

Penyeimbangan Beban Trafo Distribusi 3 Fasa pada Jaringan Tegangan Rendah (Studi Kasus PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota)

Dhian Ardhianto¹, Budi Utama², Mohammad Arsyad³

^{1,2}Institut Teknologi Nasional Yogyakarta; Jalan Babarsari Caturtunggal Depok Sleman Yogyakarta 55281, Telp.(+62274) 485390 Fax.(+62274) 487249 ³Jurusan Teknik Elektro ITNY, Yogyakarta

e-mail: *¹dhian.ardhian.itny@gmail.com, ²budiutama@itny.ac.id, ³arsyad@itny.ac.id

Abstrak

Salah satu dampak terjadinya rugi daya dan tegangan yang besar diantaranya karena panjang saluran dan faktor ketidakseimbangan beban. Secara umum penyebab terjadi beban tidak seimbang karena faktor beban satu fase pada sistem distribusi jaringan tegangan rendah. Hal ini dialami pada PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota, khususnya di jaringan distribusi tegangan rendah KBL03040 terjadi pada kawat netral berarus melebihi 60 ampere. Oleh karenanya perlu dilakukan penyeimbangan beban dengan tujuan agar dapat mengurangi rugi daya dan energi yang tinggi.

Metodologi penelitian yang dilakukan dengan cara memindahkan beban yang besar ke beban yang ringan yaitu dengan cara pemindahan jumper/conector yang terletak pada tiang KBL03040 atau juga dapat disebut sebagai jaringan distribusi tegangan rendah KBL0304. Perhitungan rugi daya dan energi baik sebelum dan sesudah pemindahan beban yang diambil adalah daya dan energi yang terbuang melalui penghantar netral.

Hasil yang didapat bahwa hasil perhitungan rugi daya dan energi sebelum dilakukan pemindahan beban sebesar 1,18 kW dan 10,189 MWH dalam satu tahun, sedangkan setelah dilakukan pemindahan rugi daya dan energi didapat 0,804 kW dan rugi energi sebesar 6,95 MWH. Dengan cara pemindahan beban dari satu fasa ke fasa lain yang bertujuan agar terjadi penyeimbangan beban. Hasil kesimpulan dengan cara penyeimbangan beban dapat menurunkan rugi daya maupun energi listrik kurang lebih mencapai 30,66 %.

Kata kunci: Ketidakseimbangan beban, Penyeimbangan beban, rugi daya dan rugi energi listrik

Abstrak

One of the effects of large power and voltage losses is due to the line length and load imbalance factors. In general, the cause of unbalanced load occurs due to the single-phase load factor in the low voltage distribution network system. This is experienced at PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota, especially in the low voltage distribution network KBL03040 occurs on neutral wires with currents exceeding 60 amperes. Therefore it is necessary to do load balancing in order to reduce high energy and power losses.

The research methodology is carried out by moving large loads to light loads, namely by moving the jumper / connector located on the KBL03040 pole or can also be called the KBL0304 low voltage distribution network. The calculation of power and energy losses both before and after a load transfer is taken is the power and energy wasted through the neutral conductor.

The results obtained are that the results of the calculation of power and energy losses before load transfer are 1.18 kW and 10.189 MWH in one year, while after the transfer of power and energy losses are 0.804 kW and energy losses of 6.95 MWH. By transferring the load from one phase to another, which aims to balance the load. The results of the conclusion by means of load balancing can reduce power and electrical energy losses by approximately 30.66%.

Key words: *load imbalance, load balancing, power loss and electrical energy loss*

