

# Analisis Pengaruh Arus Netral Transformator Pada Gardu Distribusi Terhadap Losses (Rugi Daya)

Ajeng Nur Suryani<sup>1</sup>, I Made Parsa<sup>2</sup>, Crispinus Paulus Tamal<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Kependidikan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Cendana

Jln. Adisucipto Penfui Kupang, 85001, NTT

[ajengnursu@gmail.com](mailto:ajengnursu@gmail.com)

**Abstract** - This research aims to find out how much influence the neutral current of the transformer at the distribution substation has on losses and to find out how much influence the neutral current of the transformer at the distribution substation has on losses. This research used the literature study methods, survey methods and quantitative methods. The data analysis used is the analysis requirements test, data normality test, data homogeneity test and data analysis techniques using single regression analysis and coefficient of determination. The results of this research show that the influence of the neutral current of the transformer, thereby increasing the value of losses produced before load equalization, obtained at count = 8,611, a Sig value of <0.001 and a t tabel value (df = 30-2, namely: to sides/0.025) obtained 1,701 (Appendix 5. T-tabel page 136) so that 8,611 & 1,701 and the significance is < 0.001<0.05, while the result of analysis of the influence of the transformer neutral current thereby increasing the value of losses produced after load equalization obtained a value of  $t = 5,374$ , the value Sig. <0.001 and the t table value (df = 30-2, namely two sides /0.025) is 1,701 (Appendix 5. T-table page 136) so that 5,374 & 1,701 and the significance is < 0.001< 0.05, so it can be concluded that there is an influence of current neutral transformer against losses before and after load equalization. The result of the analysis of how much influence the transformer neutral current has so that it increases the value of the losses produced before and after equalizing the load, it is obtained that the coefficient of determination (R Square) is 0.726 and 0.508 and is interpreted as a percentage of the value of the neutral current affecting the losses (power losses) before equalization. The load is 72.6% and 50.8% after load equalization and remaining 27.4% and 49.2% are influenced by other variables.

**Keywords** - Power Supply linear; Switching ModePower Supply (SMPS); efisiensi, Frekuensi Output; Tegangan Output.

**Abstrak** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh antara arus netral transformator pada gardu distribusi terhadap losses dan mengetahui seberapa besar pengaruh antara arus netral transformator pada gardu distribusi terhadap losses. Penelitian ini menggunakan metode study literature, metode survei dan metode kuantitatif. Analisis data yang digunakan adalah uji persyaratan analisis, uji normalitas data, uji homogenitas data serta teknik analisis data dengan menggunakan analisis regresi tunggal dan koefisien determinasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh arus netral transformator sehingga menambah nilai losses yang dihasilkan sebelum pemerataan beban diperoleh nilai thitung = 8.611, nilai sig sebesar < 0,001 dan nilai ttabel (df = 30-2 yaitu: dua sisi/0,025) diperoleh 1.701 (Lampiran 5. T-tabel halaman 136) sehingga  $8.611 > 1.701$  dan signifikansinya  $< 0,001 < 0,05$ , sedangkan hasil analisis pengaruh arus netral transformator sehingga menambah nilai losses yang dihasilkan setelah pemerataan beban diperoleh nilai thitung = 5.374, nilai Sig. sebesar < 0,001 dan nilai ttabel (df = 30-2 yaitu dua sisi/0,025) diperoleh 1.701 (Lampiran 5. T-tabel halaman 136) sehingga  $5.374 > 1.701$  dan signifikansinya  $< 0,001 < 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh arus netral transformator terhadap losses sebelum dan sesudah pemerataan beban. Hasil analisis seberapa besar pengaruh arus netral transformator sehingga menambah nilai losses yang dihasilkan sebelum dan setelah pemerataan beban diperoleh nilai koefisien determinasi (R Square) sebesar 0,726 dan 0,508 dan diinterpretasikan dengan presentase nilai arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum pemerataan beban adalah 72,6% dan 50,8% setelah pemerataan beban dan sisanya 27,4% dan 49,2% dipengaruhi oleh variable lain.

**Kata kunci** – Arus Netral Transformator, Losses, Pemerataan Beban.

## I. PENDAHULUAN

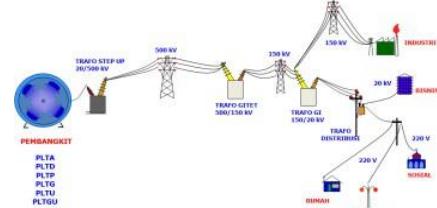
Gardu distribusi adalah sarana penyaluran tenaga listrik dari PLN ke pelanggan dengan. Dengan tegangan primer 20 kV lalu diubah oleh trafo menjadi tegangan sekunder 400 V (antar fasa) atau 220 V (fase – netral). Pada proses penyaluran tenaga listrik ke konsumen, pasti terjadi rugi-rugi (Losses) teknis dan nonteknis. Losses teknis dapat terjadi pada penghantar maupun pada transformator. Salah satu penyebabnya yaitu karena ketidakseimbangan nilai beban pada trafo distribusi. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut kemudian muncul arus netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya Losses (Rugi-Rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah.

