

# ANALISIS PENYEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DI FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS SILIWANGI

Asep Tri Mulyana Nugraha<sup>1</sup>, Sutisna<sup>2</sup>, Asep Andang<sup>3</sup>, Muhammad Aris Risnandar<sup>4</sup>  
 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia<sup>1,2,3,4</sup>  
 Email: [157002093@student.unsil.ac.id](mailto:157002093@student.unsil.ac.id)<sup>1</sup>

## Abstract

*Load balancing on the transformer is very important to maintain the quality of the distribution of electric power, in balancing the load on the transformer it is done by moving the load from a higher phase to a lower phase in order to produce a balanced load for each phase. The percentage of load imbalance according to the IEC 61000-4-30 standard is 5%, data from field measurements of imbalance in transformers at Siliwangi University is 7% where the neutral current produced is 14,392 amperes with power losses of 39.974 watts. After balancing the load using the load-balanced load method all day, the load imbalance on the transformer at Siliwangi University became better at 4% where the neutral current produced was 8.04 amperes with power losses of 12.51 watts.*

**Keywords :** Neutral current, Load balancing, Power losses.

## Abstrak

Penyeimbangan beban pada transformator merupakan sangat penting untuk menjaga kualitas dari pendistribusian tenaga listrik, dalam penyeimbangan beban pada transformator dilakukan dengan cara memindahkan beban pada fasa yang lebih tinggi ke fasa yang lebih rendah agar menghasilkan beban tiap fasa yang seimbang. Persentase dari ketidakseimbangan beban menurut standar iec 61000-4-30 sebesar 5%, data dari pengukuran dilapangan ketidakseimbangan pada transformator di universitas siliwangi sebesar 7 % dimana arus netral yang dihasilkan sebesar 14,392 ampere dengan rugi – rugi daya sebesar 39,974 watt . Setelah dilakukan penyeimbangan beban menggunakan metode beban seimbang beban sehari-hari ketidakseimbangan beban pada transformator di universitas siliwangi menjadi lebih baik yaitu sebesar 4% dimana arus netral yang dihasilkan sebesar 8,04 ampere dengan rugi – rugi daya sebesar 12,51 watt.

**Kata Kunci:** Arus netral, Penyeimbangan beban, Rugi – rugi daya.

## I. PENDAHULUAN

Dalam penyaluran sistem tenaga listrik untuk melayani konsumen terdiri dari tiga komponen utama yaitu pembangkit, transmisi dan distribusi. Dimana dari ketiga komponen utama dalam penyalurannya dibutuhkan komponen yang sangat penting yaitu transformator.[1]

Transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (*step up*) atau menurunkan tegangan (*step down*), untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke transmisi menggunakan transformator *step up* sedangkan untuk menyalurkan energi listrik dari transmisi ke distribusi menggunakan transformator *step down*. [2]

Dalam Penyaluran sistem tenaga listrik transformator tidak lepas dari berbagai masalah, salah satunya ialah ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan beban untuk penyaluran pada konsumen terjadi diakibatkan pembagian beban yang tidak merata. Gedung fakultas pertanian universitas siliwangi merupakan bangunan yang terdiri dari empat lantai, pada lantai pertama dipergunakan sebagai sarana untuk administrasi, ruang kelas, musola selanjutnya pada lantai kedua merupakan kelas untuk sarana belajar mengajar, kemudian dilantai ketiga terdapat ruang jurusan yang diperuntukan untuk dosen dan yang terakhir yaitu lantai keempat terdapat ruang dekan, wakil dekan, dan ruang sidang. Dimana gedung fakultas pertanian universitas siliwangi bertempat di jl. tamansari, mugarsari, tasikmalaya.

Permasalahan dari transformator yang membebani gedung fakultas pertanian universitas siliwangi merupakan beban yang tidak seimbang yang mengakibatkan munculnya arus pada kawat netral transformator. Dimana arus netral yang mengalir menyebabkan terjadinya rugi – rugi daya pada transformator, serta belum adanya analisis penyeimbangan

beban pada transformator di gedung fakultas pertanian universitas siliwangi.

Berdasarkan uraian yang telah di paparkan , penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar rugi – rugi daya yang ditimbulkan akibat adanya arus netral, dan cara menyeimbangkan beban pada transformator. Serta perlu adanya analisis penyeimbangan beban pada transformator sesuai dengan standar IEC 61000-4-30.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Sistem Distribusi

Sistem distribusi mempunyai peran yang sangat penting dalam penyaluran sistem tenaga listrik, dimana sistem distribusi berguna agar dapat menyalurkan energi listrik dari pembangkit yang merupakan awal sumber energi listrik ke konsumen. Sistem distribusi berfungsi dalam penyaluran energi listrik ialah [3]:

- Menyalurkan dan membagi energy listrik sampai ke konsumen di beberapa tempat.
- Sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang terhubung langsung ke konsumen dimana beban listrik konsumen dilayani langsung oleh jaringan distribusi.