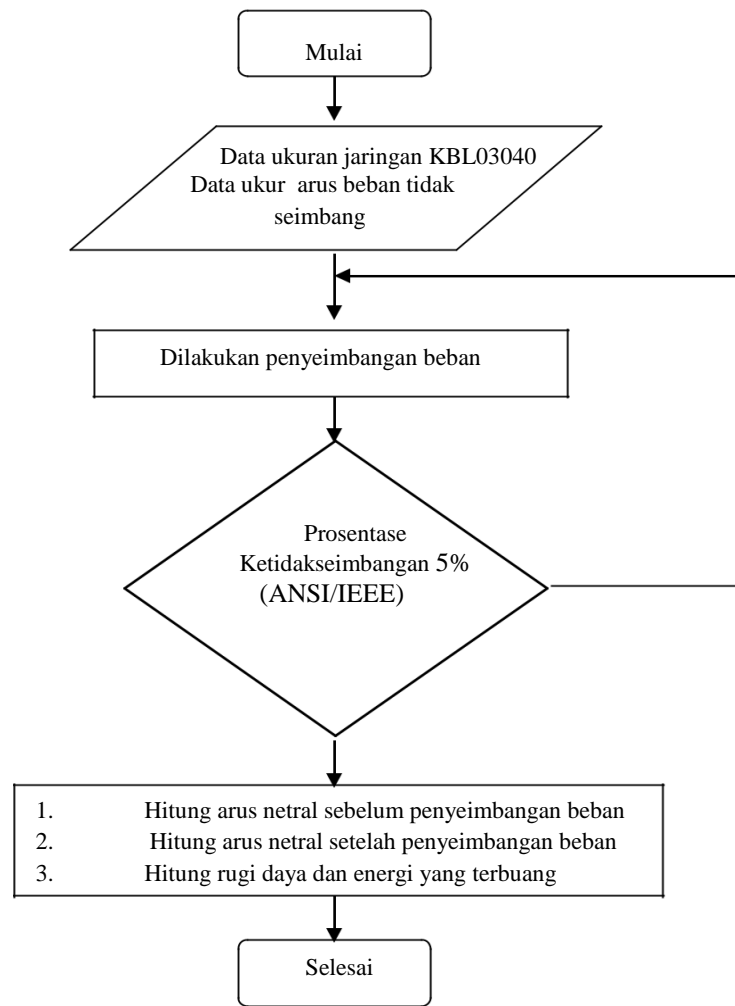
1. PENDAHULUAN

Pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pusat beban, hal ini mengakibatkan kerugian yang cukup besar dalam penyaluran daya listrik. Kerugian tersebut disebabkan oleh saluran yang cukup panjang. Sehingga dalam penyaluran daya listrik melalui transmisi maupun distribusi akan mengalami rugi-rugi daya dan tegangan sepanjang saluran yang dilalui. Salah satu dampak terjadinya rugi daya dan tegangan yang besar diantaranya karena panjang saluran dan faktor ketidakseimbangan beban. Secara umum penyebab terjadi beban tidak seimbang karena faktor beban satu fase pada sistem distribusi jaringan tegangan rendah. Hal ini dialami pada PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota, khususnya di jaringan distribusi tegangan rendah KBL03040 terjadi pada kawat netral berarus melebihi 60 ampere.

Rugi daya dan tegangan yang besar dapat menyebabkan efisiensi kinerja trafo distribusi kurang optimal. Oleh karenanya PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota selalu berupaya untuk melakukan penyeimbangan beban disisi penerima tenaga listrik bagian akhir agar dapat membantu keseimbangan penyulang pada masing – masing fasenya, walaupun dalam kenyataannya agak sukar untuk dilakukan, tetapi dapat meminimalkan faktor faktor ketidakseimbangan tersebut. Atas dasar kondisi tersebut peneliti mengambil judul “Penyeimbangan Beban Trafo Distribusi 3 Fasa Pada Jaringan Tegangan Rendah [Studi Kasus PT.PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota]”.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah AVO Meter, Tang Ampere, Tang potong, APD (Alat Pelindung Diri), Penjepit/connector, Obeng, Komputer, Data ukur kondisi sebelum dilaksanakan penyeimbangan beban arus masing – masing fase pada jaringan tegangan rendah KBL03040 PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota, Data ukur kondisi setelah dilaksanakan penyeimbangan beban arus masing – masing fase pada jaringan tegangan rendah KBL03040 PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota, Data ukuran penghantar jaringan tegangan rendah KBL03040 PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota, Data kapasitas daya gardu distribusi KBL03040 dan data tegangan sekunder gardu distribusi KBL03040, dan Data ukuran penampang dan panjang jaringan KBL03040.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan – tahapan dalam penyelesaian penelitian terdiri atas tahapan awal, tahapan percobaan dan tahapan akhir.

2.1 Tahap awal

Tahap awal merupakan tahapan proses pengajuan judul untuk mendapatkan SK. Pembimbing dan mengajukan perijinan kepada PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota untuk melakukan percobaan pengukuran dilapangan.