Adanya arus yang mengalir di hantaran netral, idealnya arus yang mengalir disepanjang hantaran netral adalah nol tetapi karena pengaruh beban tidak seimbang maka hantaran netral akan berarus sehingga arus ini sebagian berubah menjadi panas yang dibuang ke lingkungan sekitar sebagai losses. Meskipun terdapat pentahanan netral, terkadang pentahanan netral tidak mampu membuang arus netral yang cukup besar akibat dari beban yang tidak seimbang. Salah satu cara untuk mengatasi Losses adalah dengan menyeimbangkan beban trafo distribusi pada jaringan distribusi tersebut. Nilai beban yang seimbang akan membuat nilai arus yang kecil juga.

Oleh sebab itu, penelitian ini diperlukan agar meminimalisir terjadinya ketidakstabilan tegangan yang masuk ke konsumen serta mengurangi Losses pada jaringan sistem distribusi terutama pada Gardu Distribusi yang berdampak. Sehingga adanya pengaruh penyeimbangan nilai beban tidak seimbang yang dapat mengurangi arus netral yang mengalir pada penghantar dan mengurangi Losses serta memperpanjang umur transformator.

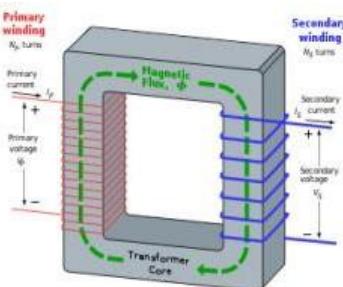
## II. LANDASAN TEORI DAN METODE

Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. [4]



Gambar 2. 1 Penempatan Trafo Daya pada Sistem Tenaga Listrik [19]

Pada prinsipnya, trafo tersusun dari dua buah lilitan yang dipasang pada sebuah inti besi. Salah satu kumparan dihubungkan dengan tegangan masukan, kemudian disebut lilitan primer, sedang lilitan yang lain dihubungkan dengan beban disebut lilitan sekunder. Untuk memudahkan memahami prinsip kerja trafo ini, trafo digambarkan sebagaimana tampak pada gambar dibawah ini:



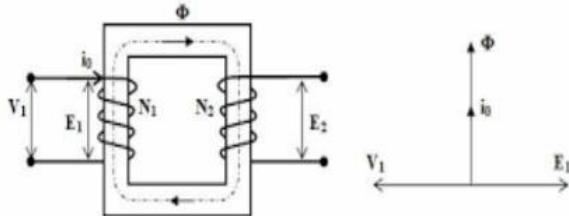
Gambar 2. 2 Bagian-Bagian Utama Trafo [19]

Kumparan primer digambarkan di sebelah kiri yang dihubungkan dengan sumber tegangan, sedangkan kumparan sekunder digambarkan di sebelah kanan yang dihubungkan dengan beban. Trafo bekerja menaikkan atau menurunkan tegangan berdasarkan pada prinsip gejala elektro magnetic dan induksi elektro magnetic. Gejala elektro magnetic terjadi pada kumparan primer, sedangkan induksi elektro magnetic terjadi pada kumparan sekunder[19].

Secara sederhana prinsip kerja trafo yaitu bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka pada kumparan tersebut akan mengalir arus listrik bolak-balik yang mengakibatkan di sekitar kumparan timbul medan magnet atau flux magnet yang arah dan besarnya berubah-ubah. Perubahan arus listrik menjadi medan magnet ini disebut gejala elektro magnetik. Flux magnet yang terjadi pada kumparan primer akan mengalir melalui inti besi sehingga sampai ke kumparan sekunder. Selanjutnya pada kumparan sekunder, konduktor akan terkena flux magnet yang berubah-ubah yang berasal dari kumparan primer yang mengakibatkan terjadi tegangan induksi antara kedua ujung kumparan sekunder yang besarnya berubah-ubah juga. Perubahan medan magnet yang berubah-ubah menjadi tegangan semacam ini disebut gejala elektro magnetik. Tegangan induksi ini menyebabkan adanya beda tegangan antara kedua ujung kumparan sekunder. Bila kumparan sekunder dirangkai

dengan beban, maka pada rangkaian sekunder akan mengalir arus listrik bolak-balik ke beban sesuai dengan arus yang mengalir pada kumparan primer.