### B. Transformator

Transformator adalah alat yang memiliki kumparan primer dan kumparan skunder yang berfungsi mengubah dan memindahkan energy listrik dalam sebuah rangkaian listrik dengan menggunakan prinsip elektromagnetik.[4]

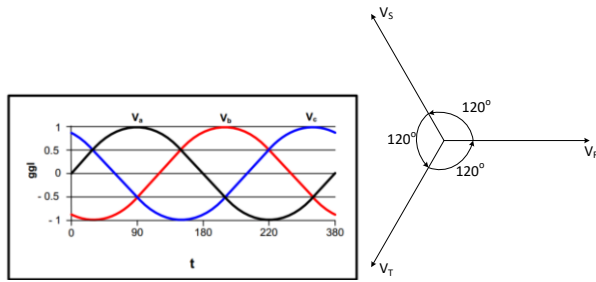
#### 1) Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri dari dua bauh kumparan yaitu primer dan skunder. Apabila kumpran primer dialiri arus bolak balik mengakibatkan munculnya fluks pada

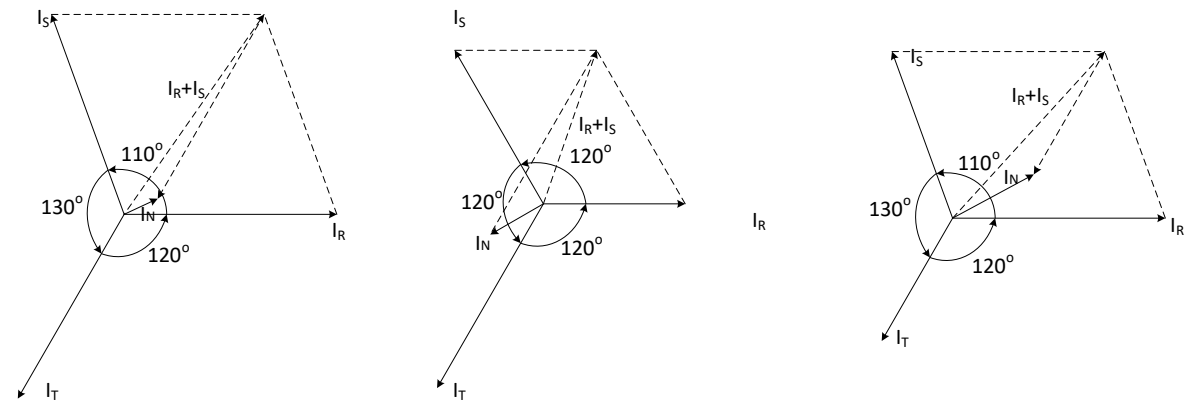
kumparan primer, dimana fluks pada kumparan primer menginduksi menyebabkan timbulnya fluks pada kumparan sekunder. Maka mengalir arus pada kumparan sekunder jika rangkaian dibebani, sehingga energy listrik dapat ditransfer keseluruhan secara magnetisasi.[5]

**C. Sistem Tiga fasa**

Kebanyakan sistem listrik yang di pergunakan merupakan sistem tiga fasa. Dimana hal tersebut didasarkan pada alasan ekonomi dan kestabilan aliran daya pada beban. Pada system tiga fasa idealnya daya yang disalurkan seimbang. Dimana bentuk gelombang dari sistem tiga fasa yang merupakan fungsi waktu ditunjukkan pada gambar berikut.



Gbr 1. Tegangan Ideal pada Sistem Tiga Fasa



Gbr 2. Ketidakseimbangan Arus Beban. Kiri: Vektor Sama Besar Tetapi Sudut Tidak Berbeda 120°; Tengah: Vektor Tidak Sama Besar Tetapi Sudut Berbeda 120°; Kanan: Vektor Tidak Sama Besar dan Sudut Tidak Berbeda 120°

Untuk menentukan besarnya ketidakseimbangan beban pada tiap fasa, dapat digunakan perumusan sebagai berikut:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \tag{1}$$

dimana :

$I_{rata-rata}$  : arus rata-rata (A)  
 $I_R, I_S, I_T$  : arus fasa R, S, dan T (A)

Untuk lebih memperjelas ketidakseimbangan beban, maka digunakan koefisien *a*, *b*, dan *c* pada setiap arus fasa R, S, dan T yaitu:

$$\begin{aligned} I_R &= a \times I_{rata-rata} \rightarrow a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \\ I_S &= b \times I_{rata-rata} \rightarrow b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \\ I_T &= c \times I_{rata-rata} \rightarrow c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \end{aligned} \tag{2}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien *a*, *b* dan *c* adalah 1. Dengan demikian, untuk menentukan prosentase

Pada gambar 1 menunjukkan perbedaan sudut fase antar tegangan sebesar 120°, dimana pada umumnya sudut fase 0° ialah pada fasa R, sudut fase 120° ialah fasa S dan sudut fase 240° ialah fasa T. Pada system tiga fasa dibagi menjadi dua yaitu terhubung delta dan wye, dimana sistem tiga fasa terhubung delta memiliki 3 kawat penghantar yaitu fasa R, fasa S dan fasa T sedangkan system tiga fasa terhubung wye memiliki 4 kawat penghantar yaitu fasa R, fasa S, fasa T dan netral.[6]