2.2 Tahap pengukuran

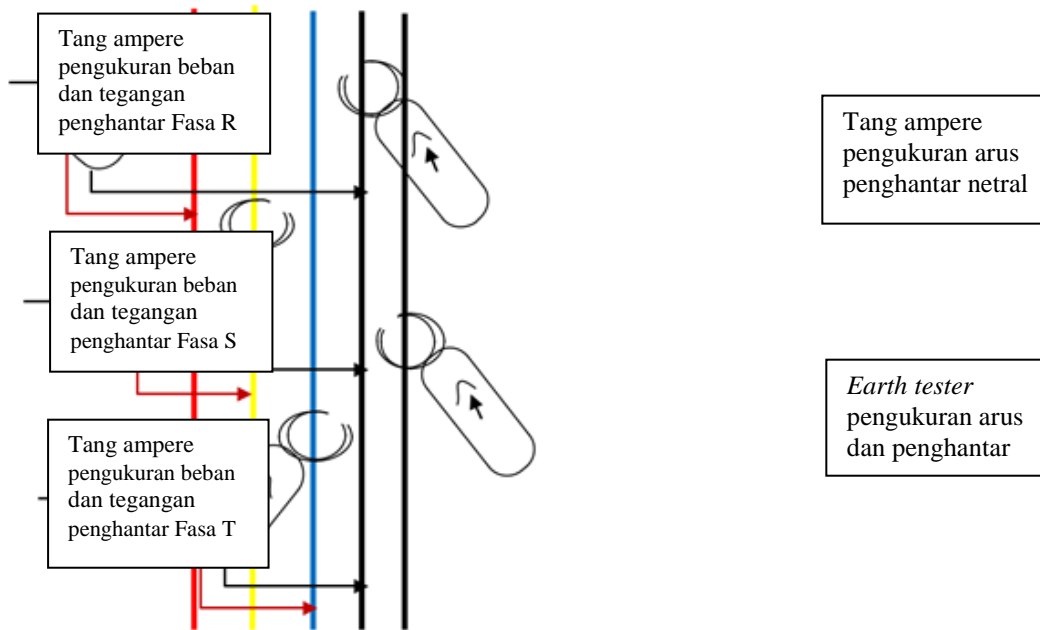
1. Tahap pengukuran yang dimaksud adalah melakukan pengukuran antara lain :
2. Melakukan pengukuran arus beban masing – masing fase sebelum dilakukan penyeimbangan beban.
3. Melakukan pengukuran arus beban masing – masing fase setelah dilakukan penyeimbangan beban.
4. Melakukan analisa dan pembahasan

2.3 Proses Penyeimbangan Beban Trafo Distribusi 3 Fasa

Terdapat dua metode dalam penyeimbangan beban trafo distribusi yaitu metode dua titik waktu dan metode SBS (Seimbang Beban Sehari). Penyeimbangan beban metode SBS adalah metode penyeimbangan beban yang dalam perancangannya sudah mempertimbangkan tingkat keseimbangan yang akan dicapai dalam rentang waktu 24 jam/sehari penuh. Untuk mencapai suatu tingkat keseimbangan yang baik untuk rentang waktu 24 bukanlah suatu hal yang mudah mengingat untuk mendapatkan tingkat keseimbangan pada satu titik waktu WBP sudah sulit. Dalam menggunakan metode SBS pengukuran sebelum dan sesudah beban diseimbangkan harus melakukan pengukuran beban selama rentang waktu 24 jam/sehari. Untuk pengukuran tersebut bisa menggunakan alat ukur power logger, sebuah alat yang bisa mengukur beban/ampere dari waktu ke waktu secara periodik. Pengukuran beban dengan menggunakan power logger dapat dilakukan di PHB (Panel Hubung Bagi). Karena keterbatasan peralatan yang berada di PT PLN (UP3) Purwokerto maka metode SBS tidak digunakan dalam melakukan penyeimbangan beban trafo distribusi.

Metode yang digunakan dalam penyeimbangan beban trafo distribusi adalah metode penyeimbangan beban berdasarkan dua titik waktu. Metode WBP dan LWBP merupakan metode penyeimbangan beban yang biasa digunakan. Pada metode ini jurusan penyulang tegangan rendah diukur beban tiap fasanya pada saat beban puncak dan luar beban puncak. Hasil pengukuran beban ini digunakan sebagai dasar penentuan besar beban yang akan dipindah dari fasa dengan beban tinggi ke fasa dengan beban yang lebih rendah. Pada pelaksanaan penyeimbangan beban dilapangan dengan menggunakan metode WBP dan LWBP dilakukan beberapa langkah dengan urutan sebagai berikut:

- a. Mengukur besarnya beban/ampere per fasa pada waktu beban puncak di PHB TR. Pada PHB TR besaran yang diukur adalah arus beban, tegangan, arus ground, faktor daya dan tahanan tanah. Gambar yang menjelaskan tentang diagram pengawatan pengukuran beban dan tegangan gardu distribusi ditunjukkan pada Gambar 3.2.
- b. Menghitung nilai rata – rata dari besarnya ampere waktu beban puncak ketiga fasa R – S – T untuk menentukan nilai beban/ampere yang akan dituju sebagai acuan nilai ideal kondisi seimbang.]
- c. Mengacu pada nilai rata – rata pada langkah b, selanjutnya menentukan fasa mana yang akan dikurangi atau ditambah bebannya beserta nilai ampere waktu beban puncak yang harus dipindahkan.
- d. Ditentukan suatu nilai kesetaraan tertentu antara besarnya daya tersambung pelanggan dengan ampere yang dipergunakan pada waktu beban puncak. Nilai perkiraan kesetaraan tidak ada acuan pasti tetapi tergantung perkiraan petugas lapangan saat itu.
- e. Dari nilai ampere waktu beban puncak yang harus dipindahkan pada Langkah dan nilai kesetaraan langkah d selanjutnya menentukan atau mencari beberapa pelanggan yang akan dipindahkan yang amperenya bisa mewakili sejumlah nilai ampere waktu beban puncak yang harus dipindahkan tersebut.
- e. Eksekusi pemindahan pelanggan.
- f. Eksekusi yang dilakukan dalam pemindahan beban di gardu distribusi KBL03040 adalah dengan memindahkan beban pelanggan 50 A dari fasa S ke R.



Gambar 2. Diagram pengawatan pengukuran beban dan tegangan gardu distribusi

2.4 Pelaksanaan pengukuran sebelum dan setelah dilakukan penyeimbangan beban

Pelaksanaan pengukuran dengan cara melakukan pengukuran arus beban pada masing-masing fase di jaringan KBL03040 PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota. Adapun pelaksanaan pengukuran tersebut diberikan pada dokumen foto terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Dokumentasi pelaksanaan pengukuran sebelum dan setelah penyeimbangan beban.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Maksud dari hasil penelitian adalah hasil pelaksanaan pengukuran arus beban baik sebelum dilakukan penyeimbangan beban maupun setelah penyeimbangan beban, seperti dijelaskan sebagai berikut:

3.1. Data ukur sebelum dilakukan penyeimbangan beban

Pelaksanaan pengukuran sebelum dilakukan penyeimbangan beban yaitu dalam kondisi beban siang hari maupun beban malam hari. Adapun yang diukur adalah besaran daya semu dalam KVA, tegangan antar fasa, tegangan fasa netral dan arus masing – masing fasa yaitu fasa R, S dan fasa T. Hasil pengukuran didapat seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran sebelum dilakukan penyeimbangan beban

Fasa	S (kVA)	I (A)	V _{F-F} (V)	V _{F-N} (V)	Cos ϕ
Pengukuran pada siang hari					
R	14,02	34,8	403	230	0,82
S	49,62	125	397	229,9	0,87
T	24,39	61,7	398	229,7	0,80
Pengukuran pada malam hari					
R	16,08	40,2	400	230	0,78
S	54,38	137	397	229	0,88
T	27,1	68,3	398	228	0,83

3.2. Data ukur setelah dilakukan penyeimbangan beban

Pelaksanaan pengukuran setelah dilakukan penyeimbangan beban yaitu dalam kondisi beban siang hari maupun beban malam hari. Adapun yang diukur adalah besaran daya semu dalam KVA, tegangan antar fasa, tegangan fasa netral dan arus masing – masing fasa yaitu fasa R, S dan fasa T. Hasil pengukuran didapat seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran setelah dilakukan penyeimbangan beban

Fasa	S (kVA)	I (A)	V _{F-F} (V)	V _{F-N} (V)	Cos ϕ
Pengukuran pada siang hari					
R	31,51	60,6	401	229	0,82
S	38,03	96,3	395	229	0,81
T	23,99	60,6	396	228	0,82
Pengukuran pada malam hari					
R	23,39	60,1	401	229	0,82
S	40,36	102,2	395	229	0,80
T	26,96	68,1	396	228	0,82

3.3 Data kapasitas gardu distribuis dan ukuran penghantar jaringan KBL03040 PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota

Gardu distribuis atau sering disebut sebagai trafo distribuis yang terletak pada jaringan tegangan rendah KBL03040 memiliki kapasitas daya sebesar 100 KVA. Secara rinci spesifikasi trafo distribusi tersebut diberikan pada tabel 3 dan data penghantar yang digunakan diberikan pada tabel 4.