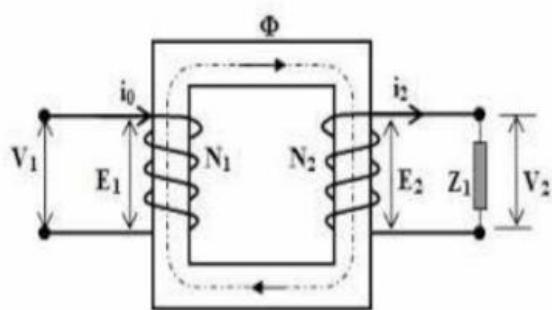
Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks (yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal). Fluks bolak-balik ini akan memotong kumparan primer dan kumparan sekunder dan harganya naik turun dalam arah bolak-balik sehingga menginduksikan ggl pada kedua lilitan tersebut. Ggl yang diinduksikan dalam kumparan primer akan melawan tegangan  $V_1$  yang dikenakan.



Gambar 2. 3 Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban [4]

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoidal dan kumparan sekundernya merupakan rangkaian yang tidak dibebani (no load), maka akan mengalir arus primer  $I_0$  yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni,  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$ . Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\phi$ ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal.

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ , maka  $I_2$  akan mengalir pada kumparan sekunder.



Gambar 2. 4 Transformator dalam Keadaan Berbeban [4]

Arus beban ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_0$ . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer arus mengalir arus  $I_2$ , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ .

### Ketidakseimbangan Beban

Menurut Zuhal dalam bukunya yang berjudul Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya,

ketidakseimbangan beban sering terjadi pada transformator gardu distribusi. Yang dimaksud dengan keseimbangan beban adalah suatu keadaan dimana ketiga vector arus/tegangan sama besar dan ketiga vector saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain. Sedangkan yang dimaksud dengan ketidakseimbangan beban adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keseimbangan tidak terpenuhi. Penyebab ketidakseimbangan adalah pada beban-beban satu phasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah.[24]

Akibat ketidakseimbangan tersebut kemudian muncul arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo. Ketidakseimbangan beban adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami perbedaan. Ketidakseimbangan beban suatu sistem distribusi listrik selalu terjadi, salah satu penyebab dari ketidakseimbangan beban tersebut terdapat pada beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Pola penyambungan SR pada proses sambung baru tidak memperhatikan kondisi beban fasa pada gardu distribusi antar fasa tidak merata. Akibat dari ketidakseimbangan beban tersebut menimbulkan adanya arus netral yang mengalir pada trafo yang juga menimbulkan terjadinya losses pada trafo. Semakin tidak seimbang beban antar fasa maka losses (rugi-rugi) yang akan terjadi semakin besar.

### 1. Akibat Beban Tak Seimbang dan Pentahanan Yang Kurang Baik

Beban yang tidak seimbang akan menyebabkan beberapa hal antara lain: Efisiensi Trafo yaitu beban non linier seperti lampu hemat energi, dapat menimbulkan arus harmonik yang menyebabkan tambahan kerugian dalam trafo distribusi seperti, arus yang mengalir pada penghantar netral karena beban tidak seimbang dan adanya beban non linier akan kembali ke transformator, arus ini bersirkulasi di kumparan primer sehingga pemanasan yang berlebih pada trafo distibusi. Kegagalan isolasi pada transformator akan menyebabkan trafo menjadi panas karena ada rugi-rugi yang disebabkan oleh arus bocor. Jika berlangsung terus-menerus arus bocor akan semakin besar dan menyebabkan kegagalan isolasi total yang menyebabkan trafo rusak. Selanjutnya Rugi Penghantar, ketika faktor daya rendah, arus yang mengalir akan meningkat, dengan demikian, untuk mengalirkan arus yang besar dibutuhkan ukuran penghantar konduktor yang lebih besar dan semakin besar penghantar atau konduktor akan semakin besar biaya yang dibutuhkan untuk pengadaannya. Akibat beban tidak seimbang selanjutnya itu menimbulkan rugi daya. Pemerataan beban dilakukan untuk memperbaiki

kualitas beban yang dikirim. Terlihat dengan beban seimbang dengan menghasilkan pergeseran sudut antar fasa sebesar  $120^\circ$ . Hal ini berpengaruh terhadap arus netral yang terjadi dimana arus netral yang terjadi menjadi nol. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi).

Kerugian lain yang ditimbulkan akibat adanya arus netral adalah terbuangnya energi yang mengalir ke tanah melewati hantaran netral. Losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground).

## 2. Perhitungan Arus Beban Penuh

Transformator Telah diketahui bahwa daya transformator distribusi bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Dimana:

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer transformator (V)

I : arus jala-jala (A)

Dengan demikian untuk menghitung arus beban full (full load) dapat menggunakan rumus :

Dimana:

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

Dimana:

IFL : arus beban penuh transformator (A)

S : daya transformator (kVA)

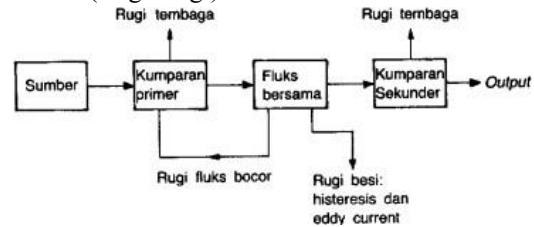
V : tegangan sisi sekunder transformator (V)

