

# Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Transformator

## The Effect of Load Imbalance On Neutral Current in Transformers

Samsurizal<sup>1\*</sup>, Rizka Afrita Sri Wulandari<sup>2</sup>, Miftahul Fikri<sup>3</sup>, Andi Makkulau<sup>4</sup>, Nurmiati Pasra<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup>Teknik Elektro/Institut Teknologi PLN; Jakarta

<sup>3,5</sup>Teknologi Listrik/Institut Teknologi PLN; Jakarta

samsurizal@itpln.ac.id<sup>1\*</sup>, rizka1811116@itpln.ac.id<sup>2</sup>, miftahul@itpln.ac.id<sup>3</sup>, andi.mk@itpln.ac.id<sup>4</sup>, nurmiati@itpln.ac.id<sup>5</sup>

**Abstrak** – Ketidakseimbangan merupakan suatu keadaan yang disebabkan salah satu ataupun seluruh fasa pada transformator mengalami perbedaan, terjadi dikarenakan besarnya beban pada tiap fasa berbeda. Hal tersebut mengakibatkan adanya arus yang mengalir pada penghantar netral yang menimbulkan terjadinya rugi arus netral, serta kerugian berupa daya yang hilang dan dapat menyebabkan kerugian secara ekonomi. Pada saat dilakukan pencatatan beban gardu distribusi XY, besarnya nilai beban pada tiap-tiap fasanya berbeda, sehingga menyebabkan terjadinya rugi arus netral sebesar 2,03 kW dengan besarnya daya yang hilang sebesar 240844,2367 kW. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu dilakukan pemerataan beban dengan memindahkan beban pada fasa yang tinggi ke fasa yang memiliki beban lebih rendah menggunakan atau diistilahkan pecah beban. Hasil yang diperoleh besarnya rugi arus netral turun menjadi 0,003 kW dengan besarnya daya yang hilang sebesar 45793,79 kW. Sedangkan pengaruhnya terhadap keandalan diketahui bahwa ketidakseimbangan beban memberikan pengaruh terhadap besarnya rugi arus netral berdasarkan perhitungan nilai koefisien korelasi yang didapatkan bernilai 0,24543558 meskipun termasuk dalam kategori rendah. Dari hasil kajian tersebut bahwa ketidakseimbangan beban dengan menggunakan metode pecah beban dapat menurunkan nilai arus netral dan besarnya daya yang hilang, yang berimplikasi rugi arus netralnya menjadi lebih rendah.

**Kata Kunci:** Ketidakseimbangan beban, transformator, rugi arus, daya hilang.

**Abstract** – Imbalance is a condition created by variances in one or more of the phases in the transformer, which happens because the magnitude of the load on each phase is different. This causes current to flow in the neutral conductor, resulting in neutral current losses, as well as power losses and economic losses. The magnitude of the load value on each phase varies when the XY distribution substation load is recorded, resulting in a neutral current loss of 2.03 kW and a power loss of 240844.2367 kW. To accomplish this, the load must be equalized by shifting the burden from the high phase to the phase with a lower load, a process known as load breaking. The magnitude of the neutral current loss was reduced to 0.003 kW, resulting in a power loss of 45793.79 kW. While it is known that load imbalance influences the amount of the neutral current loss, based on the calculation of the correlation coefficient value obtained is 0.24543558, despite being in the low category. From the results of the study, the load imbalance using the load rupture method can reduce the value of the neutral current and the amount of power lost, which has implications for lower neutral current losses.

**Keywords:** Load imbalance, transformer, current loss, power loss.

### 1. Pendahuluan

Dalam hal penyaluran listrik kepada konsumen, Indonesia menggunakan sistem tegangan tiga fasa dan arus bolak-balik (AC). Sistem tegangan tiga fasa merupakan sebuah sistem yang

terdiri dari 3 kabel fasa R, S, dan T serta 1 kabel netral, yang mana tegangan pada ketiga fasa tersebut akan bernilai sama apabila beban yang disalurkan dalam keadaan seimbang tersebut [1].