Tabel 3. Data spesifikasi trafo distribusi pada jaringan KBL03040

No	Nama Pengenal	Nilai Spesifikasi
1	Merk	Schneider
2	Daya	100 kVA
3	Tegangan Primer	20.000 V
4	Tegangan Skunder	400 V
5	Tahun Produksi	2012
6	Arus Primer	2,8 A
7	Arus Skunder	152,11 A
8	Impedansi	4%
9	Frekuensi Pengenal	50 Hz
10	Aresster	3 Buah
11	Fuse Cut Out	3 Buah
12	Jurusan LVCB	2 Jurusan

Tabel 3. Data spesifikasi penghantar pada jaringan KBL03040

No	Fase	Jenis Penghantar	Panjang (km)	Resistan Penghantar (Ohm/km)	Reaktans Penghantar (Ohm/km)
1	R	AAAC	0,7	0,4608	j 0,3572
2	S	AAAC	0,7	0,4608	j 0,3572
3	T	AAAC	0,7	0,4608	j 0,3572
4	N	AAC	0,7	0,6088	j 1,6447

3.4. Perhitungan arus netral sebelum penyeimbangan beban

Hasil pengukuran arus beban sebelum dilakukan penyeimbangan beban pada fase R, S dan T didapat sebagai berikut :

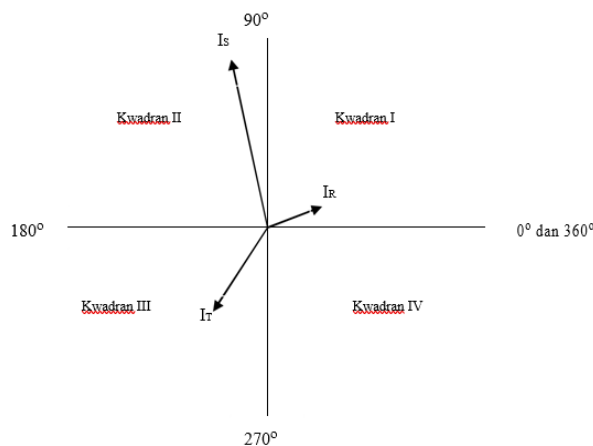
A. Beban siang hari

Fase R : 34,8 Ampere dengan $Pf = 0,82$ maka $ar \cos 0,82 = 34,91^0$ (kwadran I)

Fase S : 125 Ampere dengan $Pf = 0,87$ maka $ar \cos 0,87 = 119,54^0$ (kwadran II)

Fase T : 61,7 Ampere dengan $pf = 0,8$ maka $ar \cos 0,8 = 233,13^0$ (kwadran III)

Penjelasan letak kwadran pada gambar 4 berikut :



Gambar 4. Letak kwadran

Kwadrant I : $34,91^\circ$

Kwadrant II : $(90^\circ + 29,54^\circ = 119,54^\circ)$

Kwadrant III : $(270^\circ + 36,87^\circ = 233,13^\circ)$

Maka besarnya nilai arus netral yang terjadi dihitung

I

$$I_N = I_R \angle 34,91^\circ + I_S \angle 119,54^\circ + I_T \angle 233,13^\circ \quad (1)$$

I

$$I_N = 34,8 \angle 34,91^\circ + 125 \angle 119,54^\circ + 61,7 \angle 233,13^\circ$$

$$I_R \angle 34,91^\circ = 34,8(\cos 34,91^\circ + j \sin 34,91^\circ) = 34,8 \times 0,82 + 34,8 j 0,57 \text{ Ampere}$$

$$I_R \angle 34,91^\circ = 28,536 + j 19,836 \text{ Ampere}$$

$$I_S \angle 119,54^\circ = 125(\cos 119,54^\circ + j \sin 119,54^\circ) = -61,63 + j 108,75 \text{ Ampere}$$

$$I_T \angle 233,13^\circ = 61,7(\cos 233,13^\circ + j \sin 233,13^\circ) = -49,36 - j 49,36 \text{ Ampere}$$

$$I_N = 28,536 + j 19,836 - 61,63 + j 108,75 - 49,36 - j 49,36 = -70,114 + j 79,226$$

Ampere I_N

$$= \sqrt{-70,114^2 + 79,226^2} \angle \arctan\left(\frac{79,226}{70,114}\right) = 36,89 \angle -48,49^\circ \text{ Ampere}$$

B. Beban malam hari

Fase R: 40,2 Ampere dengan $\text{Pf} = 0,78$ maka $\text{ar} \cos 0,78 = 38,74^\circ$ (kwadrant I)

Fase S: 137 Ampere dengan $\text{Pf} = 0,88$ maka $\text{ar} \cos 0,88 = 118,36^\circ$ (kwadrant II)

Fase T: 68,3 Ampere dengan $\text{Pf} = 0,83$ maka $\text{ar} \cos 0,83 = 236,1^\circ$ (kwadrant III)