## 3. Arus Netral Transformator

Menurut Zuhal dalam bukunya yang berjudul Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Pada sistem distribusi tiga fasa jika pada masing-masing fasa mengalir arus yang sama besar, maka dikatakan beban seimbang. Namun pada kenyataannya selalu ada ketidakseimbangan beban sehingga arusnya pun tidak seimbang. Pemakaian atau pengoperasian beban tidak selalu pada waktu yang bersamaan. Pada sisi sekunder transformator terdiri dari tiga fasa yakni R, S, T dan N. Jika terjadi selisih yang cukup besar antar beban fasa R, S, T maka akan muncul arus netral, semakin besar ketidakseimbangan beban maka akan semakin besar pula arus netral. Apabila ketidakseimbangan beban tersebut melewati batas yang telah ditetapkan maka dilakukan suatu tindakan yaitu dengan melakukan penyeimbangan beban. Akibat pembebahan di tiap fasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika dihantarkan penghantar netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka penghantar netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada transformator menjadi tidak seimbang. Arus yang mengalir disepanjang kawat netral akan menyebabkan rugi-rugi (Losses). [24] Arus netral pada sistem distribusi tenaga listrik kawat netral merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa. Arus yang mengalir pada titik netral karena keadaan beban tidak seimbang pada transformator tergantung seberapa besar faktor ketidakseimbangannya. Munculnya arus netral merupakan representasi dari ketidakseimbangan beban. Semakin besar ketidakseimbangan beban maka jumlah arus netral akan semakin meningkat. Dalam sistem

distribusi tiga fasa, jika arusnya seimbang maka arus netralnya bernilai nol, tetapi jika arus fasanya tidak seimbang maka akan ada arus yang mengalir di kawat netral dan arus netral akan mempunyai nilai dalam arti tidak nol. [4].

## 4. Losses (Rugi-Rugi)



Gambar 2. 5 Alur terjadinya Losses (Rugi-Rugi)

Menurut Zuhal, yang dimaksud dengan Losses adalah perbandingan antara energy listrik yang disalurkan ( $P_s$ ) dengan energy listrik yang terpakai ( $P_p$ ).

$$\text{Losses} = \frac{P_s - P_p}{P_s} \times 100\%$$

dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa . Arus netral ini akan muncul jika kondisi beban tidak seimbang atau karena adanya arus harmonika akibat beban non-linear yang semakin berkembang. Arus yang mengalir pada

Losses Akibat terdapat Arus pada Penghantar Netral Menurut A.S Pabla, akibat pembebahan di tiap fasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika di hantaran penghantar netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka penghantar netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada transformator menjadi tidak seimbang.

Sedangkan menurut Zuhal, sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap phasa pada sisi sekunder trafo ( phasa R, S, dan T ) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi).(Zuhal, 2000)

Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral akan menyebabkan rugi-rugi daya sebesar:

$$\Delta P = I^2RN \text{ (Watt)}$$

Dimana:

P = Losses yang timbul akibat arus netral (watt)

IN = Arus yang mengalir pada penghantar netral (A)

RN = Tahanan pada penghantar netral (ohm)

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Deskriptif Data Hasil Penelitian

Arus netral yang terdapat pada transformator diakibatkan oleh pembagian beban yang tidak merata, menurut petugas PLN (Inspeksi Transformator). Munculnya arus pada penghantar netral terjadi dikarenakan terdapat beban yang tidak seimbang pada salah satu fasa

dalam pembebanan transformator. Beban yang tidak seimbang tersebut dikarenakan penggunaan beban secara besar-besaran oleh pelanggan di salah satu fasa pada saat beban puncak, beban puncak terjadi pada waktu tertentu sesuai dengan letak gardu distribusi. Apabila gardu distribusi terletak di area pertoko-an, maka beban puncaknya terjadi pada siang hari di jam 10.00 – 12.00 Wita, sedangkan gardu distribusi yang terletak di area perumahan (pemukiman warga), maka beban puncaknya terjadi pada malam hari di jam 18.00 – 21.00 Wita.

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan, pada 30 Gardu Distribusi yang mengalami ketidakseimbangan beban serta losses akibat adanya arus pada penghantar netral. Berikut adalah temuan yang peneliti temukan selama proses penelitian.

