



Analisis Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi pada Penghantar Netral Transformator di Rayon Baguala Ambon

JULFIKAR RUMAKAT, DINI FAUZIAH

Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional, Indonesia

Email : julfikarrumakat@gmail.com

ABSTRAK

Meningkatnya pembangunan suatu wilayah membuat permintaan akan energi listrik semakin meningkat. Maka dari itu permintaan yang semakin meningkat harus diimbangi dengan pendistribusian energi listrik yang baik. Tetapi dalam proses pendistribusian energi listrik sering kali terdapat beban yang tidak seimbang, yang menyebabkan adanya arus netral pada transformator. Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi 20 kV pada jaringan tegangan rendah. Terjadi pada beban tiap-tiap fasa (R, S, T). Ketidakseimbangan beban ini menyebabkan timbulnya arus netral pada penghantar netral Transformator distribusi. Arus netral yang timbul akibat ketidakseimbangan beban akan dapat menyebabkan terjadinya rugi-rugi pada trafo (Losses Trafo). Setelah menganalisis maka penulis mendapatkan nilai presentase Ketidakseimbangan beban pada Gardu BGLLTR1033 Lateri 1 pada jam 18:15:34 waktu beban puncak sebesar 7,03% jika bersandar pada acuan/standar ketidakseimbangan yang dianjurkan PLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) maka gardu ini berada pada kondisi baik yaitu <10%. Arus Netral yang didapat sebesar 23,105 A, Arus netral ini akan berpengaruh pada besarnya Rugi-Rugi Transformator maka dari nilai arus netral ini bisa diketahui nilai dari rugi-rugi pada transformator sebesar 396,110 Watt

Kata kunci: *Ketidakseimbangan beban, Arus netral, Rugi-Rugi, Transformator, Transformator Distribusi*

ABSTRACT

The increasing development of a region makes the demand for electrical energy increase. Therefore, the increasing demand must be balanced with a good distribution of electrical energy. But in the process of distributing electrical energy there is often an unbalanced load, which causes a neutral current in the transformer. Load imbalance that occurs in a 20 kV distribution transformer in a low voltage network. Occurs in the load of each phase (R, S, T). This load imbalance causes a neutral current to occur in the neutral conductor of the distribution transformer. Neutral currents that arise due to load imbalance will be able to cause losses in the transformer (Transformer Losses). After analyzing, the authors get the percentage value of the load imbalance at the BGLLTR1033 Lateri 1 Substation at 18:15:34 when the peak load time is 7.03% if it relies on the reference/standard of imbalance recommended by PLN (SK ED PLN

Analisis Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi pada Penghantar Netral Transformator di Rayon Baguala Ambon

No.0017.E/DIR /2014) then this substation is in good condition, namely <10%. Neutral current obtained is 23.105 A, this neutral current will affect the amount of Transformer Loss, so from the value of this neutral current it can be seen that the value of losses in the transformer is 396.110 Watt

Keywords: *Unbalance load, Neutral current, Losses, Transformer, Distribution Transformer*

1. PENDAHULUAN

Dalam sepuluh tahun terakhir ini, masalah listrik menjadi polemik yang berkepanjangan dan telah memunculkan multi implikasi yang sangat kompleks di berbagai aspek kehidupan, antara lain: keuangan, ekonomi, sosial, budaya, politik, dan lain-lain. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa listrik telah menjadi bagian yang sangat penting bagi umat manusia. Oleh karenanya tak berlebihan bahwa listrik bisa dikatakan sebagai salah satu kebutuhan utama bagi penunjang dan pemenuhan kebutuhan hidup umat manusia. **Suhadi, dkk. 2008).**

Dibanding dengan bentuk energi yang lain, listrik merupakan salah satu bentuk energi yang praktis dan sederhana. Disamping itu listrik juga mudah disalurkan dari dan pada jarak yang berjauhan, mudah didistribusikan untuk area yang luas, mudah diubah ke dalam bentuk energi lain, dan bersih (ramah lingkungan). Oleh karena itu, manfaat listrik telah dirasakan oleh masyarakat, baik pada kelompok perumahan, sosial, bisnis atau perdagangan, industri dan publik **(Suhadi, dkk. 2008)**

Trafo Distribusi atau *Distribution Transformer* digunakan untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik ke daerah perumahan ataupun lokasi industri. Pada dasarnya, Trafo Distribusi ini mendistribusikan energi listrik pada tegangan rendah yang kurang dari 33 kilo Volt untuk keperluan rumah tangga ataupun industri yang berada dalam kisaran tegangan 220V hingga 380V.