**D. Ketidakseimbangan Beban**

Ketidakseimbangan beban adalah suatu keadaan dimana satu atau dua syarat dari beban seimbang tidak terpenuhi. Ada tiga kemungkinan keadaan beban tidak seimbang, yaitu[7]:

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

ketidakseimbangan beban rata-rata dapat digunakan perumusan sebagai berikut:

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

**1) Standar Ketidakseimbangan Beban**

Menurut Standar IEC 61000-4-30 ketidakseimbangan beban tidak boleh melebihi 5 %.[8]

Tbl 1. Standar IEC 61000-4-30	
Parameter	Rentang Pengukuran
Power Frequency	50Hz: 42.5 to 57.5 Hz
	60 Hz: 51 to 69 Hz
Magnitude of Supply Voltage	10 to 150% of $U_{din}$
Voltage Harmonics	Up to 50th order 10% to 200% of IEC 61000-2-4
Current Harmonics	Up to 50th order
Current Unbalance	5 %

## 2) Akibat Ketidakseimbangan Beban

Beban yang tidak seimbang antara fasa R, fasa S, fasa T menyebabkan munculnya arus netral yang kemudian menambah rugi-rugi daya listrik akibat arus pada penghantar netral tersebut. Untuk menentukan arus netral menggunakan persamaan sebagai berikut.[4]

$$\bar{I}_N = I_R \angle \theta + I_S \angle (\theta - 120^\circ) + I_T \angle (\theta + 120^\circ) \quad (4)$$

dan

$$I_N = |\bar{I}_N| \quad (5)$$

dimana:

$I_N$  : arus netral (A)

$I_R, I_S, I_T$  : magnitud arus fasa R, S, dan T (A)

$\theta$  : sudut fasa (derajat)

## E. Rugi – rugi daya akibat arus netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder transformator (fasa R, fasa S dan fasa T) mengalir arus di netral transformator. Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi. Dan rugi-rugi pada penghantar netral dapat dirumuskan sebagai berikut.[5]

$$P_N = I_N^2 R_N \quad (6)$$

dimana :

$P_N$  : rugi-rugi daya aktif pada penghantar netral (W)

$I_N$  : arus netral (A)

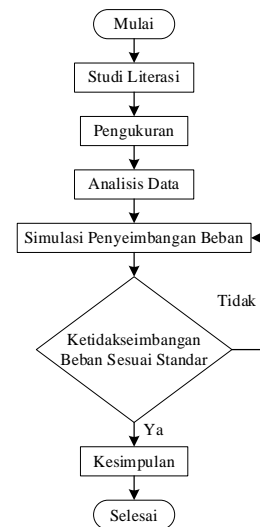
$R_N$  : tahanan penghantar netral ( $\Omega$ )

## III. METODE

### A. Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini menitikberatkan pada simulasi penyeimbangan beban di Gedung Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi, dimana pada saat sebelum dilakukan penyeimbangan beban, ketidakseimbangan arus di gedung ini tidak sesuai standar yaitu sebesar 7%. Adapun

pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini dilaksanakan selama 7 hari.



Gbr 3. Diagram Alur Penelitian

### B. Data Pengukuran

Data yang diperlukan untuk penyeimbangan beban pada transformator dengan menggunakan metode beban seimbang beban seharian yaitu berupa data pengukuran dari sisi sekunder transformator. Dalam pengukuran data beban sisi sekunder transformator menggunakan alat *power quality* kyoritsu KEW6135, alat ini dapat merekam data pengukuran beban secara terus menerus. Pengukuran dilakukan setiap jam selama 7 hari pengukuran.

#### 1) Pengukuran Arus Beban

Arus beban diukur setiap jam selama 7 hari, adapun dalam pengukuran arus beban diperoleh ketidakseimbangan beban yang cukup signifikan (Tbl 2 dan Tbl 3). Pengukuran ini dilakukan di *incoming* PLN sisi tegangan rendah.