Ketidakseimbangan ialah sesuatu keadaan yang terjadi dikarenakan apabila salah satu ataupun seluruh fasa pada transformator berbeda. Perbedaan ini dapat dilihat dari besarnya vektor arus ataupun tegangan serta sudut dari tiap-tiap fasa [2]. Suatu beban dapat dikatakan seimbang apabila ketiga vektor arus atau tegangan sama besar dan saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain [3]. Pada saat dilakukan pencatatan data beban pada gardu distribusi di wilayah Cilegon, terdeteksi adanya ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi XY, yang mana dapat menyebabkan besarnya nilai beban pada fasa netral menjadi besar. Apabila ketidakseimbangan beban dibiarkan begitu saja tanpa adanya tindakan perbaikan, maka dapat menyebabkan transformator mengalami kondisi *overload*. Ketika transformator sudah mengalami kondisi *overload*, maka dapat menyebabkan transformator menjadi cepat panas dan bahkan dapat menyebabkan transformator tersebut meledak.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan penyeimbangan beban [4]. Penyeimbangan beban merupakan suatu upaya untuk mengoptimalkan gardu distribusi sehingga arus yang mengalir dapat sepenuhnya terserap oleh pelanggan [5][6]. Metode yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut yaitu dengan metode pecah beban, yaitu dengan memindahkan fasa yang memiliki beban berlebih ke fasa yang memiliki beban yang lebih rendah. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui pengaruh dari ketidakseimbangan beban terhadap nilai rugi-rugi pada arus netral sebelum dan sesudah dilakukan pemerataan beban, serta mengetahui pengaruh beban yang tidak seimbang terhadap kerugian berupa daya yang hilang dan kerugian materi yang ditanggung oleh PLN.

Sistem tenaga listrik atau biasa disingkat dengan STL merupakan gabungan dari pusat-pusat listrik yang saling terhubung satu dengan yang lainnya, yang terdiri dari sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi yang akan menyalurkan tenaga listrik menuju konsumen [4][7]. Pembangkit merupakan suatu peralatan atau mesin yang berfungsi untuk mengubah suatu energi menjadi tenaga listrik, seperti energi air, energi angin, energi uap, dan lainnya. Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit merupakan tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi. Agar energi yang dihasilkan dari pembangkit dapat disalurkan hingga konsumen, sehingga terdapat jaringan transmisi [8]. Jaringan transmisi sendiri bekerja dengan menyalurkan tenaga listrik yang dihasilkan dari pembangkit menggunakan saluran udara atau saluran bawah tanah, yang mana tegangan tinggi yang berasal dari pembangkit diturunkan tegangannya menggunakan trafo *step down* sehingga tegangan yang dihasilkan merupakan tegangan menengah [9]. Setelah melalui jaringan transmisi, tenaga listrik diteruskan menuju jaringan distribusi agar dapat disalurkan kepada konsumen. Tegangan yang dihasilkan sudah menjadi tegangan pakai atau tegangan rendah sebesar 20 kV [10][11].

Jaringan distribusi merupakan jaringan yang menghubungkan sumber daya listrik besar (gardu induk) kepada konsumen dengan bantuan saluran udara ataupun saluran bawah tanah. Berdasarkan tegangannya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam [12][13] yaitu:

a) Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer ialah sebuah jaringan distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi, dengan tegangan menengah yang sudah diatur berdasarkan SPLN 1: 1995 [4].

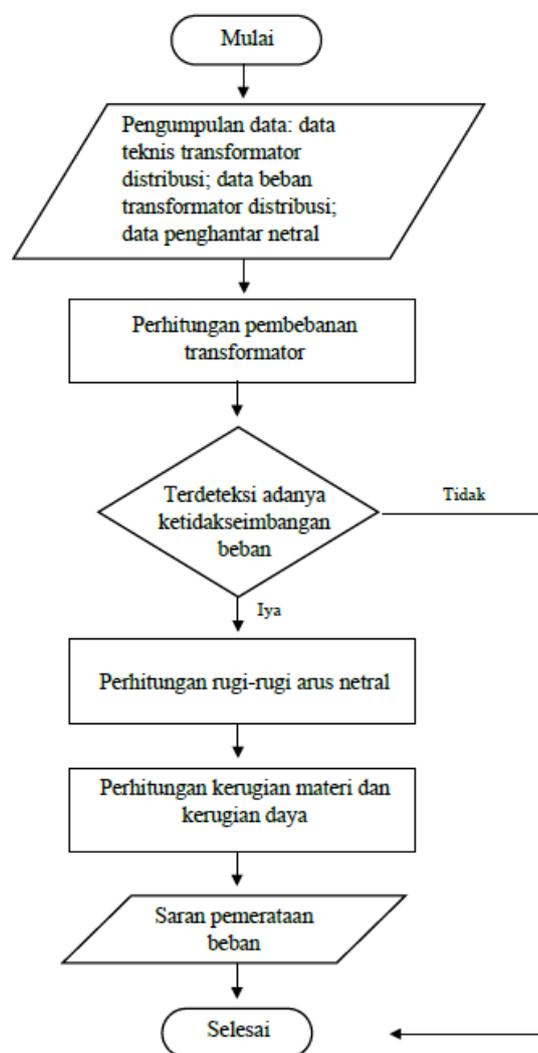
b) Jaringan distribusi sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan sebuah jaringan distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi menuju konsumen, dengan tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V [1][13].