Sama seperti transformator dalam sistem *Great Barrington*, transformator apa pun yang mengambil tegangan dari sirkuit distribusi primer dan step down atau mengurangnya ke sirkuit distribusi sekunder atau sirkuit layanan konsumen adalah transformator distribusi. Meskipun banyak standar industri cenderung membatasi definisi ini dengan peringkat kVA (mis., 5 hingga 500 kVA), trafo distribusi dapat memiliki peringkat yang lebih rendah dan dapat memiliki peringkat 5.000 kVA atau bahkan lebih tinggi **(Taylor & Francis Group, 2006)**.

1.1 Perhitungan Arus Beban Pada Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Dimana :

- S = Daya Transformator (kVA)
- V = Tegangan Sisi Primer Trafo (kV)
- I = Arus Jala – Jala (A)

(Fauzi, Muhammad, A. 2020)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh 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 (kV)

(Fauzi, Muhammad, A. 2020)

1.2 Rugi-Rugi Akibat adanya arus netral pada penghantar netral Trafo

Losses atau rugi-rugi terjadi apabila terdapat aliran arus dari tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo dengan netral trafo. Hal ini disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa tersebut. Apabila hal ini tidak segera ditangani, maka bisa berakibat kerugian secara finansial maupun secara produksi listrik itu sendiri. Kerugian daya pada jaringan listrik adalah salah satu indikator terpenting operasi ekonomi dari perusahaan jaringan listrik dan juga mengubah kondisi system pembacaan meter listrik serta efektivitas jaringan (Kartika Sari, G. A, 2018).

Besarnya rugi-rugi atau losses dianalogikan sebagai besarnya daya yang hilang akibat dari berbagai hal, salah satunya karena ketidakseimbangan beban. Persamaan 3 menunjukkan rumus untuk mencari besarnya rugi-rugi daya yang hilang pada penghantar netral trafo.

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

P_N : Rugi-rugi daya atau *losses* pada penghantar netral (Watt)

I_N : Arus pada penghantar netral (A)

R_N : Tahanan pada penghantar netral (Ω)

(Fauzi, Muhammad, A. 2020)

1.3 Ketidakseimbangan Beban

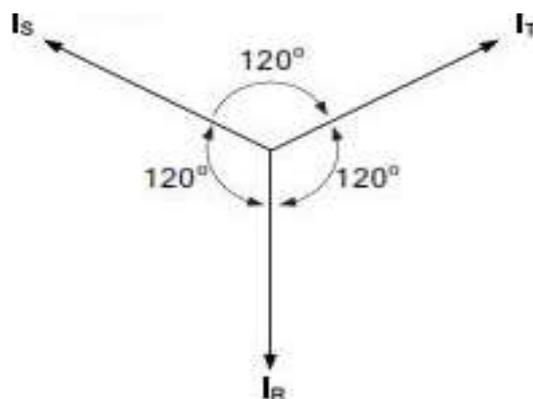
Ketidakseimbangan adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami perbedaan. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya vektor arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut (Kartika Sari, G. A, 2018).

Tiap-tiap fasa transformator dinyatakan dengan keadaan seimbang apabila memenuhi syarat berikut:

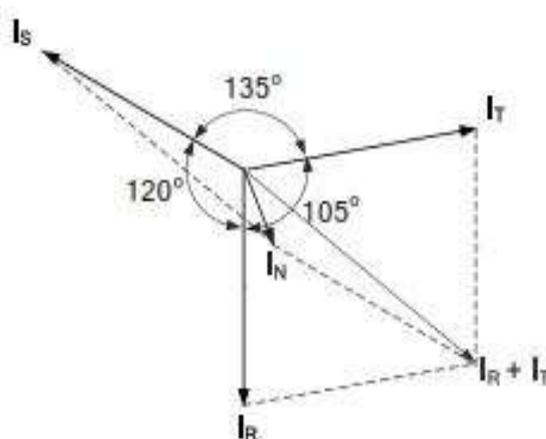
- a. Ketiga vektor arus dari masing-masing fasa (R,S,T) mempunyai nilai yang sama besar
- b. Perbedaan sudut dari ketiga vektor fasa adalah masing-masing berbeda 120°