Tbl 2. Pengukuran Arus Beban Hari ke-1 s.d. Hari ke-4

Waktu	Arus Beban Hari ke-1 (A)			Arus Beban Hari ke-2 (A)			Arus Beban Hari ke-3 (A)			Arus Beban Hari ke-4 (A)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
12:00	41.40	47.53	41.66	18.77	37.75	25.21	27.96	40.61	25.00	15.03	12.03	12.08
13:00	60.45	60.78	67.67	18.20	14.26	16.33	21.31	36.35	26.45	18.88	12.08	12.08
14:00	49.50	50.70	60.24	51.10	49.60	53.08	13.74	15.35	19.86	17.99	12.03	12.08
15:00	34.81	36.25	44.57	39.95	35.78	25.26	18.56	13.48	16.33	11.25	12.86	12.70
16:00	56.14	57.45	59.93	51.47	49.71	52.41	13.63	15.93	17.94	13.17	14.31	13.32
17:00	44.72	43.58	47.37	21.68	37.39	16.13	16.80	15.87	16.75	20.17	21.75	21.89
18:00	26.09	28.50	28.32	52.61	52.46	53.50	14.05	16.71	18.77	19.71	15.93	13.53
19:00	20.22	25.64	28.69	22.46	27.78	27.54	17.21	18.06	18.56	53.65	51.06	53.18
20:00	19.71	22.47	20.74	14.36	24.86	19.34	13.27	18.00	18.56	18.98	16.81	15.45
21:00	53.65	52.20	56.14	20.64	27.88	27.49	49.70	48.15	50.54	17.06	16.86	15.50
22:00	38.96	24.76	28.43	20.22	26.68	27.44	53.08	51.37	55.05	13.74	16.81	15.40
23:00	18.20	21.49	20.48	21.00	26.58	27.34	21.00	24.81	23.75	14.78	16.65	15.35
00:00	40.26	32.14	36.94	20.33	26.58	27.39	36.94	24.55	23.60	16.59	16.55	15.29
01:00	22.04	15.82	19.97	21.05	26.42	27.18	53.86	51.74	53.39	16.80	16.45	15.19
02:00	40.83	33.23	35.59	24.84	25.18	27.08	23.60	16.29	15.09	30.50	23.72	23.24
03:00	21.47	22.89	27.60	22.56	18.42	19.03	20.95	23.31	23.18	13.17	14.73	14.57
04:00	15.55	15.77	19.60	20.02	24.29	26.56	44.36	42.54	42.34	52.56	50.44	52.61
05:00	21.37	22.89	24.59	51.83	50.70	54.02	53.28	50.75	52.25	51.00	48.46	50.69
06:00	40.21	37.34	42.96	52.61	51.94	55.26	52.14	50.18	51.99	52.61	50.44	52.15
07:00	19.91	21.80	24.69	18.67	20.97	21.42	51.99	49.71	51.63	15.87	16.60	12.18
08:00	52.61	49.50	53.76	12.44	12.13	15.40	51.88	49.19	51.32	37.40	37.18	38.81
09:00	12.23	13.64	16.23	19.03	20.40	24.22	17.84	12.08	12.13	33.10	33.34	36.68
10:00	35.74	37.29	35.64	11.19	11.77	15.76	18.04	11.98	12.08	44.72	46.69	54.69
11:00	19.39	43.99	25.52	14.46	36.98	16.07	13.27	12.03	12.23	54.94	56.36	68.50

Tbl 3. Pengukuran Arus Beban Hari ke-5 s.d. Hari ke-7

Waktu	Arus Beban Hari ke-5 (A)			Arus Beban Hari ke-6 (A)			Arus Beban Hari ke-7 (A)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
12:00	64.03	58.28	69.85	49.13	42.17	47.89	61.90	61.66	69.90
13:00	79.49	83.23	91.08	55.62	55.74	58.32	78.30	84.32	94.56
14:00	81.10	76.94	87.60	52.56	50.80	57.23	53.54	70.14	67.10
15:00	72.33	75.07	84.69	60.08	61.40	67.61	64.91	71.07	71.61
16:00	53.96	55.89	56.97	32.58	36.56	38.18	54.58	46.07	48.36
17:00	51.16	50.02	51.32	26.04	32.19	28.84	38.03	43.11	45.30
18:00	37.71	26.74	24.12	53.80	56.73	55.47	33.35	36.77	34.08
19:00	33.98	26.53	24.48	39.12	37.86	34.55	49.81	53.71	55.05
20:00	52.51	51.11	52.20	53.02	55.32	54.69	31.80	33.49	33.67
21:00	40.41	40.41	41.56	56.71	60.16	59.88	32.16	32.82	32.73
22:00	29.67	25.90	24.38	51.31	52.83	51.89	57.64	56.26	58.95
23:00	55.72	50.33	52.51	32.78	38.43	33.51	32.84	32.77	32.94
00:00	58.01	50.44	54.12	33.30	38.22	34.76	48.56	43.94	45.45
01:00	57.80	50.38	52.77	43.11	50.28	47.79	22.46	21.59	22.82
02:00	32.32	24.50	23.96	53.96	56.15	56.14	32.99	32.97	32.42
03:00	40.98	24.76	24.01	22.56	30.37	26.04	19.45	21.64	22.51
04:00	57.38	50.38	52.35	17.68	26.53	24.64	29.62	31.62	31.28
05:00	30.19	25.28	24.01	30.34	34.58	33.51	31.59	31.88	32.63
06:00	52.19	50.07	51.37	30.24	34.32	33.41	30.97	32.30	33.46
07:00	38.75	33.65	35.38	34.86	23.41	22.56	51.93	49.86	52.25
08:00	73.11	66.19	75.66	64.03	62.81	70.52	43.68	45.86	50.54
09:00	63.61	63.53	74.05	60.03	50.75	59.83	58.37	57.56	64.71
10:00	69.32	71.90	79.71	74.30	75.23	85.11	40.88	43.78	46.64
11:00	58.73	62.03	67.15	66.47	68.00	75.14	41.50	46.23	49.29

## 2) Pengukuran Tegangan

Seperti halnya arus beban, pengukuran tegangan pun dilakukan setiap jam selama 7 hari pengukuran (Tbl 4 dan Tbl 5). Adapun tegangan yang diukur yaitu tegangan fasa-netral. Pengukuran tegangan pun menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban yang cukup signifikan. Pengukuran tegangan ini dilakukan di *incoming* PLN sisi tegangan rendah.