Dalam sistem penyaluran, jaringan distribusi dapat disalurkan menggunakan saluran udara ataupun saluran bawah tanah. Saluran udara atau *overhead line* ialah suatu sistem penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan kawat penghantar yang ditopang oleh tiang listrik. Sedangkan saluran bawah tanah atau *underground line*, merupakan suatu sistem penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan kabel tanah yang dipasang di dalam tanah.

## 2. Metode Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data diantaranya; data teknik transformator distribusi, data beban transformator distribusi, serta data penghantar netral. Metode pengumpulan data ini dapat dilakukan dengan cara melakukan wawancara dengan pihak yang dianggap menguasai informasi yang berhubungan dengan topik ini. Selain itu dapat melakukan obeservasi

dengan pengambilan data dalam bentuk *hardcopy* ataupun *softcopy* secara langsung. Sedangkan dalam metode analisis data, penulis menggunakan metode regresi linear berganda untuk melihat bagaimana pengaruh dari variabel bebas X terhadap variabel terikat  $Y_1$  dan  $Y_2$ , yang mana dalam hal ini variabel X yaitu ketidakseimbangan beban, variabel  $Y_1$  yaitu rugi arus netral, dan  $Y_2$  yaitu keandalan.

### 3.1 Rugi pada Arus Netral

Adanya ketidakseimbangan beban antar fasa satu dengan yang lainnya dapat menyebabkan terjadinya rugi pada arus netral. Apabila tidak segera ditangani akan mengakibatkan kerugian secara finansial ataupun secara produksi listrik itu sendiri. Untuk menghitung besarnya rugi pada arus netral sebelum dan sesudah dilakukan pemerataan beban dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_N = I_N^2 R_N \quad (1)$$

### 3.2 Pemerataan Beban

Ketika mengetahui besarnya nilai arus pada tiap-tiap fasa dalam keadaan tidak seimbang, maka perlu dilakukan pemerataan beban dengan memindahkan beban pada fasa yang berlebih ke fasa dengan beban yang lebih rendah. Adapun tahapan perhitungan yang dilakukan yaitu:

1. Menghitung besarnya faktor beban dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Faktor Beban} = \frac{\text{total daya terpakai}}{\text{total daya terpasang}} \quad (2)$$

2. Menghitung besarnya nilai arus rata-rata tiap jurusan, dengan menggunakan persamaan:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (3)$$

3. Menghitung selisih nilai arus rata-rata tiap jurusan dengan nilai arus tiap fasa
4. Menghitung penyeimbangan fasa dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Fasa} = \frac{I}{\text{FB}} \times V \quad (4)$$

5. Menghitung beban setelah dilakukan penyeimbangan dengan persamaan:

$$I_{\text{setelah}} = \frac{\text{penyeimbangan fasa}}{V} + I_{\text{sebelum}} \quad (5)$$

### 3.3 Ketidakseimbangan Beban setelah Pemerataan Beban

Setelah diketahui besarnya nilai arus pada tiap fasa setelah dilakukan pemerataan beban, maka diharapkan dapat mengurangi nilai persentase ketidakseimbangan beban. Untuk melihat berapa besarnya nilai persentase ketidakseimbangan beban setelah dilakukan pemerataan beban, dapat dihitung dengan tahapan berikut:

1. Menghitung besarnya masing-masing nilai koefisien dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Koefisien} = \frac{I_{\text{sesudah pemerataan beban}}}{I_{\text{rata-rata}}} \quad (6)$$