### Data Teknis Transformator Distribusi

Gardu trafo distribusi 100 kVA

Lokasi: Desa Tunfeu

Kode Gardu: KB034

#### Sebelum Pemerataan

Arus (Ampere)		Tegangan Sekunder Transformato r (Volt)		Tegangan Primer Transformato r (Volt)		Tahanan Penghantar Netral ( $\Omega$ )	Nilai Unbalance d	
R	S	T	N	RN	SN TN	RS	RT	TS
55	55	19	40	236	23625	405	406	405

Cosφ			R	S	T	0,92	0,080	0,794						

#### Setelah Pemerataan

Arus (Ampere)				Tegangan Sekunder Transformato r (Volt)		Tegangan Primer Transformato r (Volt)		Tahanan Penghantar Netral ( $\Omega$ )	Nilai Unbalance d
R	S	T	N	R N	S N	T N	R S	T T	S S
5	6	4	1	2	2	2	4	4	4
9	9	8	4	3	3	3	0	0	0

5	6	4	1	2	2	2	4	4	4	0,309	12,12
9	9	8	4	3	3	3	0	0	0	6	%

Alasan melakukan pemerataan beban, karena nilai unbalanced (ketidakseimbangan) sudah melampaui batas

yang diizinkan yaitu 10% menurut SPLN Nomor 17 Tahun 2014 .

Tanggal Pengerjaan : 01 November 2023

Waktu Pengerjaan : 09.05 – 12.05

Dari tabel data pembebanan sebelum pemerataan dapat dilihat bahwa terdapat selisih beban antar fasa yang satu dengan yang lainnya pada Fasa R dan T cukup besar. Ini mengakibatkan pada penghantar netral memiliki arus senilai 40A sehingga nilai unbalanced yang dihasilkan sebesar 37,21%. Dengan melihat data tersebut, maka dapat diperkirakan berapa besaran arus yang akan dipindahkan antar fasa agar pembebanan pada trafo menjadi seimbang atau nilai unbalanced-nya bisa lebih mengecil dari 10%. Data yang diperoleh pada tabel setelah pemerataan didapat dari pemindahan beban dari gardu sisip KB131 yang mengalami overload (beban lebih) karena pada gardu sisip tidak dapat dilakukan uprating (pergantian kapasitas trafo) maka dilakukan pemerataan beban, dengan cara memindahkan beban senilai 47A dari gardu sisip ke gardu portal terdekat dengan rincian 29A pada fasa R, 14A pada fasa S dan 4A pada fasa T. Sehingga diperoleh data beban seperti pada tabel pembebanan setelah pemerataan. Namun pada praktek dilapangan, sangat sulit untuk mendapatkan nilai arus pembebanan setelah pemerataan yang ideal dikarenakan data pengukuran arus beban bisa berubah kapan saja tergantung pemakaian pelanggan. Sehingga pekerjaan untuk pemindahan fasa pada beban yang bersangkutan hanya berupa pendekatan nilai.

### Data Tahanan Kawat Penghantar Netral dan Cos Phi Transformator Distribusi

Menurut SPLN Nomor 64 Tahun 1995 tentang Impedansi Kawat Penghantar, ukuran kawat untuk penghantar netral transformator yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) ULP Kupang tergantung kapasitas dari Transformatornya, untuk transformator dengan kapasitas 160 KVA digunakan kawat penghantar netral dengan ukuran  $150 \text{ mm}^2$  dengan  $R = 0,2162 \Omega$ . Untuk transformator dengan kapasitas 100 KVA digunakan kawat penghantar netral dengan ukuran  $95 \text{ mm}^2$  dengan  $R = 0,3096 \Omega$ . Untuk transformator dengan kapasitas 50 KVA digunakan kawat penghantar netral dengan ukuran  $70 \text{ mm}^2$  dengan  $R = 0,4608 \Omega$ . Menurut SPLN 70 Nomor 1 Tahun 1985 tentang faktor daya (Cos Phi), standar minimal faktor daya (Cos Phi) yang diizinkan oleh pihak PLN adalah 0,85 φ untuk 3 fasa. Besarnya cos phi ditentukan berdasarkan daya semu (KVA) atau kapasitas daya pada transformator gardu distribusi, besar cos phi pada gardu distribusi dengan kapasitas 100KVA di PT. PLN (Persero) ULP Kupang untuk 3 fasa masing-masing yaitu:

- Fasa R :  $0,926 \phi$
- Fasa S :  $0,080 \phi$
- Fasa T :  $0,794 \phi$

### Analisis Losses (Rugi Daya) Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Transformator

Standard Losses (Rugi Daya) maksimum pada transformator distribusi berdasarkan SPLN 50:1997 adalah:

- Transformator distribusi kapasitas 100 KVA : 1600 watt =  $0,16 \div 100 = 1,6\%$
- Transformator distribusi kapasitas 160 KVA : 2000 watt =  $0,02 \div 160 = 1,25\%$
- Transformator distribusi kapasitas 200 KVA : 2500 watt =  $0,25 \div 200 = 1,25\%$