Tbl 4. Pengukuran Tegangan Fasa-Netral Hari ke-1 s.d. Hari ke 4

Waktu	Tegangan F-N Hari ke-1 (V)			Tegangan F-N Hari ke-2 (V)			Tegangan F-N Hari ke-3 (V)			Tegangan F-N Hari ke-4 (V)		
	$V_{RN}$	$V_{SN}$	$V_{TN}$	$V_{RN}$	$V_{SN}$	$V_{TN}$	$V_{RN}$	$V_{SN}$	$V_{TN}$	$V_{RN}$	$V_{SN}$	$V_{TN}$
12:00	225.50	223.10	228.80	235.00	227.10	236.50	226.80	222.30	230.30	231.20	222.30	232.00
13:00	227.00	228.30	227.30	235.00	235.30	237.20	230.40	223.60	230.30	226.80	222.30	230.30
14:00	226.40	227.10	224.10	229.60	224.30	230.80	235.00	235.30	237.20	230.40	223.60	230.30
15:00	228.90	229.10	227.20	224.80	225.10	233.90	229.60	224.30	230.80	230.50	231.10	230.40
16:00	227.40	223.10	228.50	230.70	227.30	232.90	224.80	225.10	233.90	231.90	234.60	234.50
17:00	225.50	230.30	230.70	231.60	227.20	234.40	230.70	227.30	232.90	234.20	213.40	226.60
18:00	231.90	232.10	234.50	229.90	228.80	232.70	231.60	227.20	234.40	233.80	234.50	235.70
19:00	235.40	234.20	235.80	229.80	230.20	234.10	229.90	228.80	232.70	234.80	235.50	235.80
20:00	234.20	233.50	236.00	233.60	231.70	235.40	229.80	230.20	234.10	229.70	230.70	232.60
21:00	231.40	231.00	232.90	233.90	232.10	235.90	233.60	231.70	235.40	231.20	230.90	232.70
22:00	229.10	234.20	235.40	231.70	230.30	233.20	233.90	232.10	235.90	231.30	231.20	233.10
23:00	234.60	234.40	236.20	233.00	233.50	236.10	231.70	230.30	233.20	227.00	228.40	230.10
00:00	228.70	233.80	235.50	232.20	231.10	232.90	233.00	233.50	236.10	232.20	231.90	234.90
01:00	234.50	237.10	237.70	232.30	232.90	234.70	232.20	231.10	232.90	226.60	232.50	235.40
02:00	229.60	235.80	236.20	229.60	230.50	231.70	232.30	232.90	234.70	229.80	230.40	233.40
03:00	236.30	236.60	237.00	228.80	232.30	233.40	229.60	230.50	231.70	231.30	235.70	238.30
04:00	237.40	237.70	238.80	230.70	231.00	232.10	228.80	232.30	233.40	234.80	235.10	237.50
05:00	234.00	234.30	236.40	226.20	228.00	229.10	230.70	231.00	232.10	232.90	235.00	237.80
06:00	228.90	230.70	231.40	228.90	228.70	229.90	226.20	228.00	229.10	231.40	232.10	234.80
07:00	230.30	230.40	231.90	232.40	232.50	234.80	228.90	228.70	229.90	227.70	227.60	231.00
08:00	225.30	227.40	228.00	231.20	231.70	232.10	232.40	232.50	234.80	227.50	228.50	231.10
09:00	231.00	231.40	232.30	229.70	230.00	229.90	231.20	231.70	232.10	222.80	225.60	227.60
10:00	225.10	221.80	230.80	231.30	231.70	231.70	229.70	230.00	229.90	227.90	230.60	232.60
11:00	230.50	221.00	231.40	231.20	222.30	232.00	231.30	231.70	231.70	230.50	233.20	234.90

