



Analisis Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Trafo Distribusi Pada PLN (PERSERO) ULP Mattoanging

Ahmad Agun¹, Asdi², Andi Abd Halik Lateko Ti³, Zahir Zainuddin⁴
^{1,2,3,4} Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, Indonesia

Article Info

Article history:

Received June 30, 2024
Revised June 30, 2024
Accepted Juli 8, 2024

Kata Kunci:

Perlindungan Sistem
Kelistrikan,
PLN,
Trafo ,
Arus Netral

Keywords:

Electric power sistem
Protection,
Transformer,
Neutral Current,
PLN

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pentingnya perlindungan sistem kelistrikan untuk menjamin kelangsungan operasional yang tinggi dalam konteks pertumbuhan ekonomi yang pesat. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, PLN perlu menjamin pasokan listrik yang stabil dan berkesinambungan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan ketika memastikan keselamatan pusat beban dan pembangkit listrik meliputi keandalan sistem, pemeliharaan peralatan, dan respons cepat terhadap kegagalan. Melalui pemantauan yang cermat, perencanaan yang matang, dan penerapan teknologi canggih pada sistem ketenagalistrikan, PLN dapat memastikan kemampuan pasokan listrik sesuai dengan permintaan konsumen. Oleh karena itu, menjamin keamanan sistem kelistrikan merupakan kunci terpenting untuk menjaga stabilitas dan keandalan pasokan listrik kepada seluruh pengguna.

ABSTRACT

This research addresses the importance of electrical system protection in ensuring high operational continuity amid rapid economic growth. With the rising demand for electrical energy, PLN must ensure a stable and continuous electricity supply to meet the needs of society and industry. Factors to consider in protecting load centers and power plants include system reliability, equipment maintenance, and quick response to disturbances. Through careful monitoring, thorough planning, and the implementation of advanced technology in the electrical system, PLN can ensure the opportunity to serve electricity in line with consumer preferences. Therefore, electrical system protection becomes a crucial factor in maintaining the stability and reliability of electricity supply for all users.

This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



Corresponding Author:

Ahmad Agun
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar,
Makassar, Indonesia
Email: muhidham97@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, perubahan permintaan energi listrik

dan kapasitas infrastruktur yang ada memerlukan keamanan sistem yang berkelanjutan untuk menjamin kelangsungan operasional sistem tenaga listrik yang tinggi. Dalam jaringan listrik yang besar, untuk mencapai koordinasi yang optimal, memastikan keamanan di tingkat pusat pengiriman dan pusat produksi sangatlah penting. [1]

Indonesia saat ini sedang mencapai kemajuan di segala bidang. Dengan pesatnya pembangunan, maka diperlukan sarana dan prasarana yang menunjang tercapainya tujuan pembangunan. Salah satu fasilitasnya adalah pasokan listrik. Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting baik untuk kehidupan sehari-hari maupun kebutuhan industri. Memang energi listrik sangat mudah untuk diangkut dan diubah menjadi bentuk energi lain. Pasokan energi listrik yang stabil dan berkesinambungan merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. [2]

Pembangunan di segala sektor menuntut PLN untuk mempunyai kesempatan menyediakan tenaga listrik sesuai dengan keinginan konsumen. Namun dalam upaya memenuhi keinginan tersebut terkadang terjadi polarisasi biaya yang tidak merata dan menimbulkan ketidakseimbangan yang pada akhirnya berdampak buruk bagi PLN. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem kelistrikan merupakan suatu keadaan yang tidak bisa dihindari. Beban yang tidak seimbang pada setiap fasa R, fasa S dan fasa T akan menyebabkan arus mengalir ke netral trafo IN. Besarnya arus yang mengalir dari netral trafo IN sendiri ditentukan oleh besarnya koefisien ketidakseimbangan. Arus besar yang mengalir melalui kawat menyebabkan sejumlah energi hilang di sepanjang kawat. Upaya pemenuhan beban dan memperhatikan kenyamanan konsumen terus dilakukan untuk menjamin stabilitas dan kontinuitas pasokan listrik ke konsumen. [3]