2. Menghitung besarnya persentase ketidakseimbangan beban dengan menggunakan persamaan:

$$\% = \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\% \quad (7)$$

### 3.4 Keandalan Sistem Distribusi Listrik

Keandalan sistem distribusi listrik bukan hanya dilihat dari tingginya nilai dari indeks keandalannya. Keandalan sistem dapat dilihat juga dari besarnya daya yang hilang akibat dari timbulnya rugi pada arus netral dan besarnya kerugian berupa finansial yang ditanggung oleh PLN. Untuk dapat menghitung besarnya daya yang hilang dapat menggunakan persamaan:

$$WN = PN \times t \quad (8)$$

Setelah dihitung besarnya daya yang hilang, selanjutnya besarnya rugi energi yang didapatkan dapat dikonversikan ke rupiah dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kerugian PLN} = Wn \times \text{harga/kWh} \quad (9)$$

### 3.5 Koefisien Korelasi

Untuk melihat bagaimana pengaruh dari variabel bebas X terhadap variabel terikat  $Y_1$  dan  $Y_2$  dengan menggunakan statistika, dapat dilakukan dengan menghitung besarnya nilai koefisien korelasi. Koefisien korelasi merupakan akar dari rasio antara jumlah kuadrat antara variabel X dengan variabel Y. Untuk menghitung besarnya nilai koefisien korelasi dapat menggunakan persamaan:

$$r = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{[(n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2) \times (n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)]}} \quad (10)$$

Setelah mengetahui besarnya nilai koefisien korelasi, dapat dilihat korelasi antara variabel X terhadap variabel Y pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori korelasi.

Kategori Korelasi	
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Dengan menggunakan Tabel 1, dapat diketahui bagaimana hubungan variabel X terhadap variabel Y. Hal tersebut dapat dilihat sejauh mana korelasi serta bagaimana pengaruhnya antar variabel, dari variabel X terhadap variabel Y.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Data penelitian ini merupakan data pembebanan pada Gardu Distribusi yang terdapat pada Penyulang Busi dari tahun kuran waktu 3 tahun Pencatatan beban pada gardu distribusi di wilayah Cilegon sendiri dilakukan sebanyak 3 kali dalam setahun atau per-empat bulan. Pencatatan beban ini dilakukan pada saat beban puncak siang (10:00 – 11:00) dan beban puncak malam (17:00 – 22:00). Data pembebanan pada gardu distribusi sebelum dilakukan pemerataan beban disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data pembebanan.

No	Jurusan	Beban Terpasang (A)				Ketidakseimbangan (%)
		R	S	T	N	
1	A	70	132	82	70	46,97
	B	254	182	172	70	32,28
	C	57	93	64	21	38,71
	D	63	67	30	28	55,22
2	A	74	92	89	34	19,57
	B	78	71	51	29	34,62
	C	56	124	106	71	54,84
	D	222	219	150	86	32,43
3	A	50	56	63	71	20,63
	B	79	89	45	42	49,44
	C	57	127	125	81	55,13
	D	243	288	162	84	43,75
4	A	75	103	62	48	39,81
	B	78	65	61	60	21,79
	C	47	144	142	85	67,36
	D	120	219	128	87	45,21
5	A	41	109	58	53	62,39
	B	77	67	43	32	44,16
	C	73	133	96	58	45,11
	D	125	205	142	63	39,02
6	A	46	91	53	55	49,45
	B	96	72	34	0	64,58
	C	93	157	134	67	40,76
	D	148	202	163	56	26,73
7	A	34	61	29	32	52,46
	B	62	76	68	19	18,42
	C	87	117	121	41	28,1
	D	120	155	108	40	30,32
8	A	50	94	67	38	46,81
	B	72	114	51	39	55,26
	C	96	156	132	45	38,46
	D	145	182	163	52	20,33
9	A	27	32,9	35,2	11,4	10
	B	146,5	67	57	19,3	41,6
	C		110,5	104,8	25,6	67
	D	114	107,2	118	24,6	3,6