Tbl 5. Pengukuran Tegangan Fasa-Netral Hari ke-5 s.d. Hari ke-7

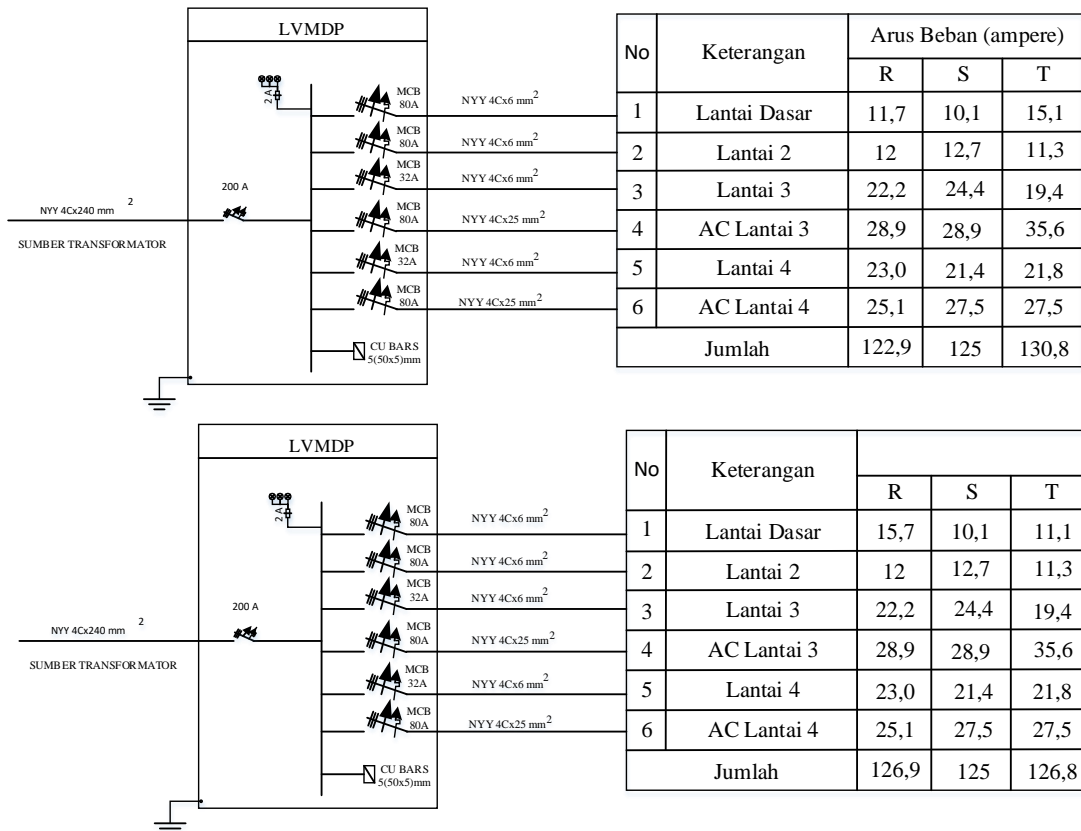
Waktu	Tegangan F-N Hari ke-5 (V)			Tegangan F-N Hari ke-6 (V)			Tegangan F-N Hari ke-7 (V)		
	$V_{RN}$	$V_{SN}$	$V_{TN}$	$V_{RN}$	$V_{SN}$	$V_{TN}$	$V_{RN}$	$V_{SN}$	$V_{TN}$
12:00	232.30	232.90	234.60	231.30	231.50	233.20	224.70	225.90	225.30
13:00	231.50	233.30	235.00	231.90	232.90	234.70	223.30	226.20	222.20
14:00	230.00	233.00	235.20	224.30	228.90	230.80	227.20	226.20	225.20
15:00	230.20	233.20	235.40	232.70	233.10	235.00	220.80	224.10	222.60
16:00	230.50	231.10	230.40	231.90	231.80	233.90	218.60	222.60	220.40
17:00	231.90	234.60	234.50	233.00	233.00	235.20	226.00	225.70	226.20
18:00	234.20	213.40	226.60	228.50	232.40	234.90	233.00	233.00	235.20
19:00	233.80	234.50	235.70	234.20	234.20	237.20	228.50	232.40	234.90
20:00	234.80	235.50	235.80	232.30	231.70	235.40	234.20	234.20	237.20
21:00	229.70	230.70	232.60	232.40	232.50	236.30	232.30	231.70	235.40
22:00	230.10	230.90	232.70	233.30	232.70	236.40	232.40	232.50	236.30
23:00	230.40	229.60	231.10	233.50	232.70	236.00	233.30	232.70	236.40
00:00	229.10	229.20	232.80	236.70	236.20	239.50	233.50	232.70	236.00
01:00	233.60	233.50	236.90	233.50	233.00	236.30	236.70	236.20	239.50
02:00	230.20	230.30	233.20	236.40	236.00	239.00	233.50	233.00	236.30
03:00	228.60	233.90	236.60	236.30	236.60	239.80	236.40	236.00	239.00
04:00	232.70	233.40	236.00	236.70	236.90	239.50	236.30	236.60	239.80
05:00	229.30	234.20	236.50	237.60	237.50	240.20	236.70	236.90	239.50
06:00	234.00	235.20	237.80	235.20	235.40	237.90	237.60	237.50	240.20
07:00	227.60	230.60	232.90	224.70	232.00	234.10	235.20	235.40	237.90
08:00	232.00	232.00	234.90	226.10	228.00	231.70	224.70	232.00	234.10
09:00	229.80	230.30	232.90	224.10	228.50	232.40	226.10	228.00	231.70
10:00	229.40	229.80	231.60	226.30	227.60	227.90	224.10	228.50	232.40
11:00	233.00	233.50	235.20	223.30	229.20	227.20	226.30	227.60	227.90

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Penyambungan Beban

Berdasarkan data penyambungan beban Gedung Fakultas Pertanian diperoleh ketidakseimbangan beban yang cukup mencolok pada fasa R dan fasa T. Hal ini menjadi

salah satu penyebab terjadinya ketidakseimbangan beban yang terjadi di gedung tersebut. Selanjutnya dalam penelitian ini dilakukan simulasi pemindahan beban fasa R ke fasa T dan sebaliknya di lantai dasar gedung tersebut guna memperoleh pendistribusian beban yang merata (Gbr 4).



Gbr 4. Penyambungan Beban Sebelum (atas) dan Sesudah (bawah)

Dengan adanya pemindahan beban tersebut, maka perbedaan arus pada fasa S dan T berbeda 0,1 A dari sebelumnya sebesar 7,9 A dan perubahan arus beban pada fasa R dan T tersebut sebesar 4 A.