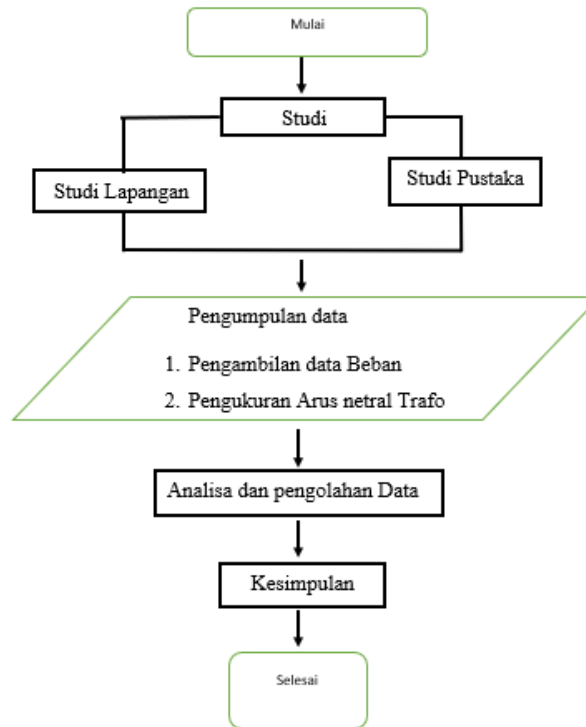
Untuk memenuhi kebutuhan listrik pada awalnya dilakukan pemerataan beban, namun ketidaksesuaian jadwal penggunaan beban akan menyebabkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan energi listrik. Selain penyimpangan waktu, ketidakseimbangan koneksi pada fase R, S dan T juga menjadi faktor yang mempengaruhi. Ketidakseimbangan beban ini menimbulkan kerugian teknis atau kerugian yang merugikan PLN. Untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan berkesinambungan ke konsumen, diperlukan manajemen beban yang lebih baik [4]

2. METODE

2.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian “Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi” penulis menggunakan metode penelitian kuantitatif dan kualitatif. Metode kuantitatif dilakukan dengan cara mengumpulkan data berdasarkan pengukuran yang dilakukan selama penelitian ini dan hasil pengukuran tersebut diolah dalam bentuk matematika. Sedangkan pendekatan kualitatif meliputi analisis penelitian berdasarkan data kuantitatif yang dikumpulkan. [5]

2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Daya Trafo

Detail dari transformator daya yang dipergunakan oleh ULP Mattoanging :

Tegangan kerja	: 100 kV
Batas arus sekunder	: 144 A
R_G dan R_n	: 16,1 Ohm
Trafo	: 3 phasa

3.2 Analisis Beban Puncak Transformator

Daya trafo dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dijelaskan dengan rumus berikut:

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

dimana :

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer trafo (kV)

I : arus jala-jala (A)

Jadi untuk menghitung arus beban penuh gunakan rumus:

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

3.2.1 Hasil Perhitungan I_N Pagi

Tabel 2. Fasa R,S dan T

I_R	I_S	I_T
28A	37A	42A

$$\begin{aligned}
 I_N &= 28 \angle 0^\circ + 37 \angle 240^\circ + 42 \angle 120^\circ \\
 &= 28 (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + 37 (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) + 42 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) \\
 &= A + jB \\
 I_N &= \sqrt{A^2 + B^2} \\
 &= 28 (1 + j 0) + 37 (-0,5 + j 0,866) + 42 (-0,5 + j 0,866) \\
 &= 28 - 18,5 - j 32,042 - 21 + j 36,372 \\
 &= 28 - 18,5 - 21 - j(32,042 + j 36,372) \\
 &= (-11,5) + j 68,414 \\
 I_N &= \sqrt{(-11,5)^2 + 68,414^2} \\
 &= \sqrt{132,25 + 4689,312} \\
 &= \sqrt{4821,562} \\
 &= 69,43 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Analisa dan Pengamatan :

a. Ketidakseimbangan beban

Ketidakseimbangan beban menghasilkan arus netral yang cukup besar yaitu 69,43 A pada pagi hari. Ketidakseimbangan beban ini dapat disebabkan oleh distribusi arus antar fasa yang tidak merata. dari.

b. Dampak Arus Netral

Arus netral yang besar dapat meningkatkan kerugian sistem karena menghasilkan panas tambahan, sehingga meningkatkan kehilangan energi.

c. Efisiensi

Adanya arus netral yang besar menunjukkan kemungkinan penurunan efisiensi transformator akibat ketidakseimbangan beban. Hal ini dapat menyebabkan kabel netral dan komponen lainnya menjadi terlalu panas.

d. Pengelolaan Beban

Manajemen beban yang lebih baik diperlukan untuk mengurangi aliran nol dan meningkatkan efisiensi sistem. Hal ini dapat dicapai dengan terus memantau beban dan mendistribusikan kembali beban secara lebih merata.

3.2.2 Pengukuran (Pukul 09.00 Wita) Pagi

Tabel 3. Hasil Pengukuran

I_R (A)	I_S (A)	I_T (A)	I_N (A)		Cos ϕ (Faktor Daya)
			Pengukuran	Perhitungan	

28	37	42	10,21	12,288	0,83
----	----	----	-------	--------	------

Sehingga dari data di atas dapat dihitung :

$$S = 20 \text{ MVA} = 20.000 \text{ KVA}$$

$$V = 100 \text{ kV}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = I_{FL} = \frac{20.000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 100 \text{ kV}} = 115,47 \text{ Ampere}$$

$$I = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} = \frac{28 + 37 + 42}{3} = \frac{107}{3} = 35,67 \text{ Ampere}$$

$$\text{Persentase pembebanan trafo} : = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} = \frac{35,67}{115,47} \times 100 = 30,89 \%$$

Perhitungan menunjukkan persentase beban yang cukup tinggi yaitu: 30,89%.

Analisis ketidakseimbangan trafo :

$$a = \frac{I_r}{I_{rata-rata}} = \frac{28}{35,62} = 0,79 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_s}{I_{rata-rata}} = \frac{37}{35,62} = 1,04 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_t}{I_{rata-rata}} = \frac{42}{35,62} = 1,18 \text{ A}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1

Oleh karena itu, rata-rata ketidakseimbangan beban (%) yaitu :

$$= \frac{(I_a + I_b + I_c)}{3}$$

$$= \frac{(0,79 + 1,04 + 1,18)}{3} = 0,99 = 9,9 \%$$

Dari perhitungan di atas terlihat ketidakseimbangan beban yang tidak terlalu besar, sekitar 1% yang disebabkan oleh beban konsumen yang tidak merata. Analisis kerugian akibat aliran nol.

Dari rumus *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar trafo dapat dihitung besarnya :

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

$$= 10,21^2 \cdot 16,1 \Omega$$

$$= 1678,33 \text{ Watt}$$

$$= 1,678 \text{ KW}$$

Dimana daya aktif trafo (p) =

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$P = 20.000 \text{ KVA} \times 0,83$$

$$= 16.600 \text{ KW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral

$$\% P_N = \frac{P_n}{P} = \frac{1,678}{16.600} \times 100 \% = 1,01 \%$$

3.2.3 Hasil Perhitungan I_N Malam

Tabel 4. Fasa R, S dan T

I_R	I_S	I_T
47A	56A	43A

$$I_N = 47 \angle 0^\circ + 56 \angle 240^\circ + 43 \angle 120^\circ$$

$$= 47 (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + 56 (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) + 43 (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ)$$

$$= A + jB$$

$$I_N = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$= 47 (1 + j 0) + 56 (-0,5 + j 0,866) + 43 (-0,5 + j 0,866)$$

$$= 47 - 28 - j 48,496 - 21,5 + j 37,24$$

$$= 47 - 28 - 21,5 - j (48,496 + 37,24)$$

$$= (-2,5) + j 85,735$$

$$I_N = \sqrt{(-2,5)^2 + 85,735^2}$$

$$= \sqrt{6,25 + 7348,65}$$

$$= \sqrt{7354,65}$$

$$= 85,76 \text{ A}$$

Analisa dan pengamatan :

a. Ketidakseimbangan Beban

Distribusi arus antar fasa yang tidak merata menyebabkan ketidakseimbangan beban sehingga menghasilkan arus netral yang signifikan mencapai 85,82 A pada malam hari.

b. Dampak Arus Netral

Arus netral yang besar dapat meningkatkan kehilangan daya sistem karena menghasilkan panas tambahan, sehingga meningkatkan kehilangan energi..

c. Efisiensi

Jika arus netral besar, terdapat risiko efisiensi operasional transformator akan menurun. Situasi ini dapat menyebabkan panas berlebih pada kabel netral dan komponen lainnya.

d. Pengelolaan Beban

Manajemen beban harus ditingkatkan untuk mengurangi aliran nol dan meningkatkan efisiensi sistem. Tujuan tersebut dapat dicapai dengan melakukan pemantauan beban secara terus menerus dan mendistribusikannya kembali sehingga distribusi beban menjadi seragam.

3.2.4 Hari Pengukuran (Puku 22.00 Wita) Malam

Tabel 5. Hasil Pengukuran Malam

I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)		Cos φ (Faktor Daya)
			Pengukuran	Perhitungan	
47	56	43	10,53	11,53	0,91

Sehingga dari data di atas dapat dihitung :

$$S = 20 \text{ MVA} = 20.000 \text{ KVA}$$

$$V = 100 \text{ kV}$$

$$I_{FL} = \frac{s}{\sqrt{3} \cdot V} = I_{FL} = \frac{20.000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 100 \text{ kV}} = 115,47 \text{ Ampere}$$

$$I = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} = \frac{47 + 56 + 43}{3} = \frac{146}{3} = 48,67 \text{ Ampere}$$

$$\text{Persentase pembebanan trafo} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} = \frac{48,67}{115,47} = 42,14 \%$$

Dari perhitungan dapat terlihat bahwa persentase beban cukup tinggi yaitu : 42,14 %

Analisis ketidakseimbangan trafo :

$$a = \frac{I_r}{I_{rata-rata}} = \frac{47}{48,67} = 0,97 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_s}{I_{rata-rata}} = \frac{56}{48,67} = 1,15 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_t}{I_{rata-rata}} = \frac{43}{48,67} = 0,88 \text{ A}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a,b dan c adalah 1

Oleh karena itu , rata-rata ketidakseimbangan beban (%) yaitu :

$$= \frac{(I_a + I_b + I_c)}{3}$$

$$= \frac{(0,97+1,15 + 0,88)}{3}$$

$$= 10 \%$$

Dari perhitungan di atas terlihat ketimpangan sekitar 10%. Hal ini disebabkan distribusi beban yang tidak merata antar konsumen: Analisis kerugian akibat aliran nol. Besarnya dapat dihitung dari rumus rugi-rugi akibat arus nol pada kawat trafo:

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

$$= 85,82^2 \cdot 16.1 \Omega$$

$$= 118,89 \text{ Watt}$$

$$= 1,18 \text{ KW}$$

Dimana daya aktif trafo (p) =

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$P = 20.000 \text{ KVA} \times 10$$

$$= 18.200 \text{ KW}$$

Sehingga, persentase *losses akibat* adanya arus netral

$$\% P_N = \frac{P_n}{P} = \frac{118,89}{18.200} \times 100 \% = 0,65 \%$$

3.3 Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa trafo di Sulawesi Selatan khususnya di Stasiun Induk Panakukang dan lebih khusus lagi di lokasi pendataan penelitian umpan ULP Mattoanging kabupaten Rappocin beroperasi tidak seimbang. Hal ini dapat disimpulkan dari hasil pengukuran arus tiap fasa yang menunjukkan adanya ketidakseimbangan. Berdasarkan Tabel 4.1, perbedaan arus pada setiap fasa menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban. Hasil yang diperoleh berdasarkan analisis yang dilakukan sesuai tabel berikut:

Tabel 6. Beban Transformator

Waktu	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I rata-rata(A)	Persentase(%)
Pagi Hari	28	37	42	35,67	30,89
Malam Hari	45	52	40	45,67	39,55

Tabel 6 menunjukkan bahwa kuat arus pada fasa R-, S- dan T berbeda-beda baik pada pagi maupun malam hari. terjadi pada malam hari yaitu 39,55%.

Tabel 7. Ketidakseimbangan Beban

Waktu	a (A)	b (A)	c (A)	Ketidakseimbangan rata-rata	Persentase(%)
Pagi Hari	0,79	1,04	1,18	0,11	1,1 %
Malam Hari	1,14	1,31	1,01	0,096	9,6 %

Tabel 7 menunjukkan rata-rata ketidakseimbangan beban pagi hari sebesar 0,11 dengan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 1,1%. Sedangkan rata-rata ketidakseimbangan pada malam hari sebesar 0,096 dan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 9,6%. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan lebih besar pada malam hari dibandingkan pada pagi hari, hal ini disebabkan penggunaan beban yang lebih besar pada malam hari.

Tabel 8. *Losses* Akibat adanya Arus Netral

Waktu	$R_N (\Omega)$	$I_N(A)$		<i>Losses</i> akibat arus netral pada penghantar netral trafo (KW)	Persentase <i>losses</i> (%)
		Pengukuran	Perhitungan		
Pagi hari	16,1 Ω	10,21	12,288	1,678	1.01 %
Malam Hari	16,1 Ω	10, 53	11,53	1,785	9,81 %

Terlihat dari Tabel 8 rugi-rugi yang lebih besar terjadi pada malam hari yaitu sebesar 1785 KW. Hal ini disebabkan penggunaan beban yang lebih tinggi pada malam hari dan ketidakseimbangan beban yang lebih tinggi dimana arus yang melalui penghantar netral transformator lebih tinggi. Akibatnya rugi-rugi listrik pun semakin besar. Dari sini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi arus yang melewati penghantar netral trafo maka semakin tinggi pula rugi-rugi daya dan persentase kenaikannya.

4. KESIMPULAN

Ketidakseimbangan beban pada trafo daya terjadi pada kedua periode, baik pagi maupun sore hari, namun lebih terlihat pada malam hari karena beban lebih tinggi pada waktu tersebut. Ketidakseimbangan beban menyebabkan arus yang tidak merata pada setiap fasa trafo, yang pada akhirnya dapat meningkatkan rugi-rugi daya pada trafo. Persentase ketidakseimbangan beban lebih tinggi pada malam hari dibandingkan pada pagi hari sehingga dapat mempengaruhi efisiensi transformator daya. Adanya arus netral pada trafo juga mempengaruhi rugi-rugi daya, sehingga semakin besar arus pada penghantar netral trafo maka rugi-rugi daya pun semakin besar. Oleh karena itu, pertimbangan dan pengelolaan ketidakseimbangan beban dan arus netral pada transformator daya yang tepat sangat penting untuk meningkatkan efisiensi sistem tenaga dan kinerja secara keseluruhan.

REFERENSI

- [1] Linsley, R. K. (2004). *Transformator dan Induktor: Prinsip, Teori, dan Aplikasi*. Penerbit Erlangga.
- [2] Buku Panduan Teknik Elektro.(2020). Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

- [3] Laksono, Arief Budi, 2010, “*Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi*” Universitas Islam Lamongan, Volume 2 No.1 Tahun 2010 ISSN : 2085 – 0859.
- [4] Hadi, Abdul, 1994 “*Sistem Distribusi Daya Listrik*”, Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
- [5] Setiadji, Jelius Sentosa, dkk. 2006, “*Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi*”. Jawa Timur : PT. PLN(Persero), Vol. 6 No.1, Maret 2006: 68 – 73
- [6] Sen, P. C., & Bose, A. (2003). Principles of Electric Machines and Power Electronics. John Wiley & Sons.
- [7] Kadir, Abdul, 2000 “*Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*”, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2000
- [8] Bhattacharya, S. K. (2006). Electrical Machines. Tata McGraw-Hill Education.
- [9] Husein, M. (2010). Transformator: Teori dan Aplikasi. Penerbit Andi.
- [10] Siregar, Rizky Syahputra, dkk. 2017. “*Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban*”. Medan : USU INDONESIA ISSN : 2598 – 1099 ISSN : 2502 – 3624