Berdasarkan *health index* transformator pada Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014, besarnya nilai ketidakseimbangan arus antar fasa yang baik adalah <10% dengan nilai maksimal 20%. Dapat dilihat pada Tabel 2 data pembebanan gardu distribusi MJL sebelum dilakukan pemerataan beban, besarnya nilai ketidakseimbangan arus antar fasa sudah melebihi dari standar dan bahkan sudah dalam kondisi buruk secara keseluruhan sesuai ketentuan pada Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 0017.E/Dir/2004 sebesar <10% dan maksimal 20%, dimana kondisi awal hanya terdapat 3 jurusan memiliki ketidakseimbangan arus antar fasa netral dibawah standar. Hal ini dapat dilihat dari besarnya nilai beban pada masing-masing fasanya berbeda. Selain itu, juga dapat dilihat selisih nilai beban antara salah satu fasa dengan fasa lainnya sangat besar. Ketidakseimbangan beban dapat menyebabkan adanya arus yang mengalir pada penghantar netral, yang mana hal ini dapat menyebabkan timbulnya rugi arus netral. Untuk menghitung besarnya rugi arus netral sebelum dan sesudah dilakukan pemerataan beban, dapat menggunakan persamaan 1.

- Sebelum pemerataan beban:

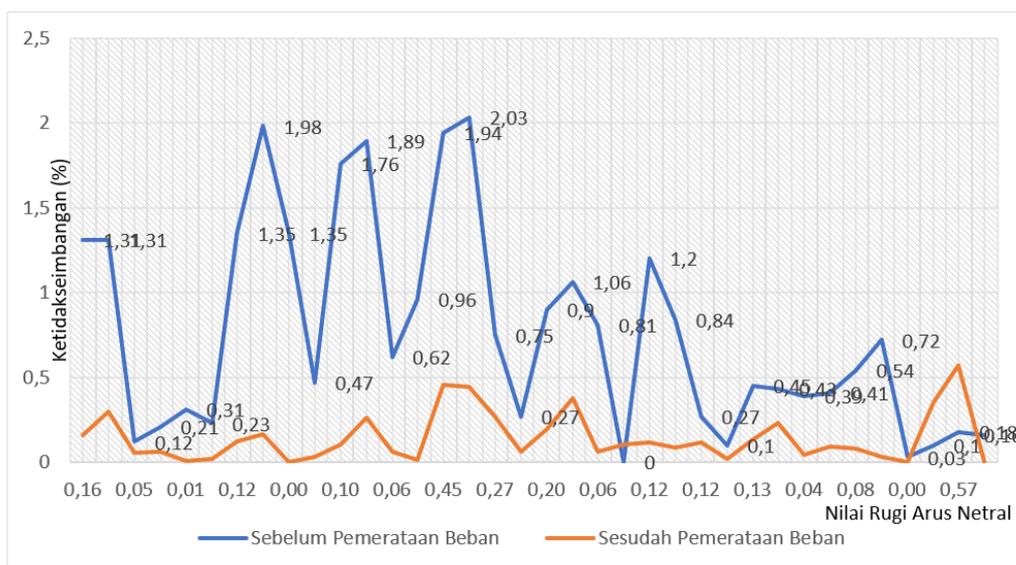
$$P_N = I_N^2 R_N \\ = 71^2 \text{ A} \times 0,268 \ \Omega$$

$$= 1350,99 \text{ Watt} = 1,35099 \text{ kW}$$

- Sesudah pemerataan beban:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 R_N \\ &= 2,21359^2 \text{ A} \times 0,268 \text{ } \Omega \\ &= 1,3132 \text{ Watt} = 0,00131 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka didapatkan nilai rugi arus netral sebelum dan sesudah pemerataan beban yang disajikan pada gambar 2 dalam bentuk grafik.



Gambar 2. Grafik rugi arus netral sebelum dan sesudah pemerataan beban.

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat ketika beban pada tiap fasa dalam keadaan tidak seimbang menyebabkan adanya arus yang mengalir pada fasa netral dan terjadi rugi arus netral. Sebelum dilakukan pemerataan beban, besarnya nilai rugi arus netral mencapai 2,0285 kW. Proses pemerataan beban pada transformator merupakan langkah-langkah untuk memastikan bahwa beban listrik terdistribusi secara merata di antara dua atau lebih transformator yang terhubung secara paralel dalam suatu sistem tenaga listrik. Pemerataan beban ini penting untuk mencegah *overload* pada satu transformator sementara yang lainnya tidak dimanfaatkan secara optimal. Adapun langkah-langkah dalam proses pemerataan beban pada transformator diantaranya identifikasi beban, menghitung kapasitas beban total dan menentukan besarnya nilai arus netral. Setelah dilakukan pemerataan beban diperoleh, besarnya nilai arus netral hampir mendekati 0, yang berarti nilai ketidakseimbangannya sudah menjadi lebih baik, serta menandakan memenuhi ketentuan Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 0017.E/Dir/2004 sebesar <10% dan maksimal 20%.