### Presentase Losses (Rugi Daya) Transformator Distribusi 100 KVA di Desa Tunfeu KB034 Sebelum Pemerataan

$$IN = 40$$

$$RN = 0,3096 \text{ Ohm}$$

$$PN = I^2 \times RN$$

$$PN = 40^2 \times 0,3096$$

$$PN = 0,49 \text{ kW}$$

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$PR = 236 \times 55 \times 0,92 = 11,78 \text{ kW}$$

$$PS = 236 \times 55 \times 0,080 = 1,03 \text{ kW}$$

$$PT = 235 \times 19 \times 0,794 = 3,54 \text{ kW}$$

Maka daya aktif transformator (P) adalah:

$$P = PR + PS + PT$$

$$P = 11,78 + 1,03 + 3,54$$

$$P = 16,53 \text{ kW}$$

Dengan demikian, presentase losses (rugi daya) akibat arus pada penghantar netral transformator adalah:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,49}{16,53} \times 100\%$$

$$\%P_N = \frac{0,49}{16,53} \times 100\% = 2,96\%$$

### Sesudah Pemerataan:

$$IN = 14$$

$$RN = 0,3096 \text{ Ohm}$$

$$P = I^2 \times R$$

$$P_N = 14^2 \times 0,3096$$

$$P_N = 0,06 \text{ kW}$$

Dengan menggunakan persamaan dibawah ini, losses (rugi daya) akibat adanya arus pada penghantar netral transformator harus diketahui terlebih dahulu daya aktif transformator (P).

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$PR = 232 \times 59 \times 0,92 = 12,59 \text{ kW}$$

$$PS = 232 \times 69 \times 0,080 = 1,28 \text{ kW}$$

$$PT = 232 \times 48 \times 0,794 = 8,84 \text{ kW}$$

Maka daya aktif transformator (P) adalah:

$$P = PR + PS + PT$$

$$P = 12,59 + 1,28 + 8,84$$

$$P = 22,71 \text{ kW}$$

Dengan demikian, presentase losses (rugi daya) akibat arus pada penghantar netral transformator adalah:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,06}{0,22,71} \times 100\%$$

Dengan menggunakan persamaan dibawah ini, losses (rugi daya) akibat adanya arus pada penghantar netral transformator harus diketahui terlebih dahulu daya aktif transformator (P).

$$\%P_N = \frac{22,71}{0,26} \times 100\% = 22,71 \times 100\% = 0,26\%$$

### Pembahasan

Terdapat Pengaruh Arus Netral terhadap Losses (Rugi Daya) yang dihasilkan oleh Transformator Pengaruh arus netral terhadap losses (rugi daya) yang dihasilkan didapatkan dari data-data hasil pengukuran yang telah peniliti dapatkan selama penelitian (1 bulan) di ULP Kupang. Berdasarkan data-data tersebut diolah menggunakan rumus-rumus tematik yang digunakan dalam penelitian tersebut Berdasarkan hasil analisis data yang menggunakan IBM SPSS versi 29.0 dapat diketahui bahwa nilai korelasi antara variable arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum pemerataan beban sebesar 0,852 dan setelah pemerataan beban sebesar 0,713. Nilai tersebut menunjukkan bahwa arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum pemerataan beban mempunyai korelasi sangat kuat dan arah hubungannya adalah positif sedangkan arus netral yang mempengaruhi losses (rugi daya) setelah pemerataan beban mempunyai korelasi kuat dan arah hubungannya adalah positif. Secara keseluruhan, variable bebas yaitu arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum pemerataan beban berpengaruh secara signifikan sebesar 72,6% dan sisanya sebesar 27,4% dipengaruhi oleh variable lain sedangkan arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) setelah pemerataan beban berpengaruh secara signifikan sebesar 50,8% dan sisanya sebesar 49,2% dipengaruhi oleh variable lain. Berdasarkan hasil analisis regresi tunggal menunjukkan bahwa variable arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) yang dihasilkan nilai signifikansi sebesar  $<0,001 < 0,05$  dengan demikian ada pengaruh signifikan variable arus netral mempengaruhi losses (rugi daya), hipotesis tersebut terbukti.

Pengaruh arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) yang dihasilkan oleh transformator. Arus netral pada sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa. Arus netral ini akan muncul jika kondisi beban tidak seimbang atau karena adanya arus harmonika akibat beban non-linear yang semakin berkembang. Arus yang mengalir pada kawat netral merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa. Akibat dari beban yang tidak seimbang tersebut menimbulkan adanya arus netral yang mengalir pada trafo yang juga menimbulkan terjadinya losses pada trafo.

Menurut peneliti arus netral merupakan salah satu penyebab utama terjadinya losses pada sebuah

transformator. Beberapa penyebab adanya arus pada penghantar netral salah satunya yaitu ketika beban pada tiga fasa tidak terdistribusi secara seimbang atau bahkan hanya digunakan satu atau dua fasa, hal ini menyebabkan presentase ketidakseimbangan beban ikut naik diikuti dengan arus pada penghantar netral yang ikut besar tergantung kapasitas masing-masing trafo. Oleh karena itu, pihak PLN mempunyai solusi yang cukup meminimalisirnya, yaitu dengan melakukan pengecekan dan pengukuran pada gardu distribusi secara berkala pada saat beban puncak untuk mengetahui kemungkinan adanya beban pincang dan arus pada penghantar netral sehingga menghasilkan losses yang besar pada transformator.

Proses penyeimbangan beban itu sendiri dikerjakan langsung oleh tim teknisi dari PLN yang bertugas khusus di bidang gardu distribusi dan trafo serta memiliki kompetensi yang sesuai dengan pekerjaan tersebut. Dalam proses pelaksanaan juga terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan salah satunya yaitu K3 untuk menjamin pelaksanaan jauh dari resiko atau bahaya yang terjadi.

#### Besar Pengaruh Arus Netral terhadap Losses (Rugi Daya) yang dihasilkan oleh trafo.

Besar pengaruh arus netral terhadap losses (rugi daya) yang dihasilkan didapatkan dari data-data hasil pengukuran yang telah peniliti dapatkan selama penelitian (1 bulan) di ULP Kupang. Berdasarkan data-data tersebut diolah menggunakan rumus-rumus tematik yang digunakan dalam penelitian tersebut dan kemudian dianalisis oleh IBM SPSS versi 29.0 dan didapatkan hasil besarnya pengaruh antara kedua variable X dan Y.

Berdasarkan hasil analisis nilai koefisien determinasi R Square. Besarnya pengaruh variable arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum pemerataan beban didapat nilai koefisien determinasi (R Square), sebesar 0,726. Nilai tersebut diinterpretasikan dengan presentase nilai antara arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum pemerataan beban adalah 0,726 atau 72,6% dan sisanya sebesar 27,4% dipengaruhi oleh variable lain. Sedangkan besar pengaruh variable arus netral mempengaruhi losses (Rugi Daya) setelah pemerataan beban didapat nilai koefisien determinasi (R Square), sebesar 0,508. Nilai tersebut diinterpretasikan dengan presentase nilai antara arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) setelah pemerataan beban adalah 0,508 atau 50,8% dan sisanya sebesar 49,2% dipengaruhi oleh variable lain.

Menurut Peneliti, ketidakseimbangan terjadi dikarenakan beberapa faktor, faktor yang mempengaruhi ketidakseimbangan menurut para ahli yaitu adanya pemakaian berlebih terhadap salah satu fasa sehingga menimbulkan arus pada penghantar netral yang besar. Namun, faktor yang sangat mempengaruhi ketidakseimbangan beban berdasarkan yang terjadi di lapangan adalah penggunaan beban dari 3 fasa pada trafo yang tidak seimbang atau dari ketiga fasa yang ada, tetapi pelanggan hanya menggunakan dua fasa untuk

pembebatan, maka nilai unbalanced (ketidakseimbangan) akan meningkat walau nilai arus pada penghantar netral tidak sebesar itu. Jika arus pada penghantar netral transformator melebihi standar yang diperbolehkan akan mengakibatkan ketidakseimbangan arus (beban) yang disalurkan pada masyarakat serta mengakibatkan losses (rugi daya) yang kemudian akan merugikan PLN sebagai penyulur energy listrik ke konsumen.

Besarnya pengaruh arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) yang dihasilkan tergantung pada presentase ketidakseimbangan beban yang dihasilkan dan kapasitas masing-masing transformator pada gardu distribusi.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat pengaruh arus netral terhadap *losses* (rugi daya) sebelum pemerataan beban. Berdasarkan hasil analisis regresi, berdasarkan hasil pengujian tabel diatas diperoleh nilai  $t_{hitung} = 8,611$  nilai Signifikan (Sig) Sebesar  $< 0,001$  dan nilai  $t_{tabel} = (df = 30 - 2 = 28$  yaitu dua arah / 0,025 ) maka diperoleh  $t_{tabel} = 1701$  (lampiran 5. tabel t halaman 136), sehingga  $8,611 > 1701$  dan signifikansinya sebesar  $< 0,001 < 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh arus netral terhadap losses (rugi daya) sebelum pemerataan beban. Dengan pengaruh arus netral terhadap losses (rugi daya) setelah pemerataan beban berdasarkan hasil analisis regresi, berdasarkan pengujian tabel diatas diperoleh nilai  $t_{tabel} = 5374$  nilai signifikansi (sig) sebesar  $< 0,001$  dan nilai  $t_{tabel} = (df = 30 - 2 = 28$  yaitu 2 arah / 0,025) maka diperoleh  $t_{tabel} = 1701$  (lampiran 5. ttabel halaman 136), sehingga  $5374 > 1701$  dan signifikansinya sebesar  $< 0,001 < 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh arus netral terhadap losses (rugi daya) setelah pemerataan beban.
2. Besarnya pengaruh variable arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum dan setelah pemerataan didapat nilai koefisien determinasi (R Square), sebesar 0,726 dan 0,508. Nilai tersebut diinterpretasikan dengan presentase nilai antara arus netral mempengaruhi losses (rugi daya) sebelum pemerataan adalah 0,726 atau 72,6% dan setelah pemerataan adalah 0,508 atau 50,8%, dan sisanya sebesar 27,4%

sebelum pemerataan beban dan 49,2% setelah pemerataan beban dipengaruhi oleh variable lain

#### REFERENSI

- [1] Agus, S. (2017). Rancang Bangun Pengendali Motor 1 Fasa Dengan Metode Zero Crossing Detector Berbasis Arduino. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Cahyadi, M., Nasrullah, E. dan Trisanto, A. (2016). Rancang Bangun Catu Daya DC 1V – 20V Menggunakan Kendali P-I Berbasis Mikrokontroler. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro (Electrician), 10(2).
- [3] Citizen Electronics. Datasheet LED
- [4] Dasar, E. (2012). Zero Crossing Detector.
- [5] Diekhoff, G. (1992). Statistics for the social and behavioral sciences: Univariate, bivariate, multivariate. Dubuque, Iowa: Win. C. Brown.
- [6] Gupta, A., Thakur, R., & Murarka, S. (2013). An Efficient Approach to Zero Crossing Detection Based On, 3(5), 834–838.
- [7] Hart, D.W. (1997). Power Electronics. Indiana: McGraw-Hill.
- [8] Indah Martha Fitriani(2020). Kinerja topologi flyback pada SMPS(Switch Mode Power Supply).
- [9] Irma Y. Basri & Dedy Irfan(2018). Komponen Elektronika.
- [10] Jagadish dan Jayapal, R. 2017. Design and Development of Universal Impedance Analyzer. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 6(8): 2278–8875.
- [11] Johanes N. A. P., Mochammad F., dan Munawar A. R. 2015. Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Berbasis Konverter Flyback
- [12] Karthika dan George, N.S. 2014. Design of a Power Supply Using Fly- BackConverter. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 3(5): 403–408.
- [13] Khoirul Effendi. Rancang Bangun Sistem Catu Daya Dengan Metode Switching Mode Power Supply Berbasis Arduino Untuk Aplikasi Elektrospinner. 2019.
- [14] Kwon, S., Yoo, D., Jeong, G. dan Korea, S. 2014. High-Efficiency AC-DC Switch Mode Power Supply Using Full-Bridge Converter Circuit. International Journal of Control and Automation, 7(6): 189–200.
- [15] Miyan, H., Tavade, C.M., Deshpande, L.M. dan Prashanth, R.S. 2012. Design and implementation of high frequency transformer for SMPS based flyback DC- DC converter. International Journal of Engineering and Technology(IJET), 4(6): 494–499.
- [16] Muhammad.H.Rashid. Power Electronics Circuit, Device and Application. 2018.
- [17] Power Integrations. Datasheet TNY267P.
- [18] Pressman, A.I., Billings, K. dan Morey, T. 2009. Switching Power Supply Design, Third Edition. New York: McGraw-Hill.
- [19] Pujiyatmoko, H., Facta, M. dan Warsito, A. 2014. Resonansi Berbasis Kumparan Tesla. TRANSIENT, 3.
- [20] Rahman, M.S. 2007. Buck Converter Design Issues. Division of Electronic Devices. Linkopings Institute of Technology.
- [21] Sahu, A. dan Pradhan, M.K. 2016. A unity power factor multiple isolated outputs switching mode power supply using a single switch.pdf. International Journal of Research in Advent Technology, 4(3): 177–184.
- [22] Santoso, W.B., Santoso, B., Sukandar dan Susila, I.P. 2015. Pengatur Catu Daya Tegangan Tinggi Perangkat Mammografi MX-13 Berbasis Pulse Width Modulation. Jurnal Perangkat Nuklir, 9(2): 91–101.
- [23] Sharp. Datasheet PC817 Photocoupler.
- [24] Siregar, Syofian. 2013. Statistik Parametrik Untuk Penelitian Kuantitatif: Dilengkapi dengan Perhitungan Manual dan Aplikasi SPSS Versi 17. PT Bumi Aksara: Jakarta.
- [25] Sugiyono. Metode Penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. 2017
- [26] Sugiyono. Metode Penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. 2021
- [27] Supani, A. dan Azwardi 2015. Penerapan Logika Fuzzy dan Pulse Width Modulation untuk Sistem Kendali Kecepatan Robot Line Follower. INKOM, 9(1): 1–10.
- [28] Sri Wahyuning. Dasar-Dasar Statistik. 2021: Yayasan Prima Agus Teknik
- [29] Sunyoto, Danang “Teori Kuisioner dan Analisis Data” untuk pemasaran dan perilaku konsumen. 2013: Graha Ilmu
- [30] Yanis, R., Mamahit, D.J., Sherwin, R.U.A. dan Elektro-ft, J.T. 2013. Perancangan Catu Daya Berbasis Up-Down Binary Counter Dengan. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 1–12.