Sebaliknya, apabila salah satu atau kedua syarat diatas tidak terpenuhi, maka bisa dikatakan bahwa trafo tersebut mengalami keadaan tidak seimbang. Dilihat dari vektornya, ada beberapa hal yang terjadi apabila transformator mengalami keadaan tidak seimbang.

- a. Vektor arus pada fasa R,S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antara fasa satu dengan yang lain tidak membentuk 120°
- b. Sudut pada vektor antara fasa sebenarnya sudah membentuk 120° namun nilai vektor pada fasa R,S, dan T terdapat perbedaan
- c. Nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan sekaligus sudut pada vektor antar fasa tidak membentuk 120°



Gambar 1. Vektor diagram arus ketika seimbang
(Sumber: Danang Ariq Wijaya, 2019)



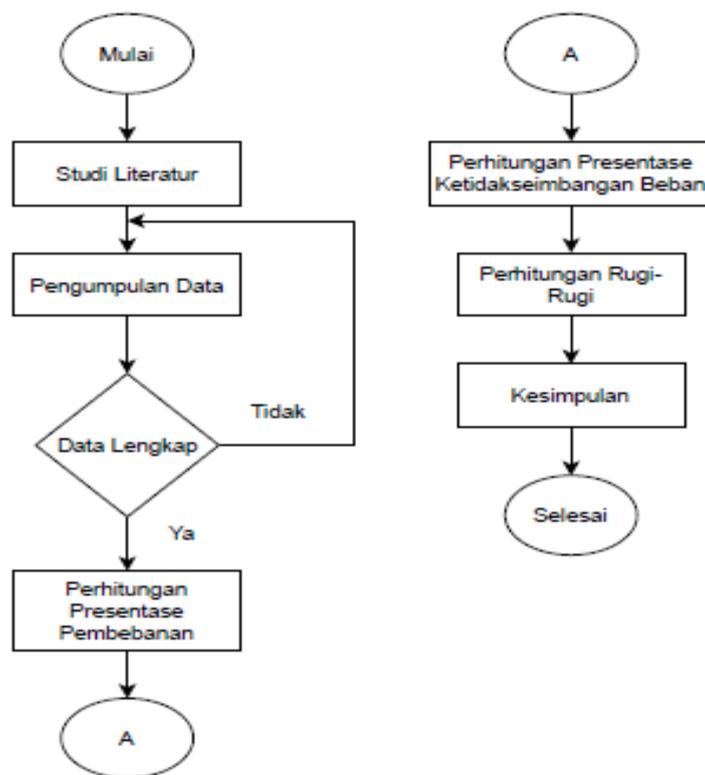
Gambar 2. Vektor diagram arus ketika beban tidak seimbang
(Sumber: Danang Ariq Wijaya, 2019)

Gambar 1 adalah contoh keadaan seimbang. Masing-masing nilai pada vector diatas apabila dijumlahkan akan bernilai nol. Keadaan ini tidak akan memunculkan arus netral (I_N). Gambar 2 adalah contoh keadaan tidak seimbang. Terdapat perbedaan nilai pada masing masing fasa, dan apabila dijumlahkan tidak bernilai nol. Selain itu, sudut antar fasanya juga tidak membentuk 120° . Keadaan ini akan memunculkan arus netral (I_N) dan besar dari arus netral ini berpengaruh pada besar dari faktor ketidakseimbangannya. Dalam sistem tenaga tiga fasa ideal, arus netral adalah jumlah vektor dari arus tiga fasa, harus sama dengan nol. Di bawah kondisi operasi normal, beberapa ketidakseimbangan fasa terjadi mengakibatkan arus netral kecil.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini, dimulai dari studi literatur penulis mencari, mempelajari dan mengumpulkan teori serta bahan-bahan yang mendukung bagi penulis untuk menunjang penelitian ini.