### B. Data Pengukuran

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, maka dapat diketahui arus beban puncak selama 7 hari pengukuran tersebut mengalami ketidakseimbangan.

Tbl 6. Data Hasil Pengukuran Arus Beban Puncak

No	Keterangan	Arus Beban Puncak (A)		
		R	S	T
1	Hari Ke-1	60,45	60,78	67,67
2	Hari Ke-2	52,61	51,94	55,26
3	Hari Ke-3	53,08	51,37	55,05
4	Hari Ke-4	54,94	56,36	68,5
5	Hari Ke-5	79,49	83,23	91,08
6	Hari Ke-6	74,3	75,23	85,11
7	Hari Ke-7	78,3	84,32	94,56

Arus beban puncak tertinggi pada fasa R terjadi pada hari ke-5 dan arus beban puncak tertinggi pada fasa S dan T

terjadi pada hari ke-7 Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan beban di Gedung Fakultas Pertanian tidak seimbang pada masing-masing fasanya.

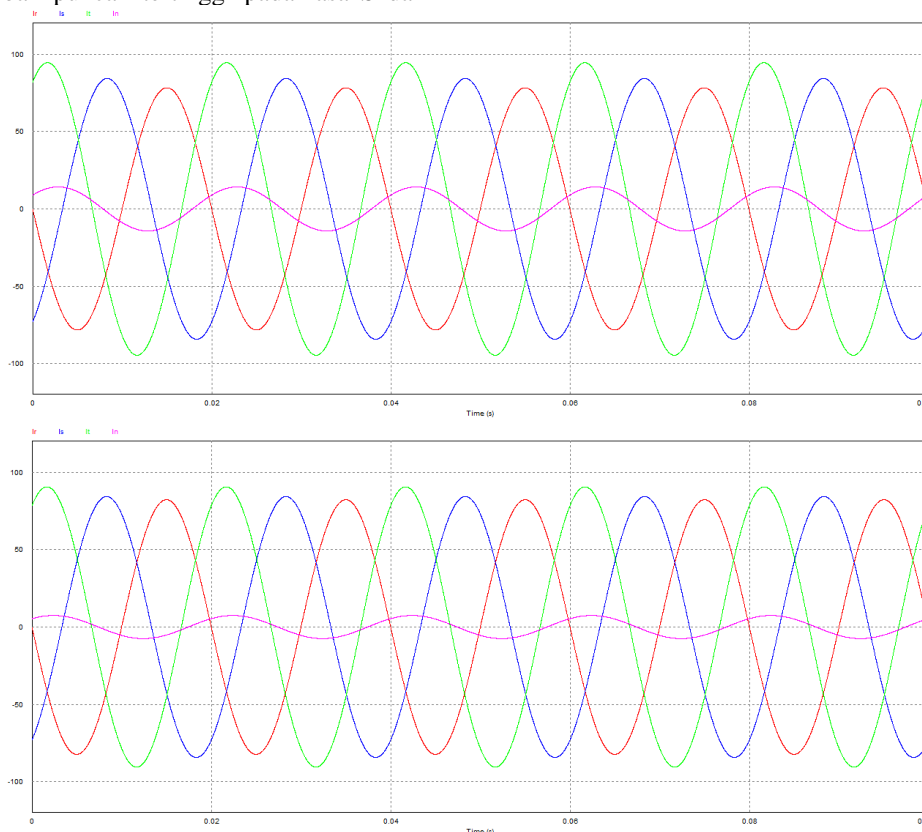
Jika kita mengasumsikan perubahan beban fasa R dan fasa T yang berubah sebesar 4 A, maka data arus beban puncak pada hari ke-7 mengalami perubahan antara sebelum dan sesudah pemindahan beban fasa yang mengakibatkan ketidakseimbangan beban pun ikut berubah.

Tbl 7. Arus Beban Puncak di Hari ke-7

Kondisi	Arus Beban Puncak di Hari ke-7 (A)		
	R	S	T
Sebelum	78,3	84,32	94,56
Sesudah	82,3	84,32	90,56

### C. Kondisi Arus Beban Fasa dan Netral

Kondisi arus beban masing-masing fasa dan arus pada penghantar netral pada hari ke-7 direpresentasikan menggunakan software PSIM. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, diperoleh grafik arus beban yang cukup signifikan antara sebelum dilakukan pemindahan beban dan setelah dilakukan pemindahan beban.



Gbr 5. Arus Beban Fasa R, S, dan T serta Arus pada Penghantar Netral Sebelum (atas) dan Sesudah (bawah) Dilakukan Penyeimbangan Beban

Adapun arus beban fasa dan netral pada hari ke-7 sebelum dilakukan penyeimbangan beban dengan merujuk pada persamaan (3), diperoleh ketidakseimbangan beban sebesar 7% dengan nilai koefisien  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  secara berurutan yaitu 0,91, 0,98, dan 1,1.

Selanjutnya ketidakseimbangan beban setelah dilakukan penyeimbangan beban yaitu sebesar 4% dengan nilai koefisien  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  secara berurutan yaitu 0,96, 0,98, dan 1,06.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka ketidakseimbangan beban setelah dilakukan pemindahan beban sudah sesuai standar IEC 61000-4-30 yaitu kurang dari 5%.

