \times I_{rata-rata} \quad \text{atau} \quad a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$I_S = b \times I_{rata-rata} \quad \text{atau} \quad b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$I_T = c \times I_{rata-rata} \quad \text{atau} \quad c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

Ketidakseimbangan beban pada siang hari adalah:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{14,5}{17,23} = 0,84 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{22,6}{17,23} = 1,31 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{14,6}{17,23} = 0,84 \text{ A}$$

untuk menghitung persentase ketidakseimbangan maka digunakan rumus:

$$\frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \times 100 \% = \frac{(0,84-1)+(1,31-1)+(0,84-1)}{3} \times 100 \% = 9,66\%$$

Ketidakseimbangan beban pada malam hari dihitung dengan menggunakan rumus yang sama maka:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{16,3}{19,76} = 0,82 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{25,2}{19,76} = 1,28 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{17,8}{19,76} = 0,91 \text{ A}$$

Persentase ketidakseimbangan beban pada malam hari adalah:

$$\frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \times 100 \% = \frac{(0,82-1)+(1,27-1)+(0,91-1)}{3} \times 100 \% = 6 \%$$

3.3.4. Rugi-Rugi Daya

Dengan menggunakan rumus persamaan (8) rugi-rugi daya dapat dihitung sebagai berikut:

- a. Rugi pada siang hari adalah:

$$\Sigma = P_i + P_{cu} + P_N = 0,210 + 0,219 + 0,07 = 0,499 \text{ kW}$$

- b. Rugi daya pada malam hari adalah sebagai berikut:

$$\Sigma = P_i + P_{cu} + P_N = 0,210 + 0,466 + 0,07 = 0,746 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa perbedaan rugi daya pada siang dan malam hari masing-masing 0,499 kW pada siang hari dan 0,746 pada malam hari.

3.3.5. Efisiensi

Untuk menghitung efisiensi transformator dengan menggunakan rumus persamaan (4):

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\ P_{out} &= (a + b + c) \times V \times I \times \cos \phi = (0,84 + 1,31 + 0,84) \times 378,87 \times 17,23 \times 0,85 \\ &= 9759 \text{ W} = 9,759 \text{ kW} \\ \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100 \% = \frac{9,759}{9,759 + 0,499} \times 100 \% \\ &= 95,13 \% \end{aligned}$$

Efisiensi transformator pada malam hari:

$$\begin{aligned} P_{out} &= (a + b + c) \times V \times I \times \cos \phi = (0,82 + 1,28 + 0,91) \times 380,6 \times 19,76 \times 0,85 \\ &= 19241 \text{ W} = 19,241 \text{ kW} \\ \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100 \% = \frac{19,241}{19,241 + 0,746} \times 100 \% \\ &= 96,27 \% \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

1. Ketidakseimbangan beban antar fasa R, S dan T pada siang hari 6 % dan pada malam hari sebesar 9,66 %, menunjukkan bahwa pada malam hari ketidakseimbangan beban cenderung meningkat.
2. Begitu pula rugi-rugi beban pada siang hari sebesar 0,449 KW, pada malam hari meningkat cukup signifikan menjadi 0,746 kW
3. Efisiensi turut berpengaruh dimana pada siang hari sebesar 95,13 dan pada malam hari 96,27 %

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bimbhra, P.S., 2011, Electrical Machinery Theory, Performance And Applications 7th Edition, Publisher: Khanna Publishers, ISBN: 9788174091734, 8174091734.
- [2] Bina Tavakoli, Kashef A, 2011, Three-phase unbalance of distribution systems: Complementary analysis and experimental case study, International Journal of Electrical Power & Energy System. Chapman Stephen, 2011.
- [3] Electric Machinery Fundamentals 5th (fifth) Edition, McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, ISBN 978-0-07-352954-7.
- [4] Mappa, Alimuddin. 2017. "ANALISA KERJA RECLOSER UNTUK MEMPROTEKSI JARINGAN DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) AREA SORONG". Electro Luceat 3 (1), 5-9. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v3i1.26>.
- [5] ohoiwutun, john. 2017. "Analisa Rugi Daya Transformator 100 KVA Gardu Rufeil Pantai Di PT. PLN (Persero) Area Sor". Electro Luceat 3 (1), 24-31. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v3i1.33>.

- [6] Tobi, Markus. 2018. "ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT PLN (PERSERO) AREA SORONG". *Electro Luceat* 4 (1), 5-14. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v4i1.80>.
- [7] Tobi, Markus, and VINA VAN HARLING. 2017. "PENGARUH OPTIMASI TRANSFORMATOR DAYA TERHADAP PERKEMBANGAN BEBAN FEEDER UNTUK MEMINIMALISASI GANGGUAN DAN DEFISIT BEBAN LISTRIK DI WILAYAH SORONG-PROVINSI PAPUA BARAT". *Electro Luceat* 3 (1), 10-18. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v3i1.28>.