Analisis Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi pada Penghantar Netral Transformator di Rayon Baguala Ambon



Gambar 3. Metodologi Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Pada tahapan ini penulis mendapatkan data ini berasal dari hasil turun lapangan ke perusahaan tempat penulis kerja praktek. Untuk mengambil data-data yang dibutuhkan. Penulis akan melakukan pengambilan data pada trafo distribusi 20 KV, serta data-data pendukung lainnya. Adapun parameter yang akan dikumpulkan:

- a Arus Tiap Fasa
- b Arus Netral
- c Tegangan Fasa-Fasa
- d Tegangan Fasa Netral
- e Spesifikasi Transformator
- f Resistansi Kabel

2.2 Metode perhitungan

Pada perhitungan penulis akan melakukan perhitungan sesuai urutan dibawah ini:

- a. Menentukan arus *full load*
- b. Untuk menentukan rata-rata presentase pembebanan dalam satu hari
- c. Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo

d. Analisa *Losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

2.3 Metode Komperatif

Metode komperatif ini bertujuan untuk membandingkan hasil percobaan dengan standar yang di tentukan oleh instansi tertentu. Standar yang penulis bandingkan adalah. Standar beban trafo menurut surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No.17 Tahun 2014.

Tabel 1. Standar beban trafo menurut surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No.17 Tahun 2014.

Characteristic Group	Characteristic	Health Index			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Load Reading and Profilling	Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa	<10%	10%-<20%	20%-<25%	≥25 %
	Besar Arus Netral (%Terhadap arus beban trafo)	<10%	10%-<20%	15%-<20%	≥20 %
	Pembebanan Trafo (% terhadap kapasitas)	<10%	60%-<800%	80%-<100%	≥100 %

Tabel 1 merupakan standar yang sudah ditetapkan oleh PT. PLN (Persero) No.17 Tahun 2014. Dan untuk memastikan beban yang diukur pada trafo distribusi seimbang atau tidak seimbang maka penulis memakai standar ini sebagai pembanding.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini akan menjelaskan data-data yang diperoleh pada saat penulis melakukan penelitian. Serta akan menjelaskan hasil dari perhitungan yang dihitung dari data-data yang sudah diperoleh pada saat penelitian berlangsung. Perhitungan juga disesuaikan dengan topik yang dibahas pada penelitian ini.

3.1 Data Teknis dan Data Pembebanan

Tabel 2 merupakan data spesifikasi dari transformator distribusi 20 kV di gardu Gardu BGLLTR1033 Lateri 1.

Tabel 2. Data Teknis Trafo

Nama Pabrik	tptrafindo
Vector Group	Dyn5
No Load Losses	420 Watt
Load Losses 75	2750 Watt

Analisis Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi pada Penghantar Netral Transformator di Rayon Baguala Ambon

Impedance	4.0 %
Oil Volume	320 Litters
Capacity	250 kVA

Tabel 3. Data Pembebanan waktu beban puncak

FASA	I (A)	V_{p-n} (V)
R	152,8	224,1
S	154,7	224,3
T	130,7	225,9
I_N	23,105 A	

Tabel 3 merupakan hasil pengukuran pembebanan trafo, pada Gardu BGLLTR1033 Lateri 1. Pada proses pengukuran ini diukur pada waktu beban puncak atau pada jam 18:15:34 dimana pada waktu ini dikatakan beban puncak.

3.2 Analisa Pembebanan

Untuk menghitung arus beban penuh dapat menggunakan rumus:

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

$$I_{FL} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 400} = 360,84 \text{ A}$$

- Presentase pembebanan

$$\begin{aligned} &= \frac{I_{phR} + I_{phS} + I_{phT}}{3} \\ &= \frac{42\% + 42,87\% + 36,22\%}{3} \\ &= 40,36\% \end{aligned}$$

3.3 Ketidakseimbangan Beban

Untuk menentukan besarnya ketidak seimbangan beban pada tiap Phasa, dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$I_{rata-rata} = \frac{152,8 + 154,7 + 130,7}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 146,067$$