### 3.1 Keandalan Sistem Distribusi Listrik

Keandalan sistem distribusi listrik bukan hanya dilihat dari tingginya nilai dari indeks keandalannya. Keandalan sistem dapat dilihat juga dari besarnya daya yang hilang akibat dari timbulnya rugi pada arus netral dan besarnya kerugian berupa finansial yang ditanggung oleh PLN. Untuk menghitung besarnya daya yang hilang sebelum dan sesudah dilakukan pemerataan beban, dapat menggunakan persamaan 8.

- Sebelum pemerataan beban:

$$W_N = P_{Nt}$$

$$= 2,9547 \text{ kW} \times 8766 \text{ jam}$$

$$= 25900,9 \text{ kW}$$

- Sesudah pemerataan beban:

$$W_N = P_{Nt}$$

$$= 0,5699 \text{ kW} \times 8766 \text{ jam}$$

$$= 4995,929 \text{ kW}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka didapatkan nilai besarnya daya yang hilang yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Besar daya yang hilang dari tahun.

No	Tahun	Daya yang hilang (kW)	
		Sebelum Pemerataan Beban	Sesudah Pemerataan Beban
1	2017	25900,9	4995,929
2	2019	81886,8	6273,604
3	2020	99877,6	19783,32
4	2021	29037,2	6555,007
5	2022	4141,72	8186,13

Berdasarkan Tabel 3, terlihat setelah dilakukan pemerataan beban, besarnya daya yang hilang selama kurun waktu 5 tahun mengalami penurunan. Sebelum dilakukan pemerataan beban, besarnya daya yang hilang mencapai 240844,2 kW. Setelah dilakukan pemerataan beban, besarnya daya yang hilang mengalami penurunan mencapai 45793,79 kW.

### 3.2 Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Rugi Arus Netral dan Keandalan

Untuk melihat bagaimana pengaruh dari ketidakseimbangan beban terhadap rugi arus netral dan keandalan, maka dapat dianalisa menggunakan regresi linear berganda dengan persamaan:

$$X = Y_1 + Y_2 + \theta$$

Untuk melihat bagaimana korelasi antara variabel X terhadap variabel Y, maka dapat dilakukan perhitungan besarnya nilai koefisien korelasi dengan persamaan 10. Yang mana variabel X merupakan ketidakseimbangan beban, variabel  $Y_1$  merupakan rugi arus netral, dan variabel  $Y_2$  merupakan keandalan.

$$r = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{[(n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2) \times (n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)]}}$$

$$r = \frac{3362616998 - 3181910954}{\sqrt{(658265472 - 2080258,136) \times (2396218,936 - 4866971623)}}$$

$$r = \frac{180706044}{1309840,92 \times 562,103905}$$

$$r = 0,24543558$$

Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang didapatkan, maka dapat dilihat korelasi nya pada tabel 1 yang mana 0,24543558 termasuk dalam kategori rendah.

Untuk melihat bagaimana hubungan antara variabel X terhadap variabel  $Y_1$  dan  $Y_2$ , maka dapat dilihat dari hasil uji T yang didapatkan melalui perhitungan menggunakan microsoft excel. Hasil uji T disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji T.

	Koefisien	T	T Signifikansi
Intercept	33,19185	6,254986	0,000000000456
$Y_1$	1,631882	0,329486	0,74387
$Y_2$	0,000918	1,104185	0,27749

Berdasarkan Tabel 4, didapatkan persamaan regresi:

$$X = 1,631882 Y_1 + 0,000918 Y_2 + 33,19185$$

Dari persamaan regresi yang didapatkan, variabel X (ketidakseimbangan beban) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel  $Y_1$  (rugi arus netral) dan  $Y_2$  (keandalan). Hal ini sesuai dengan hasil yang didapatkan pada persamaan regresi, yang mana sebelum dilakukan pemerataan beban, besarnya persentase ketidakseimbangan sangat tinggi yang mana mengakibatkan besarnya nilai rugi arus netral juga naik yaitu sebesar 2,03 kW. Setelah dilakukan pemerataan beban, besarnya persentase ketidakseimbangan beban mengalami penurunan, sehingga besarnya nilai rugi arus netral pun juga ikut turun, bahkan mendekati nilai 0. Hasil persamaan regresi yang telah diperoleh semakin besar nilai pada variabel  $Y_1$  dan  $Y_2$  maka nilai pada variabel X juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan hubungan antara keduanya adalah berbanding lurus.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan dari kajian yang telah dilakukan, ketidakseimbangan beban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya rugi arus netral dan keandalan berupa daya yang hilang serta kerugian finansial yang diterima oleh PLN. Besarnya persentase ketidakseimbangan sangat tinggi yang mengakibatkan besarnya nilai rugi arus netral juga naik yaitu sebesar 2,03 kW. Setelah dilakukan pemerataan beban, besarnya persentase ketidakseimbangan beban mengalami penurunan, sehingga besarnya nilai rugi arus netral pun juga ikut turun, bahkan mendekati nilai 0. Hal ini dibuktikan dengan persamaan regresi yang didapatkan, yang mana hubungan antara ketidakseimbangan beban terhadap rugi arus netral dan keandalan adalah berbanding lurus. Semakin besar nilai persentase dari ketidakseimbangan beban, maka besarnya rugi arus netral dan keandalan juga akan semakin besar, dan begitupun sebaliknya

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah mengijikan pengambilan data, seluruh tim peneliti yang telah mengerjakan kegiatan penelitian ini serta memberi dukungan terhadap penelitian ini sehingga bisa dapat dipublikasi dalam bentuk jurnal.

#### Referensi

- [1] H. Tanamal, A. Herawati, N. Darath dan I. N. Anggraini, "Analisis Pengaruh Beban Tak Seimbang terhadap Arus Netral pada Trafo IV GI Sukamerindu Bengkulu," *Jurnal Amplifier*, Vol. 9, No. 2, p. 7-13, November 2019.
- [2] G. A. K. Sari, "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Studi Kasus pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora," *Skripsi, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2018.

- [3] M. D. T. Sogen, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi di PT PLN (Persero) Area Sorong," *Jurnal Electro Luceat*, vol. 4, no. 1, 13 Jul. 2018, pp. 5-14, doi:10.32531/jelekn.v4i1.80., 2018.
- [4] S. Hidayat, S. Legino and N. F. Mulyanti, "Penyeimbangan Beban pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi CD 33 Penyulang Sawah di PT PLN (Persero) Area Bintaro," *Jurnal Suted* Vol. 8 No. 1, p. 21-27, 2018.
- [5] M. Ir. Wahyudi Sarimun N., Buku Saku Pelayanan Teknik, 2014.
- [6] 017.E/DIR/2014, E. D. "Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset", 2014.
- [7] Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., & Beaty, H. W., "Electrical Power System Quality", McGraw-Hill, 2002.
- [8] Khairunnisa Salsabila Irwan, R.B. Budi Kartika W, and Riyanto Saputro, "Analisis Pembebanan Transformator Tenaga pada Gardu Listrik di Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia", *Jurnal Ilmiah Aviassi*, vol. 13, no. 01, pp. 29-40, Jul. 2020.
- [9] Sarwono, P., Sofyan, Nadya, N. R., "Penyeimbangan Beban pada Trafo Distribusi Penyulang Akkarena di Unit Layanan Pelanggan Mattoanging PT PLN (Persero)", *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, p. 37-46, 2020.
- [10] Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & M. Budiantara. "Dasar-Dasar Statistik Penelitian", Yogyakarta: Gramasurya, 2017.
- [11] SPLN 41-1. PT.PLN (Persero) "Persyaratan Penghantar Tembaga dan Aluminium untuk Kabel Listrik Berisolasi", 1991.
- [12] Islam, M. R., Lu, H., Hossain, M. J., & Li, L. (2019, December). Reducing neutral current of a higher EV penetrated unbalanced distribution grid. In 2019 9th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES) (pp. 1-5). IEEE.
- [13] Lee, Y. D., Jiang, J. L., Ho, Y. H., Lin, W. C., Chih, H. C., & Huang, W. T. "Neutral current reduction in three-phase four-wire distribution feeders by optimal phase arrangement based on a full-scale net load model derived from the ftu data," *Energies*, 13(7), 1844. <https://doi.org/10.3390/en13071844>.