Maka besarnya nilai arus netral yang terjadi dihitung mengacu pada persamaan (1)

$$I_N = I_R \angle 38,74^\circ + I_S \angle 118,36^\circ + I_T \angle 236,1^\circ$$

$$I_N = 40,2 \angle 38,74^\circ + 137 \angle 118,36^\circ + 68,3 \angle 236,1^\circ$$

$$I_R \angle 38,74^\circ = 40,2(\cos 38,74^\circ + j \sin 38,74^\circ) = 31,37 + j 25,16 \text{ Ampere}$$

$$I_S \angle 118,36^\circ = 137(\cos 118,36^\circ + j \sin 118,36^\circ) = -65,08 + j 120,56 \text{ Ampere}$$

$$I_T \angle 236,1^\circ = 68,3(\cos 236,1^\circ + j \sin 236,1^\circ) = -38,1 - j 56,7 \text{ Ampere}$$

$$I_N = 31,37 + j 25,16 - 65,08 + j 120,56 - 38,1 - j 56,7 = -71,81 + j 89,02 \text{ Ampere}$$

$$= \sqrt{-71,81^2 + 89,02^2} \angle \arctan\left(\frac{89,02}{71,81}\right) = 52,61 \angle -51,1^\circ \text{ Ampere}$$

3.5. Perhitungan arus netral setelah penyeimbangan beban

Hasil pengukuran arus beban setelah dilakukan penyeimbangan beban pada fase R, S dan T didapat sebagai berikut :

A. Beban siang hari

Fase R : 60,6 Ampere dengan $\text{Pf} = 0,82$ maka $\text{ar} \cos 0,82 = 34,92^\circ$ (kwadrant I)

Fase S : 96,3 Ampere dengan $\text{Pf} = 0,81$ maka $\text{ar} \cos 0,81 = 125,9^\circ$ (kwadrant II)

Fase T : 60,6 Ampere dengan $\text{pf} = 0,82$ maka $\text{ar} \cos 0,82 = 235,1^\circ$ (kwadrant III)

Maka besarnya nilai arus netral yang terjadi dihitung mengacu pada persamaan (1)

$$I_N = I_R \angle 34,92^\circ + I_S \angle 125,9^\circ + I_T \angle 235,1^\circ$$

$$I_N = 34,8 \angle 34,92^\circ + 125 \angle 125,9^\circ + 61,7 \angle 235,1^\circ$$

$$\begin{aligned}
 I_R \angle 34,92^\circ &= 34,8(\cos 34,92^\circ + j \sin 34,92^\circ) = 28,853 + j19,92 \text{ Ampere} \\
 I_S \angle 125,9^\circ &= 125(\cos 125,9^\circ + j \sin 125,9^\circ) = -73,3 + j101,26 \text{ Ampere} \\
 I_T \angle 235,1^\circ &= 61,7(\cos 235,1^\circ + j \sin 235,1^\circ) = -35,3 - j50,6 \text{ Ampere} \\
 I_N &= 28,853 + j19,92 - 73,3 + j101,26 - 35,3 - j50,6 = -79,75 + j70,58 \text{ Ampere} \\
 I_N &= \sqrt{-79,75^2 + 70,58^2} \angle \arctan(79,75^{70,58}) = 37,1288 \angle -41,51^\circ \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

B. Beban malam hari

Fase R : 60,1 Ampere dengan Pf = 0,82 maka $\ar \cos 0,82 = 34,9^\circ$

Fase S : 102,2 Ampere dengan Pf = 0,8 maka $\ar \cos 0,8 = 126,87^\circ$ (kwadran II)

Fase T : 68,1 Ampere dengan Pf = 0,82 maka $\ar \cos 0,82 = 235,1^\circ$ (kwadran III)

Maka besarnya nilai arus netral yang terjadi dihitung mengacu pada persamaan (1)

$$\begin{aligned}
 I_N &= I_R \angle 34,9^\circ + I_S \angle 126,87^\circ + I_T \angle 235,1^\circ \\
 I_N &= 40,2 \angle 34,9^\circ + 137 \angle 126,87^\circ + 68,1 \angle 235,1^\circ \\
 I_R \angle 34,9^\circ &= 40,2(\cos 34,9^\circ + j \sin 34,9^\circ) = 32,97 + j23 \text{ Ampere} \\
 I_S \angle 126,87^\circ &= 137(\cos 126,87^\circ + j \sin 126,87^\circ) = -82,2 + j109,6 \text{ Ampere} \\
 I_T \angle 235,1^\circ &= 68,1(\cos 235,1^\circ + j \sin 235,1^\circ) = -38,96 - j55,85 \text{ Ampere} \\
 I_N &= 32,97 + j23 - 82,2 + j109,6 - 38,96 - j55,85 = -88,19 + j76,75 \text{ Ampere} \\
 I_N &= \sqrt{-88,19^2 + 76,75^2} \angle \arctan(76,75^{88,19}) = 43,44 \angle -41^\circ \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan arus netral sebelum maupun sesudah penyeimbangan beban diberikan pada tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil perhitungan arus netral