Untuk menentukan ketidakseimbangan beban, terlebih dahulu mencari koefisien a, b, dan c, mencari koefisien a, b, dan c menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \text{ , maka } a = \frac{152,8}{146,067} = 1,046$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \text{ , maka } b = \frac{154,7}{146,067} = 1,059$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \text{ , maka } c = \frac{130,7}{146,067} = 0,894$$

Setelah mendapatkan nilai koefisien a, b, dan c maka penulis dapat menentukan presentase ketidakseimbangan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \times 100\% \\ &= \frac{|1,046-1|+|1,059-1|+|0,894-1|}{3} \times 100\% \\ &= 7,03 \% \end{aligned}$$

Ketidakseimbangan beban pada Gardu BGLLTR1033 Lateri 1 pada jam 18:15:34 waktu beban puncak sebesar 7,03% jika kita bersandar pada acuan/standar ketidakseimbangan yang dianjurkan PLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) maka gardu ini berada pada kondisi baik yaitu <10%

3.4 Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo

Untuk mendapatkan nilai Rugi-rugi waktu beban puncak pada jam 18:15:34 Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dengan ukuran kawat penghantar netral trafo adalah $50 \text{ mm}^2 = 0,742 \ \Omega$:

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 23,105^2 \times 0,742$$

$$P_N = 396,110 \text{ Watt}$$

Rugi-rugi Netral pada penghantar netral trafo ini Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S dan fasa T) mengalir arus di netral trafo. Ketidakseimbangan beban pada Gardu BGLLTR1033 Lateri 1 pada jam 18:15:34 sebesar 7,03% maka dari ketidakseimbangan terjadilah Rugi-rugi Netral sebesar 396,110 Watt

3.5 Menentukan presentase Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo

Untuk menghitung Menentukan presentase Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo maka penulis akan mencari nilai daya aktif pada trafo.

$$P_{trafo} = S_{trafo} \cdot \cos\phi$$

$$P_{trafo} = 250 \text{ kVA} \cdot 0,85$$

$$P_{trafo} = 212,5 \text{ kW}$$

Setelah mendapatkan nilai daya aktif pada trafo maka penulis dapat menentukan nilai dari presentase Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo

$$\%P_{N-Losses} = \frac{P_N}{P_{trafo}} \times 100\%$$

$$\%P_{N-Losses} = \frac{396,110}{212,5} \times 100\%$$

$$\%P_{N-Losses} = 0,186 \%$$

3.6 Analisis

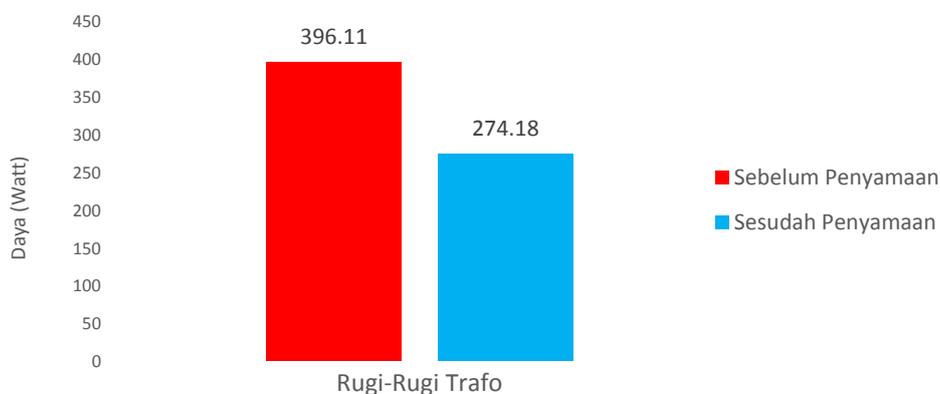
Tabel 4. Hasil Perhitungan Trafo Distribusi

Keadaan Pembebanan Trafo	Pembebanan (%)	Ketidakseimbangan (%)	I_N (A)	R_N (Ω)	$P_{N-Losses}$ (Watt)	$P_{N-Losses}$ (%)
Beban Puncak (50 mm²)	40,36 %	7,03 %	23,105	0,742	396,110	0,186 %
Beban Puncak (70 mm²)	40,36 %	7,03 %	23,105	0,5136	274,18	0,129 %

Jika dilihat dari Tabel 4 maka dapat dianalisis beberapa hal yaitu: ketidakseimbangan beban pada trafo Gardu BGLLTR1033 Lateri 1 sebesar 7,03% jika kita bersandar pada acuan/standar ketidakseimbangan yang dianjurkan PLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) maka gardu ini berada pada kondisi baik yaitu <10%. Namun dalam kondisi baik ini Gardu BGLLTR1033 Lateri 1 masih terjadi ketidakseimbangan sebesar 7,03% ini akan menimbulkan arus Netral Pada Gardu tersebut. Dikarenakan pemakaian beban listrik pada konsumen yang tidak merata

Arus Netral yang didapat sebesar 23,105 A, Arus netral yang didapat ini akan berpengaruh pada besarnya Rugi-Rugi Trafo pada penghantar, jika semakin besar Arus Netral yang ada pada trafo maka semakin besar pula Rugi-Rugi Trafo pada penghantar. Maka solusi untuk mengurangi rugi-rugi trafo pada penghantar dengan cara menggantikan ukuran kawat netral sama dengan kawat fasa yaitu sebesar (70 mm²). Jika dilihat Pada Tabel 4 terdapat penurunan rugi-rugi trafo pada penghantar sebesar: sebelum diganti Kawat Netral didapat rugi-rugi sebesar (50 mm² = 396,110 Watt), sesudah menggantikan kawat Netral sam dengan kawat Fasa maka: (70 mm² = 274,18 Watt) dengan jumlah penurunan sebesar 121,93 Wat. Bisa dilihat pada Gambar 3

Grafik Rugi-Rugi Pada Penghantar Netral Trafo



Gambar 4. Grafik Penurunan Rugi-Rugi daya

Gambar 4 merupakan grafik rugi-rugi pada penghantar netral trafo yang menunjukkan penurunan rugi-rugi trafo pada penghantar sebesar: sebelum diganti Kawat Netral didapat rugi-rugi sebesar ($50 \text{ mm}^2 = 396,110 \text{ Watt}$), sesudah menggantikan kawat Netral sam dengan kawat Phasa maka: ($70 \text{ mm}^2 = 274,18 \text{ Watt}$) dengan jumlah penurunan sebesar 121,93 Wat.

4. KESIMPULAN

Nilai presentase ketidakseimbangan pada Gardu BGLLTR1033 Lateri 1 waktu beban puncak yang didapat sebesar 7,03 %. Berdasarkan nilai ini maka trafo ini dalam kondisi baik namun jika semakin besar nilai ketidakseimbangan beban maka perlu dilakukan penyeimbangan beban.

Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo & presentase Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo (waktu beban puncak) sebesar 396,110 Watt dan untuk presentasi *losses* sebesar 0,186 %.

Jika semakin besar Arus Netral Yang didapat maka semakin besar pula Rugi-rugi daya pada penghantar netral trafo. Salah satu cara mengatasi *losses* arus netral adalah dengan membuat sama ukuran kawat netral dan fasa maka hasil yang didapat sebesar 274,18 Watt dan untuk presentasi *losses* sebesar 0,129 %

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak terkait yaitu PLN ULP baguala Ambon yang telah mengijinkan penulis untuk melakukan kerja praktek.

DAFTAR RUJUKAN

- Fauzi, Muhammad. A. (2020) *Analisa Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Di Gardu Distribusi Glna Penyulang Cimayor PT. PLN (Persero) Up3 Sumedang*. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Harlow, James H. Mehta, Shirish P. Henning, William R. (2007). *Electric Power Transformer Engineering, Second Edition*. United States Of America : CRC Press (Taylor and Francis Group).
- Kartika Sari, G. A. (2018). *Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Standar PT. PLN (Persero), SPLN D3.002-1 2007 Tentang Spesifikasi Transformator Distribusi.
- Suhadi, dkk. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*. Jakarta: Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional.

Analisis Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi pada Penghantar Netral Transformator di Rayon Baguala Ambon

Wijaya, Danang Ariq. (2019). *Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Transformator 2500 kVA Departemen Spinning 4 Di Pt.Asia Pacific Fiber,Tbk*. Universitas Semarang.

Winders, John J. Willis H, Lee. (2002). *Power Transformers Principles and Applications*. United States Of America : Marcel Dekker, Inc.