### D. Rugi Daya Akibat Arus Netral

Ketidakeimbangan beban yang terjadi mengakibatkan munculnya rugi-rugi pada penghantar netral dimana seharusnya pada keadaan beban yang seimbang, maka arus netral bernilai nol. Berdasarkan pengukuran faktor daya

( $\cos \phi$ ) sebesar 0,85 yang berarti terdapat perbedaan sudut fasa sebesar  $31,79^\circ$

Dengan perbedaan sudut fasa tersebut, maka arus netral sebelum dan sesudah dilakukan pemindahan beban di peroleh dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) yaitu sebesar 14,39 A pada saat sebelum dilakukan pemindahan beban dan 8,04 A pada saat sesudah dilakukan pemindahan beban.

Rugi daya akibat adanya arus pada penghantar netral menggunakan persamaan (6), dimana nilai resistansi penghantar netral sebesar  $0,193 \Omega$  akan menghasilkan rugi daya sebelum dilakukan penyeimbangan beban yaitu sebesar 39,97 Watt dan rugi daya setelah dilakukan penyeimbangan beban yaitu sebesar 12,51 Watt.

## V. KESIMPULAN

Perencanaan pembebanan menjadi hal yang sangat perlu diperhatikan dalam setiap pengoperasian tenaga listrik. Pada kasus ini, pembebanan yang tidak merata mengakibatkan ketidakseimbangan beban sebesar 7% atau tidak sesuai standar IEC 61000-4-30 yaitu mengharuskan ketidakseimbangan beban kurang dari 5%. Dengan adanya pemindahan beban fasa, maka ketidakseimbangan beban dapat ditekan sesuai dengan standar tersebut yaitu menjadi 4%.

Ketidakseimbangan beban juga berpengaruh pada arus yang mengalir pada penghantar netral. Pada kasus ini, dengan adanya pemindahan beban fasa tersebut, arus netral dapat direduksi sebesar 44,13%.

Arus netral tersebut tentu akan berpengaruh pada rugi-rugi daya yang diakibatkan adanya arus pada penghantar netral tersebut. Pada kasus ini, dengan adanya pemindahan beban fasa tersebut, rugi-rugi daya dapat direduksi sebesar 68,70%.

## REFERENSI

- [1] W. Diby, "Analisis Gangguan Transmisi Tenaga Listrik Menggunakan Metode Root Cause Analysis (RCA) di PT PLN app Purwokerto Gardu Induk 150 KV Pekalongan," vol. 2019, p. 150.
- [2] P. S. M. L. T. Yoakim Simamora, "TRANSFORMATOR DISTRIBUSI UNTUK IDENTIFIKASI BEBAN LEBIH DAN ESTIMASI RUGI-RUGI PADA," p. 2015, 2015.
- [3] M. Sodikin, "Studi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di Wilayah Bantul Berdasarkan Ketersediaan Daya Pada Tahun 2016 Dan 2017," 2018.
- [4] M. D. T. Sogen, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong," *Electro Luceat*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [5] R. S. Siregar and R. Harahap, "Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV / 400V Di PT . PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban," *J. Electr. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 2502–3624, 2017.
- [6] A. H. Napitu, D. T. Elektro, F. Teknik, and U. Indonesia, "Analisis kompensasi var sistem distribusi tiga fasa empat kawat dengan metode kompensasi dua fasa skripsi," 2008.
- [7] J. S. Setiadji, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto,

"Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi," *Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 68–73, 2006.

- [8] "IEC 61000-4-30 compliance and ION meters," vol. 30, 2019.

## BIOGRAFI PENULIS



**Asep Tri Mulyana Nugraha**, Lahir di Cirebon, 05 Mei 1997, kuliah di Teknik Elektro Universitas Siliwangi mengambil konsentrasi Sistem Tenaga dan untuk penelitian saya mengambil Penyeimbangan beban pada Transformator.



**Sutisna**, Lahir pada tanggal 24 November 1969. Bekerja sebagai tenaga pengajar di Program Studi Teknik Elektro Universitas Siliwangi di Tasikmalya – Indonesia. Dengan bidang konsentrasi penelitian meliputi Teknik Tenaga Elektrik.



**Asep Andang**, Memperoleh gelar Magister Teknik Elektro dari Institut Teknologi Bandung Pada Tahun 2006. Bekerja sebagai tenaga pengajar di Program Studi Teknik Elektro Universitas Siliwangi di Tasikmalya – Indonesia. Dengan konsentrasi penelitian meliputi Kualitas Daya, *Power Electronics and Drives*, *Internet of Things and*

*Automation*.



**Muhammad Aris Risnandar**. Lahir di Ciamis, 10 April 1988. Memperoleh gelar sarjana dari Prodi Pendidikan Teknik Elektro UPI pada tahun 2013 dan memperoleh gelar magister dari Prodi Teknik Elektro ITB pada tahun 2015. Bekerja sebagai Dosen Prodi Teknik Elektro Universitas Siliwangi dengan peminatan Sistem Tenaga. Bidang penelitian yang dialami yaitu: Teknik Tenaga Listrik khususnya Sistem Distribusi.