Kondisi Beban	Sebelum	Sesudah
Siang	36,89 ∠ - 48,49° A	37,1288 ∠ - 41,51° A
Malam	52,61 ∠ - 51,1° A	43,44 ∠ - 41° A

3.6. Rugi daya dan energi listrik sebelum dilakukan penyeimbangan beban

Besarnya

$$P_{Loses (N)} = I_N^2 \times R_N \times l \tag{2}$$

sedangkan rugi energi akibat ketidakseimbangan beban menggunakan yaitu :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)} \tag{3}$$

Hasil perhitungan rugi daya dan energi listrik sebelum dilakukan penyeimbangan beban fase R, S dan T sebagai berikut :

A. Rugi daya kondisi pembebanan siang hari

$$P_{Loses (N)} = I_N^2 \times R_N \times l$$

$$P_{Loses (N)} = (36,89 \angle - 48,49^\circ)^2 \times 0,6088 \text{ km} \times 0,7 \text{ km}$$

$$P_{Loses (N)} = [36,89(\cos - 48,49^\circ + j \sin - 48,49^\circ)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [36,89(0,663 - j0,75)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [36,89(\sqrt{0,663^2 + 0,75^2})]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [36,89(1,001)]^2 \times 0,6088 \times 0,7 = 580,55 \text{ Watt}$$

B. Rugi daya kondisi pembebanan malam hari

$$P_{Loses (N)} = I_N^2 \times R_N \times l$$

$$P_{Loses (N)} = (52,61 \angle -51,1^\circ)^2 \times 0,6088 \text{ km}^{\Omega} \times 0,7 \text{ km}$$

$$P_{Loses (N)} = [52,61(\cos - 51,1^\circ + j \sin - 51,1^\circ)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [52,61(0,628 - j0,778)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [52,61(\sqrt{0,628^2 + 0,778^2})]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [52,61(0,9998)]^2 \times 0,6088 \times 0,7 = 1179,335 \text{ Watt}$$

C. Rugi energi kondisi pembebanan siang hari

1. Rugi energi dalam 1 hari :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)}$$

$$W_{Loses (N)} = 580,55 \times 24 \text{ jam} = 13933,2 \text{ WH} \approx 13,9332 \text{ kWh}$$

2. Rugi energi dalam 1 tahun :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)}$$

$$W_{Loses (N)} = 580,55 \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \times 12 \text{ bulan} = 5016 \text{ kWh} \approx 5 \text{ MWH}$$

D. Rugi energi kondisi pembebanan malam hari

1. Rugi energi dalam 1 hari :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)} \quad W_{Loses (N)} = 1179,335 \times 24$$

$$\text{jam} = 13933,2 \text{ WH} \approx 28,3 \text{ kWh}$$

2. Rugi energi dalam 1 tahun :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)}$$

$$W_{Loses (N)} = 1179,335 \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \times 12 \text{ bulan} = 10189 \text{ kWh} \approx 10,189 \text{ MWH}$$

3.7. Rugi daya dan energi listrik setelah dilakukan penyeimbangan beban

Hasil perhitungan rugi daya dan energi listrik setelah dilakukan penyeimbangan beban fase R, S dan T sebagai berikut :

A. Rugi daya kondisi pembebanan siang hari

$$P_{Loses (N)} = I_N^2 \times R_N \times l$$

$$P_{Loses (N)} = (37,1288 \angle -41,51^\circ)^2 \times 0,6088 \text{ km}^{\Omega} \times 0,7 \text{ km}$$

$$P_{Loses (N)} = [37,1288(\cos - 41,51^\circ + j \sin - 41,51^\circ)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [37,1288(0,7488 - j0,663)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [37,1288(\sqrt{0,7488^2 + 0,663^2})]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [37,128(1,000135)]^2 \times 0,6088 \times 0,7 = 587,536 \text{ Watt}$$

B. Rugi daya kondisi pembebanan malam hari

$$P_{Loses (N)} = I_N^2 \times R_N \times l$$

$$P_{Loses (N)} = (43,44 \angle -41^\circ)^2 \times 0,6088 \text{ km} \times 0,7 \text{ km}$$

$$P_{Loses (N)} = [43,44(\cos -41^\circ + j \sin -41^\circ)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [43,44(0,7547 - j0,656)]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [43,44(\sqrt{0,7547^2 + 0,656^2})]^2 \times 0,6088 \times 0,7$$

$$P_{Loses (N)} = [43,44(0,999954)]^2 \times 0,6088 \times 0,7 = 804,1413 \text{ Watt}$$

C. Rugi energi kondisi pembebanan siang hari

1. Rugi energi dalam 1 hari :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)}$$

$$W_{Loses (N)} = 587,536 \times 24 \text{ jam} = WH \approx 14,1 \text{ kWh}$$

2. Rugi energi dalam 1 tahun :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)}$$

$$W_{Loses (N)} = 587,536 \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \times 12 \text{ bulan} = 5076 \text{ kWh} \approx 5 \text{ MWh}$$

D. Rugi energi kondisi pembebanan malam hari

1. Rugi energi dalam 1 hari :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)}$$

$$W_{Loses (N)} = 804,1413 \times 24 \text{ jam} = 19299,4 \text{ WH} \approx 19,3 \text{ kWh}$$

2. Rugi energi dalam 1 tahun :

$$W_{Loses (N)} = P_{Loses (N)} \times \text{Lama penggunaan energi (jam)}$$

$$W_{Loses (N)} = 804,1413 \times 24 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \times 12 \text{ bulan} = 6947,78 \text{ kWh} \approx 6,95 \text{ MWh}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan rugi daya dan energi listrik baik sebelum maupun sesudah perbaikan diberikan pada tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 6. Perbandingan rugi daya sebelum dan sesudah penyeimbangan beban

Kondisi	Sebelum (kW)	Sesudah (kW)	Deviasi (%)
Siang	0,58	0,587	-1,2
Malam	1,18	0,804	31,86
Selisih penurunan rugi daya			30,66

Tabel 7. Perbandingan rugi energi sebelum dan sesudah penyeimbangan beban

Kondisi	Lama Pemakaian	Sebelum (MWh)	Sesudah (MWh)	Deviasi (%) (Hari)	Deviasi (%) (Tahun)

Siang	1 hari	0,01393	0,0141	-1,22	
	1 tahun	5	5		0
Malam	1 hari	0,0283	0,0193	31,8	
	1 tahun	10,189	6,95		31,79
Selisih penurunan rugi energi				30,58	31,79

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisa maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya adalah:

1. Beban satu fasa merupakan sumber penyebab terjadinya ketidakseimbangan arus yang mengalis pada sistem kelistrikan tiga fasa.
2. Rugi daya yang terbuang akibat beban tak seimbang sebelum dilakukan penyeimbangan pada jaringan distribusi KBL03040 mencapai tertinggi di penghantar netral 1,18 kW, maka dengan pada rugi daya tersebut PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota mengalami kerugian energi yang tidak terjual selama satu tahun sebesar 10,189 MWH.
3. Rugi daya yang terbuang akibat beban tak seimbang setelah dilakukan penyeimbangan pada jaringan distribusi KBL03040 mencapai tertinggi di penghantar netral 0,804 kW, maka dengan pada rugi daya tersebut PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota mengalami kerugian energi yang tidak terjual selama satu tahun sebesar 6,95 MWH.
4. Dengan dilakukannya penyeimbangan beban, walaupun faktanya beban fase R, S dan T jaringan KBL0304 masih terjadi tidak seimbang. Hal ini karena faktor konsumen yang selalu berubah dalam pemanfaatan energi listrik, tetapi dengan adanya penyeimbangan beban dapat menurunkan rugi daya dan energi listrik mencapai 30,66%.

5. SARAN

Saran yang dapat diajukan demi untuk memperbaiki sistem pembebanan yang seimbang, maka diperlukan analisis karakteristik data pembebanan jaringan distribusi tiga fase dengan sampel data beban pengukuran rutin, sehingga pihak PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota lebih teliti dalam pelaksanaan penyeimbangan beban di masing – masing jaringan distribusi tiga fase.

DAFTAR PUSTAKA

- Hamles Leonardo Latupeirissa, 2017**, Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi, Jurnal Simetrik, Vol.7 No.2, 2017
- Markus Dwiyanto TS, ST., MT, 2018**, 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 Juli 2018
- Nolki Jonal Hontong, 2015**, Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu, E-Journal Teknik Elektro dan Komputer (2015), ISSN . 2301-8402
- Putu Weda Suryawan, 2018**, Analisis Penyeimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Menggunakan Metode Fuzzy, Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 17, No. 1, Januari - April 2018

Yoakim Simamora, 2014, Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah, Jurnal Singuda Ensikom, Vol. 7 No. 3/ Juni 2014

Zuraidah Tharo, 2018, Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik, RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro