

Penyeimbangan Beban pada Trafo Distribusi Penyulang Akkarena di Unit Layanan Pelanggan Mattoanging PT PLN (Persero)

Sarwo Pranoto¹⁾, Sofyan²⁾, Nadya Natasya Rusli³⁾

¹ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Teknik Negeri Ujung Pandang
sarwo.pranoto@gmail.com

² Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Teknik Negeri Ujung Pandang
Sofyantato.pnup@gmail.com

³ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Teknik Negeri Ujung Pandang
nadyanatasyar@gmail.com

Abstrak

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik, sering terjadi pembagian beban yang tidak merata antar fasa-nya. Hal ini terutama disebabkan karena pola penyambungan Sambungan Rumah (SR) pelanggan 1 fasa, pada proses sambung baru tidak memperhatikan kondisi beban fasa pada gardu distribusi tersebut. Hal ini akan menyebabkan ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa yang menyebabkan mengalirnya arus pada netral transformator, dan menimbulkan rugi-rugi pada transformator sehingga kemampuannya dalam melayani beban menurun. Transformator dapat bekerja secara optimal bila ketidakseimbangan yang terjadi kurang dari 20%. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara penyeimbangan beban terhadap ketidakseimbangan beban dan rugi transformator yang terjadi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode literatur, metode observasi, dan metode wawancara. Hasil Penelitian menunjukkan setelah dilakukan penyeimbangan beban, persentase ketidakseimbangan pada GT.MAR007 berubah dari 21% menjadi 11%, dan pada GT.MAR046 berubah dari 29% menjadi 11%. Sedangkan, persentase arus netral pada GT.MAR007 berubah dari 40% menjadi 30% dan pada berubah dari 33% menjadi 27%. Setelah dilakukan penyeimbangan beban, total nilai rugi energi pada GT.MAR007 berubah dari 1.242,18 kWh/bulan menjadi 598,41 kWh/bulan dan pada GT.MAR046 berubah dari 66,78 kWh/bulan menjadi 34,02 kWh/bulan. Hal ini bila dirupiahkan maka menyelamatkan rupiah sebesar Rp 809.050,32 (900 VA) dan Rp 878.035,03 (>1300 VA) untuk GT.MAR007. Dan pada GT.MAR046, menyelamatkan rupiah sebesar Rp 45.995,04 (900 VA) dan Rp 49.916,87 (>1300 VA). Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah kegiatan penyeimbangan beban ini dapat menurunkan persentase ketidakseimbangan beban begitu pula dengan besar arus netral yang mengalir pada transformator sehingga dapat menurunkan nilai rugi energy yang terjadi.

Keywords: Ketidakseimbangan Beban, Penyeimbangan Beban, Rugi Energi.

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan dengan pemakai energi listrik. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban yang tidak merata antar setiap fasa-nya. Hal ini terutama disebabkan karena pola penyambungan Sambungan Rumah (SR) pelanggan 1 fasa, pada proses sambung baru tidak memperhatikan kondisi beban fasa pada gardu distribusi tersebut. Hal ini apabila tidak ditangani akan menyebabkan pembebanan yang tidak seimbang pada transformator.

Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus pada netral transformator, dan arus netral inilah yang menimbulkan rugi-rugi pada transformator sehingga kemampuannya dalam melayani beban menurun. Bila ketidakseimbangan ini dibiarkan terus-menerus akan berdampak besar dan dapat merugikan

pihak PT. PLN (Persero) ataupun konsumen. Dengan melakukan penyeimbangan beban, dapat menurunkan arus netral dan meningkatkan penghematan energi (*energy savings*), sehingga transformator dapat bekerja secara optimal.

Adapun Transformator dikatakan tidak seimbang berdasarkan PLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) yaitu jika tingkat ketidakseimbangannya lebih dari 20%. Sementara di ULP Mattoanging PT. PLN (Persero) pada gardu GT.MAR007 dan GT.MAR046 di Penyulang Akkarena memiliki ketidakseimbangan diatas 20%. Oleh karena itu, dari penjelasan diatas penulis tertarik untuk membahas penyeimbangan beban pada gardu distribusi di Unit Layanan Pelanggan Mattoanging PT. PLN (Persero).

II. KAJIAN LITERATUR

A. Transformator

I.A. Tranformator Distribusi

Pada sistem distribusi sendiri, dikenal adanya transformator distribusi. Trafo distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi menengah 20 kV ke

tegangan distribusi 220/380 V sehingga dapat digunakan oleh pelanggan [1].

II.A Pembebanan Transformator

Pada transformator distribusi, ada 2 jenis tegangan, yaitu tegangan primer dan tegangan sekunder. Tegangan primer adalah tegangan nominal sistem jaringan tegangan menengah 20 kV, sedangkan tegangan sekunder pada keadaan tanpa beban adalah tegangan nominal sistem jaringan tegangan rendah yaitu 400 V [4].

Untuk beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \quad (1)$$

Dimana:

I_{FL} = arus beban penuh (A)
V = tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Untuk persentase pembebanan, menggunakan rumus:

$$\% I = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

$\% I$ = Persentase Pembebanan
 $I_{rata-rata}$ = Nilai arus rata-rata dari ketiga fasa (A)

Adapun nilai rata-rata beban RST:

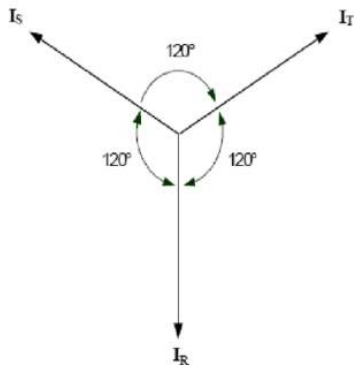
$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (3)$$

I_R = Arus pada fasa R (A)
 I_S = Arus pada fasa S (A)
 I_T = Arus pada fasa T (A)

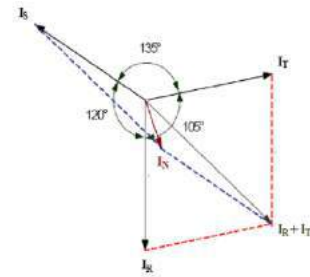
B. Ketidakseimbangan Beban

Beban tidak seimbang adalah masalah umum yang dihadapi pada sistem 3 fasa, hal ini diakibatkan karena yang mendominasi adalah pelanggan 1 fasa dari pada pelanggan 3 fasa. Walaupun demikian dengan banyaknya pelanggan 3 fasa tetap tidak menjamin keseimbangan fasa. Apabila terjadi ketidakseimbangan beban pada sistem 3 fasa maka kawat netral akan dialiri arus dan perbedaan sudut beban per fasa adalah tidak sama dengan 120° beban transformator yang tidak seimbang akan muncul arus netral [6].

Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan dengan vektor diagram arus pada gambar 1.



Gambar 1. Vektor Diagram Arus Dalam Keadaan Seimbang



Gambar 2. Vektor Digram Arus Dalam Keadaan Tidak Seimbang

Gambar 1 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang, terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada gambar 2 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang, terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral karena faktor ketidakseimbangannya [5]. Sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PT. PLN persentase ketidakseimbangan sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 1. Standar beban trafo menurut Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 17 Tahun 2014

Characteristic Group	Characteristic	Health Index			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Load Reading and Profiling	Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa	<10%	10%-<20%	20%-<25%	≥ 25%
	Besar arus netral TR (% Terhadap arus beban trafo)	<10%	10%-<20%	15%-<20%	≥ 20%
	Pembebanan Trafo (% terhadap kapasitas)	<60%	60%-<80%	80%-<100%	≥ 100%

Dalam menentukan persentase ketidakseimbangan beban, maka terlebih dahulu dicari koefisien keseimbangan dimana:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (4)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (5)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (6)$$

Dimana:

a = Koefisien R

b = Koefisien S

c = Koefisien T

Adapun persentase beban tidak seimbang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

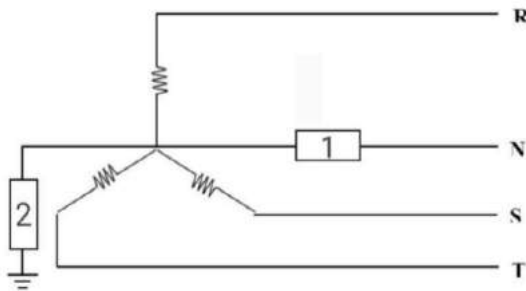
Adapun persentase I_N terhadap arus beban dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\%I_N = \frac{I_N}{\text{Arus beban Tertinggi}} \times 100(\%) \quad (8)$$

Dimana:

$\%I_{Unbalance}$ = persentase beban tidak seimbang
 $\%I_N$ = Persentase arus netral
 I_N = arus netral

Karena adanya arus yang mengalir pada netral transformator akibat ketidakseimbangan beban, maka akan timbul rugi-rugi (*losses*). Berikut ini gambar 2 yang menjelaskan bagian mana saja yang menjadi titik timbulnya rugi energi [10].



Gambar 3. Titik Susut Energi

Proses penyeimbangan beban transformator pada dasarnya memiliki tujuan untuk memperkecil nilai arus yang mengalir pada titik (1) dan (2). (1) Susut energi akibat tahanan kawat penghantar dan (2) Susut energi akibat tahanan pembumihan. Jika dihantaran pentanahan netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada trafo tidak seimbang. Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral (1) sebesar:

$$P_N = I_N^2 R_N \quad (9)$$

Dimana:

$$R_N = \rho \frac{l}{A} \quad (10)$$

Dengan:

P_N = Rugi yang timbul pada penghantar netral (watt)
 I_N = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)
 R_N = Tahanan pada kawat netral (Ohm)
 ρ = Tahanan Jenis penghantar ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
 l = Panjang penghantar (m)
 A = Luas penampang penghantar (mm^2)

Kemudian rugi energi yang diakibatkan karena arus netral dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$W_N = P_N \cdot t \quad (11)$$

Dengan:

W_N = Rugi Energi penghantar netral (kWh)
 P_N = Rugi daya penghantar netral (kW)
 t = Waktu (jam)

D. Penyeimbangan Beban

I.D. Metode Waktu Beban Puncak

Metode penyeimbangan beban berdasar pada beban puncak merupakan metode penyeimbangan beban yang biasa digunakan. Hal ini dipilih karena nilai beban pada waktu tersebut lebih besar. Hasil pengukuran beban ini digunakan sebagai dasar penentuan besar beban yang akan dipindah dari fase dengan beban tinggi ke fase dengan beban yang lebih rendah [2].

Pada pelaksanaan penyeimbangan beban metode WBP dilakukan beberapa langkah dengan urutan seperti berikut:

- Mengukur besarnya beban/ampere per fase pada WBP.
- Menghitung nilai rata-rata dari besarnya ampere WBP ketiga fase R, S, dan T untuk menentukan nilai beban/ampere yang akan dituju sebagai acuan nilai ideal kondisi “seimbang” dengan menggunakan persamaan (4).
- Mengacu pada nilai rata-rata butir (a) ditentukan fase mana yang akan dikurangi/ditambahkan bebannya beserta nilai ampere WBP yang harus dipindahkan dengan cara mencari selisih arus tiap fase dengan arus rata-rata

$$I'_R = I_R - I_{\text{rata-rata}} \quad (12)$$

$$I'_S = I_S - I_{\text{rata-rata}} \quad (13)$$

$$I'_T = I_T - I_{\text{rata-rata}} \quad (14)$$

Dimana:

I'_R = Selisih antara arus R dengan arus rata-rata

I'_S = Selisih antara arus S dengan arus rata-rata

I'_T = Selisih antara arus T dengan arus rata-rata

Dengan syarat:

- Jika hasil negatif maka beban akan ditambahkan
- Jika hasil positif maka beban akan dipindahkan
- Ditentukan suatu nilai kesetaraan tertentu antara besarnya daya tersambung pelanggan dengan ampere yang dipergunakan pada WBP. Nilai perkiraan kesetaraan tidak ada acuan pasti tetapi tergantung perkiraan si petugas lapangan saat itu.
- Dari nilai ampere WBP yang harus dipindahkan pada butir (c) dan nilai kesetaraan butir (d) lalu ditentukan/dicari beberapa pelanggan yang akan dipindahkan yang amperenya bisa mewakili sejumlah nilai ampere WBP yang harus dipindahkan tersebut.
- Eksekusi pemindahan pelanggan (manuver arus).
- Pengukuran hasil keseimbangan WBP. Bila hasilnya sudah baik maka pekerjaan penyeimbangan beban selesai, akan tetapi bila hasilnya belum mencapai nilai yang diinginkan (memuaskan) maka pekerjaan penyeimbangan beban akan diulangi lagi mulai dari langkah awal.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di trafo distribusi GT.MAR007 Penyulang Akkarena PT.PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Mattoanging yang beralamat di Jl. Monginsidi No.2 Makassar yang dimulai dari tanggal 8 Januari 2020 – 19 Juni 2020.

B. Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

I.B. Metode Literatur

Metode Literatur dimaksudkan untuk mempelajari referensi melalui buku, jurnal, halaman web, dan juga catatan atau dokumen yang berkaitan dengan laporan tugas akhir ini.

II.B. Metode Observasi

Pengambilan data-data teknis dengan metode observasi (pengamatan langsung) dilakukan secara langsung ke lapangan dengan mengukur gardu pada saat Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yang kemungkinan terjadi ketidakseimbangan beban.

III.B. Metode Wawancara

Penulis melakukan tanya jawab dengan berbagai pihak yang memahami masalah sistem ketenagalistrikan yang berkaitan dengan kasus yang akan dikaji, dalam hal ini penulis melakukan wawancara dengan Staff Teknik, Supervisor Teknik dan Mitra Kerja Unit Layanan Pelanggan Mattoanging.

C. Prosedur Penelitian

Berikut adalah prosedur yang akan digunakan:

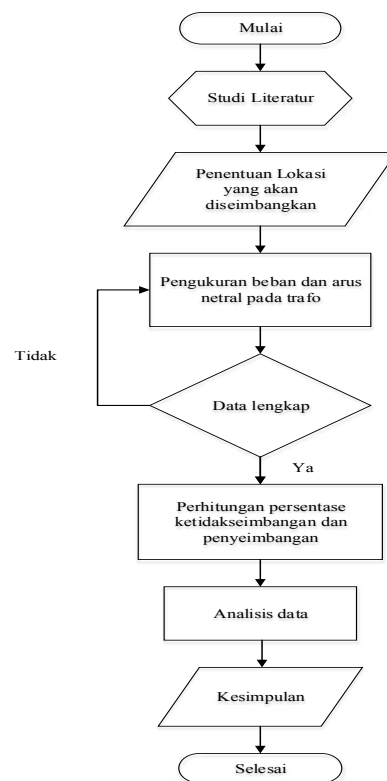
1. Mempelajari mengenai transformator distribusi serta pengaruh ketidakseimbangan beban tiap fasa pada transformator dari berbagai referensi dan mewawancarai staf divisi teknik PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Mattoanging.
2. Menentukan lokasi trafo distribusi yang akan diseimbangkan.
3. Mengumpulkan data-data dari PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Mattoanging. Data-data yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini adalah data pengukuran beban yang dilakukan secara langsung di lapangan pada trafo distribusi menggunakan alat yang bernama *Tang Ampere*, berupa pengukuran beban tiap fasanya dan arus yang mengalir pada penghantar netral.
4. Berdasarkan data yang didapatkan, mencari nilai persentase ketidakseimbangan beban pada rangkaian transformator dengan menggunakan persamaan (8).
5. Melakukan rencana penyeimbangan beban.
6. Mengukur kembali beban tiap fasanya dan arus pada netral setelah dilakukan penyeimbangan dan menalisis data yang didapatkan.

7. Menarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan sehingga rumusan masalah dari kegiatan dapat tercapai.

D. Teknik Analisis Data

Setelah semua data diperoleh, selanjutnya data tersebut dihitung berdasarkan perhitungan yang telah ditentukan dan kemudian di analisis. Perhitungan dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan persentase ketidakseimbangan, persentase arus netral terhadap beban, rencana penyeimbangan, dan rugi-rugi yang terjadi baik sebelum maupun setelah dilakukan penyeimbangan beban. Sedangkan, analisa data dilakukan untuk memahami data yang diperoleh dari proses pengumpulan data.

E. Bagan Alir



Gambar 4. Flowchart Prosedur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Gardu Distribusi Sebelum Diseimbangkan

I.A. GT.MAR007

Gardu GT.MAR007 berkapasitas 200 kVA yang disuplai dari Penyulang Akkarena. Pengukuran dilakukan di Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP). Berikut adalah hasil pengukuran gardu distribusi yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Beban pada Gardu Distribusi GT.MAR007

KODE GARDU	LOKASI	PHASA	LWBP (A)	WBP (A)
GT.MAR007	Jl. Rajawali	R	182,6	197,4
		S	117	127,7
		T	196	227,4
		N	81,7	89,8

II.A. GT.MAR046

Gardu GT.MAR046 berkapasitas 160 kVA yang disuplai dari Penyulang. Pengukuran dilakukan di Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP). Berikut adalah hasil pengukuran gardu distribusi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Beban pada Gardu Distribusi GT.MAR046

KODE GARDU	LOKASI	PHASA	LWBP (A)	WBP (A)
GT.MAR046	Jl. Rajawali	R	84,9	134,1
		S	46,4	58,6
		T	66,2	86,3
		N	28,1	44,1

B. Deskripsi Hasil Pengukuran

I.B. Presentase Ketidakseimbangan

Dari hasil pengukuran beban pada tabel 3 dan tabel 4, dapat ditentukan nilai persentase ketidakseimbangan berdasarkan besar nilai arusnya. Adapun persentase ketidakseimbangan beban dalam tulisan ini tidak menyertakan nilai sudut fasanya dikarenakan pada penyeimbangan beban nantinya tidak dilakukan penyeimbangan sudut fasa.

1. Penyulang Akkarena GT. MAR 007

a) Rata-rata beban RST

Untuk menghitung rata-rata beban dari ketiga fasa dengan menggunakan persamaan (4)

$$I_{avg} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{197,4 + 127,7 + 227,4}{3} = 184,17 \text{ A}$$

b) Koefisien keseimbangan

Untuk mencari koefisien masing-masing fasa dengan menggunakan persamaan (7,8,9)

$$a = \frac{I_R}{I_{avg}} = \frac{197,4}{184,17} = 1,07$$

$$b = \frac{I_S}{I_{avg}} = \frac{127,7}{184,17} = 0,69$$

$$c = \frac{I_T}{I_{avg}} = \frac{227,4}{184,17} = 1,25$$

c) Ketidakseimbangan Beban

Untuk menghitung persentase ketidakseimbangan beban dengan menggunakan persamaan (10)

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

$$= \frac{|(1,07-1) + (0,69-1) + (1,25-1)|}{3} \times 100\%$$

$$= 21\%$$

d) Persentase I_N terhadap arus beban

Untuk menghitung persentase arus netral terhadap arus beban dengan menggunakan persamaan (11)

$$I_N = \frac{I_n}{\text{Arus beban Tertinggi}} \times 100\%$$

$$= \frac{89,8}{227,4} \times 100\%$$

$$= 40\%$$

Untuk nilai arus rata-rata, koefisien keseimbangan, nilai persentase ketidakseimbangan, dan nilai persentase arus netral terhadap arus beban dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Sebelum Penyeimbangan Beban GT.MAR007

Kode Gardu	Waktu	I_{avg}	I_R	I_S	I_T	I_{un} (%)	I_N (%)
GT.MAR 007	LWBP	165,2	1,11	0,71	1,19	20	42
	WBP	184,17	1,07	0,69	1,25	21	40

Berdasarkan hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada Tabel 4, ketidakseimbangan di GT.MAR007 pada LWBP memiliki persentase yang kurang baik, dimana persentase ketidakseimbangan fasa sebesar 20% dan pada WBP memiliki persentase ketidakseimbangan fasa sebesar 21%. Hal ini tentunya tidak sesuai dengan regulasi PLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) yang menyatakan bahwa persentase ketidakseimbangan 20% ke atas dikatakan dalam kondisi kurang baik. Dan berdasarkan perhitungan arus netral terhadap arus beban menunjukkan persentase arus netral dalam kondisi buruk yaitu sebesar 42% saat LWBP dan sebesar 40% saat WBP.

2. Penyulang Akkarena GT.MAR046

Dengan cara yang sama seperti pada GT.MAR007, didapatkan hasil perhitungan nilai arus rata-rata, koefisien keseimbangan, dan nilai persentase ketidakseimbangan dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Sebelum Penyeimbangan Beban GT.MAR046

Kode Gardu	Waktu	I_{avg}	I_R	I_S	I_T	I_{un} (%)	I_N (%)
GT.MAR 046	LWBP	65,9	1,29	0,70	1,01	20	33
	WBP	93	1,44	0,63	0,93	29	33

Berdasarkan hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada tabel 5, ketidakseimbangan di GT.MAR046 memiliki persentase yang kurang baik, dimana saat LWBP sebesar 20% dan saat WBP sebesar 29%. Hal ini tentunya tidak sesuai dengan regulasi PLN (SK ED PLN No.0017.E/DIR/2014) yang menyatakan bahwa persentase ketidakseimbangan 20% dikatakan dalam kondisi kurang baik. Dan berdasarkan perhitungan arus netral terhadap arus beban menunjukkan persentase arus netral dalam kondisi buruk yaitu sebesar 33% saat LWBP dan saat WBP sebesar 33%.

II.B. Penyeimbangan Beban

1) Penyulang Akkarena GT.MAR007

Dengan menggunakan persamaan (13), (14), dan (15) didapatkan rencana penyeimbangan seperti pada tabel 6.

Tabel 6 Rencana Penyeimbangan Beban GT.MAR007 untuk WBP

Nama Trafo	I _{avg} (A)	I'(A)		Keterangan
		Fasa	Selisih arus rata-rata	
GT.MA R007	184,17	R	13,23	Beban R dipindah ke fasa S = 13,23 A
		S	-56,47	Menerima beban tambahan sebesar 56,47 A
		T	43,23	Beban T dipindah ke fasa S = 43,23 A

Dari rencana penyeimbangan pada tabel 6, dapat dilihat bahwa fasa yang kekurangan beban adalah fasa S, yaitu sebesar 56,47 A. Sedangkan fasa R dan T memiliki kelebihan beban sebesar 13,23 A dan 43,23 A. Oleh karena itu dilakukan pemindahan beban baik dari fasa yang berlebih ke fasa lainnya sebesar kelebihan beban yang sudah dihitung tersebut.

2) Penyulang Akkarena GT.MAR046

Dengan menggunakan persamaan (13), (14), dan (15) didapatkan rencana penyeimbangan seperti pada tabel 7.

Tabel 7 Rencana Penyeimbangan Beban GT.MAR 046 untuk WBP

Nama Trafo	I _{avg} (A)	I'(A)		Keterangan
		Fasa	Selisih arus rata-rata	
GT.MAR 046	93	R	41,1	Beban R dipindah ke fasa S = 41,1 A
		S	-34,4	Menerima beban tambahan sebesar 34,4 A
		T	-6,7	Menerima beban tambahan sebesar 6,7 A

Dari rencana penyeimbangan beban pada tabel 7 dapat dilihat bahwa, fasa yang kekurangan beban adalah fasa S sebesar 34,4 A dan T sebesar 6,7 A. Sedangkan fasa R memiliki kelebihan beban sebesar 41,1 A. Oleh karena itu dilakukan pemindahan beban baik dari fasa R ke S, maupun fasa R ke T sebesar kelebihan beban yang sudah dihitung tersebut.

III.B. Persentase Ketidakseimbangan Setelah Penyeimbangan

1) Penyulang Akkarena GT.MAR007

Tabel 8 Hasil Pengukuran Beban pada Gardu Distribusi GT.MAR007 Setelah Penyeimbangan.

KODE GARDU	LOKASI	PHASA	LWBP (A)	WBP (A)
GT.MAR 007	Jl. Rajawali	R	196,3	176,1
		S	134,9	155,9
		T	195	212,1
		N	59	64,3

Tabel 9. Hasil Perhitungan Setelah Penyeimbangan Beban GT.MAR007

KODE GARDU	WAKTU	I _{avg}	I _R	I _S	I _T	I _{un} (%)	I _N (%)
GT.MAR 007	LWBP	175,4	1,12	0,77	1,11	15	30
	WBP	181,37	0,97	0,86	1,17	11	30

Berdasarkan perhitungan ketidakseimbangan beban GT.MAR007 pada Tabel 9, ketidakseimbangan yang terjadi saat LWBP setelah dilakukan penyeimbangan beban adalah sebesar 15% dan saat WBP adalah sebesar 11%. Nilai tersebut masuk dalam kategori cukup sesuai standar yang ditetapkan PLN yaitu di bawah 20%.

2) Penyulang GT.MAR046

Tabel 10 Hasil Pengukuran Beban pada Gardu Distribusi GT MAR 046 Setelah Penyeimbangan

KODE GARDU	LOKASI	PHASA	LWBP (A)	WBP (A)
GT.MAR 046	Jl. Rajawali	R	71	116,3
		S	66	90
		T	84	92,2
		N	19,2	31,7

Tabel 11 Hasil Perhitungan Setelah Penyeimbangan Beban GT.MAR046

KODE GARDU	WAKTU	I _{avg}	I _R	I _S	I _T	I _{un} (%)	I _N (%)
GT.MAR 046	LWBP	75,8	0,96	0,90	1,14	9	23
	WBP	99,5	1,17	0,90	0,93	11	27

Berdasarkan perhitungan ketidakseimbangan beban GT.MAR046 pada Tabel 11, ketidakseimbangan yang terjadi saat LWBP setelah dilakukan penyeimbangan beban adalah sebesar 9% dan saat WBP adalah sebesar

11%. Nilai tersebut masuk dalam kategori baik sesuai standar yang ditetapkan PLN yaitu di bawah 20%

IV.B. Perbandingan Persentase Ketidakseimbangan dan Arus Netral

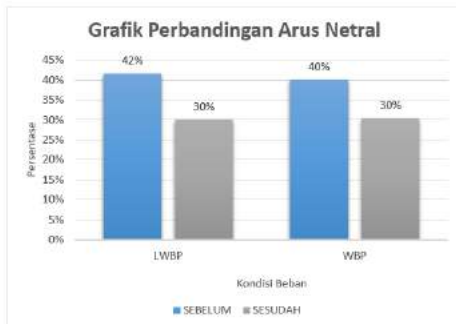
1) Penyulang Akkarena GT.MAR007

Tabel 12 Perbandingan Persentase Ketidakseimbangan Beban dan Arus Netral GT.MAR007

Waktu	Kondisi	Ketidaks eimbangan antar fasa	Kategori	Persenta se arus netral	Kategori
LWBP	Sebelum	20%	Kurang	42%	Buruk
	Sesudah	15%	Cukup	30%	Buruk
WBP	Sebelum	21%	Kurang	40%	Buruk
	Sesudah	11%	Cukup	30%	Buruk



Gambar 5 Grafik Perbandingan Persentase Ketidakseimbangan Antar Fasa GT.MAR007



Gambar 6 Grafik Perbandingan Persentase Arus Netral GT.MAR007

Berdasarkan perbandingan pada gambar 5 dan gambar 6, dapat dilihat nilai persentase ketidakseimbangan fasa saat LWBP mengalami penurunan sebesar 5% yaitu dari 20% menjadi 15%. Sedangkan pada saat WBP mengalami penurunan sebesar 10% yaitu dari 21% menjadi 11%. Hal ini menunjukkan setelah dilakukan penyeimbangan nilai persentase ketidakseimbangan antar fasa mengalami perbaikan hingga mencapai kondisi cukup baik (<20%) untuk LWBP dan sangat mendekati kondisi baik untuk WBP.

Nilai persentase arus netral saat LWBP mengalami penurunan sebesar 12% yaitu dari 42% menjadi 30%, sedangkan pada saat WBP mengalami penurunan sebesar 10% yaitu dari 40% menjadi 30%. Hal ini menunjukkan setelah dilakukan penyeimbangan nilai persentase arus netral mengalami penurunan yang cukup signifikan.

2) Penyulang Akkarena GT.MAR046

Tabel 13 Perbandingan Persentase Ketidakseimbangan Beban dan Arus Netral GT.MAR046

Waktu	Kondisi	Ketidak seimbangan antar fasa	Katego ri	Persentase arus netral	Kategori
LWBP	Sebelum	20%	Cukup	33%	Buruk
	Sesudah	9%	Baik	23%	Buruk
WBP	Sebelum	29%	Buruk	33%	Buruk
	Sesudah	11%	Cukup	27%	Buruk



Gambar 7. Grafik Perbandingan Persentase Ketidakseimbangan Antar Fasa GT.MAR046



Gambar 8 Grafik Perbandingan Persentase Arus Netral GT.MAR046

Pada gambar 7 menampilkan perbandingan persentase ketidakseimbangan antar fasa sebelum dan sesudah penyeimbangan pada GT.MAR046 dan gambar 8 menampilkan perbandingan persentase arus netral sebelum dan setelah penyeimbangan pada GT.MAR046. Nilai persentase ketidakseimbangan fasa saat LWBP mengalami penurunan sebesar 11% yaitu dari 20% menjadi 9%, sedangkan pada saat WBP mengalami penurunan sebesar 18% yaitu dari 29% menjadi 11%. Hal ini menunjukkan setelah dilakukan penyeimbangan nilai persentase ketidakseimbangan antar fasa mengalami perbaikan

hingga mencapai kondisi baik (<10%) untuk LWBP dan sangat mendekati kondisi baik untuk WBP.

Nilai persentase arus netral saat LWBP mengalami penurunan sebesar 10% yaitu dari 33 % menjadi 23%, sedangkan pada saat WBP mengalami penurunan sebesar 7% yaitu dari 33% menjadi 27%. Hal ini menunjukkan setelah dilakukan penyeimbangan nilai persentase arus netral mengalami penurunan yang cukup signifikan.

V. B. Perhitungan Rugi – rugi

Nilai rugi Nilai rugi daya pada penghantar netral (*Losses*) timbul dari adanya arus yang mengalir pada netral. Nilai penurunan susut yang dapat diperoleh dari penyeimbangan beban adalah dengan cara menghitung selisih antara susut energi setelah penyeimbangan dan sebelum penyeimbangan beban. Perhitungan susut energi selama 1 bulan pada gardu distribusi sebelum dan setelah dilakukan penyeimbangan beban dapat dihitung menggunakan persamaan susut energi, dengan memperkirakan WBP dan LWBP yang terjadi dalam 1 hari.

1. Penyulang Akkarena GT.MAR007

a) Resistansi penghantar netral

Nilai resistansi netral dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (13)

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai resistansi penghantar netral :

$$\begin{aligned} P &= 0,0172 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m} \text{ (penghantar NYY} \\ &\text{ yang berbahan dasar tembaga)} \\ l &= 1000 \text{ m} \\ A &= 70 \text{ mm}^2 \\ R_N &= \rho \frac{l}{A} \\ &= 0,0172 \frac{1000}{70} \\ &= 0,2457 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, resistansi penghantar netral pada gardu distribusi GT.MAR007 adalah 0,2457 Ω

b) Rugi daya penghantar netral

Perhitungan rugi daya penghantar netral ini dilakukan pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP). Daya pada saat LWBP diambil waktu dengan asumsi selama 18 jam / hari sedangkan untuk WBP diambil waktu dengan asumsi 6 jam / hari.

Sebelum dilakukan penyeimbangan:

a. Rugi daya pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

Untuk menghitung rugi daya saat LWBP dengan menggunakan persamaan (12)

$$\begin{aligned} P_N &= (R_N \times I_N^2) \\ &= (0,2457 \times 81,7^2) \\ &= 1,640 \text{ kW} \end{aligned}$$

b. Rugi daya pada saat Waktu Beban Puncak (WBP)

Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan rugi daya saat WBP adalah sebesar 1,981 kW

c. Rugi daya total pada sebelum penyeimbangan

$$\begin{aligned} P_N &= P_N(\text{LWBP}) + P_N(\text{WBP}) \\ &= 1,640 \text{ kW} + 1,981 \text{ kW} \\ &= 3,621 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, rugi daya total pada GT.MAR007 sebelum dilakukan penyeimbangan yaitu sebesar 3,621 kW.

Setelah dilakukan penyeimbangan.

a. Rugi daya pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP).

Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan rugi daya saat LWBP adalah sebesar 0,855 kW.

b. Rugi daya pada saat Waktu Beban Puncak (WBP)

Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan rugi daya saat LWBP adalah sebesar 1,016 kW

c. Rugi daya total pada setelah penyeimbangan

$$\begin{aligned} P_N &= P_N(\text{LWBP}) + P_N(\text{WBP}) \\ &= 0,855 \text{ kW} + 1,015 \text{ kW} \\ &= 1,871 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, rugi daya total pada GT.MAR007 setelah dilakukan penyeimbangan yaitu sebesar 1,871 kW

c) Rugi energy

Nilai rugi energi kWh dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (14) yaitu mengalikan setiap rugi daya dengan asumsi durasi LWBP dan WBP dalam sehari. Dan diasumsikan LWBP selama 18 jam / hari sedangkan untuk WBP diambil waktu dengan asumsi 6 jam / hari.

Sebelum dilakukan penyeimbangan

a. Rugi energi pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

Untuk menghitung rugi energi saat LWBP dengan menggunakan persamaan (14)

$$\begin{aligned} W_N &= P_N \times t \\ &= 1,640 \times 18 \\ &= 29,520 \text{ kWh} \end{aligned}$$

b. Rugi energi pada saat Waktu Beban Puncak (WBP)

Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan rugi energi saat WBP adalah sebesar 11,886 kWh

c. Rugi energi total pada sebelum penyeimbangan

$$\begin{aligned} W_N &= W_N(\text{LWBP}) + W_N(\text{WBP}) \\ &= 29,520 + 11,886 \\ &= 41,406 \text{ kWh / hari} \end{aligned}$$

$$= 1.242,18 \text{ kWh / bulan}$$

Dari hasil perhitungan di atas, rugi energi total pada GT.MAR007 sebelum dilakukan penyeimbangan yaitu sebesar 1.242,18 kWh/ bulan.

Setelah dilakukan penyeimbangan

- a. Rugi energi pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)
Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan rugi energi saat LWBP adalah sebesar 15,39 kWh

- b. Rugi energi pada saat Waktu Beban Puncak (WBP)
Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan rugi energi saat WBP adalah sebesar 6,096 kWh

- c. Rugi energi total pada setelah penyeimbangan

$$\begin{aligned} W_N &= W_N(\text{LWBP}) + W_N(\text{WBP}) \\ &= 15,39 \text{ kW} + 6,096 \\ &= 21,459 \text{ kWh / hari} \\ &= 643,77 \text{ kWh / bulan} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, rugi energi total pada GT.MAR007 setelah dilakukan penyeimbangan yaitu sebesar 643,77 kWh / bulan. Berikut merupakan gambar grafik perbandingan dari total rugi energi dalam 1 hari sebelum dan setelah dilakukan penyeimbangan:



Gambar 9 Grafik Perbandingan Rugi Energi GT.MAR007

Pada gambar 9 dapat dilihat nilai rugi energi saat sebelum dan setelah dilakukan penyeimbangan pada GT.MAR007. Nilai rugi energi setelah dilakukan penyeimbangan mengalami penurunan sebesar 598,41 kWh yaitu dari 1.242,18 kWh menjadi 643,77 kWh. Hal ini menunjukkan setelah dilakukan penyeimbangan nilai rugi energi mengalami perbaikan yang cukup signifikan.

- a) Saving

Untuk mendapatkan nilai kWh yang dapat diselamatkan pada GT.MAR007, yaitu dengan mengurangi rugi energi sebelum penyeimbangan dengan rugi energi sesudah penyeimbangan. Berikut hasil perhitungannya

$$\text{Saving} = W_N \text{ sebelum penyeimbangan} - W_N \text{ sesudah penyeimbangan}$$

$$\begin{aligned} &= 1.242,18 \text{ kWh} - 643,77 \text{ kWh} \\ &= 598,41 \text{ kWh / bulan} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, nilai kWh yang dapat diselamatkan sebesar 598,41 kWh/bulan.

- b) Gain

Untuk menghitung nilai rupiah yang dapat diselamatkan akibat susut pada GT.MAR007, maka digunakan asumsi harga listrik per-kWh pada golongan tarif R-1/TR dengan daya 900 VA dan 1300 VA keatas.

Daya 900 VA (Rp 1.352/kWh)

$$\begin{aligned} &\text{Penghematan rupiah perbulan} \\ &= \text{saving kWh} \times \text{Rp } 1.352 \\ &= 598,41 \times \text{Rp } 1.352 \\ &= \text{Rp } 809.050,32 \end{aligned}$$

Daya 1300 VA (Rp 1.467,28/kWh)

$$\begin{aligned} &\text{Penghematan rupiah perbulan} \\ &= \text{saving kWh} \times \text{Rp } 1.467,28 \\ &= 598,41 \times \text{Rp } 1.467,28 \\ &= \text{Rp } 878.035,03 \end{aligned}$$

Pada perhitungan gain di atas dapat dilihat bahwa dalam sebulan dapat dilakukan penghematan rupiah sebesar Rp 809.050,32 untuk daya 900VA dan Rp 878.035,03 untuk daya 1300VA.

2. Penyulang Akkarena GT.MAR046

- a) Resistansi penghantar netral

Nilai resistansi netral dapat dihitung dengan persamaan (13)

Dengan cara yang sama dengan GT.MAR007, diperoleh Dari persamaan tersebut didapatkan nilai resistansi penghantar netral pada gardu distribusi GT.MAR046 adalah 0,086 Ω.

- b) Rugi daya penghantar netral

Dengan menggunakan cara yang dengan GT.MAR007, diperoleh total rugi daya pada GT.MAR046 sebelum penyeimbangan beban yaitu sebesar 0,235 Kw dan setelah dilakukan penyeimbangan yaitu sebesar 0,118 kW

- c) Rugi energi

Dengan menggunakan cara yang sama dengan GT.MAR007, diperoleh rugi energi total pada GT.MAR046 sebelum dan setelah dilakukan penyeimbangan sebagai berikut.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Rugi Energi GT.MAR046

Berdasarkan grafik perbandingan pada gambar 10 dapat dilihat, nilai rugi energi setelah dilakukan penyeimbangan mengalami penurunan sebesar 34,02 kWh yaitu dari 66,78 kWh menjadi 32,76 kWh. Hal ini menunjukkan setelah dilakukan penyeimbangan nilai rugi energi mengalami perbaikan yang cukup signifikan.

a) Saving

Dengan menggunakan cara yang sama dengan GT.MAR007, diperoleh nilai kWh yang dapat diselamatkan pada GT.MAR046 setelah penyeimbangan beban sebesar 34,02 kWh/bulan

b) Gain

Dengan menggunakan cara yang sama dengan GT.MAR007, diperoleh nilai rupiah yang dapat diselamatkan akibat susut pada GT.MAR046, untuk daya 900VA adalah sebesar Rp 45.995,04 dan untuk daya 1300 VA adalah sebesar Rp 49.916,87.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat menarik kesimpulan yaitu:

- 1) Setelah dilakukan penyeimbangan beban, persentase ketidakseimbangan pada GT.MAR007 berubah dari 21% menjadi 11%, dan pada GT.MAR046 berubah dari 29% menjadi 11%. Sedangkan, persentase arus netral pada GT.MAR007 berubah dari 40% menjadi 30% dan pada GT.MAR046 berubah dari 33% menjadi 27%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kegiatan penyeimbangan beban ini dapat menurunkan persentase ketidakseimbangan beban begitu pula dengan besar arus netral yang mengalir pada transformator.
- 2) Setelah dilakukan penyeimbangan beban, total nilai rugi energi pada GT.MAR007 berubah dari 1.242,18 kWh/bulan menjadi 598,41 kWh/bulan dan pada GT.MAR046 berubah dari 66,78 kWh/bulan menjadi 34,02 kWh/bulan. Hal ini bila dirupiahkan maka menyelamatkan rupiah sebesar Rp 809.050,32 (900 VA) dan Rp 878.035,03 (>1300 VA) untuk GT.MAR007. Dan pada GT.MAR046, menyelamatkan rupiah sebesar Rp 45.995,04 (900 VA) dan Rp 49.916,87 (>1300 VA)

REFERENSI

- [1] Kartini S., Julen dan Edy Ervianto.2016. *Analisa Rekonfigurasi Pembebanan untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya pada Saluran Distribusi 20 kV*. Fakultas Teknik: Pekanbaru
- [2] PLN. 2019. Instruksi Kerja Teknik Penyeimbangan Beban Pada SUTR. Makassar
- [3] PT PLN (Persero). 2014. Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0017.E/DIR/2014 Tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset
- [4] Zainuddin, M. Harry Pratama. 2019. Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi dengan Metode Sehari Seimbang di Unit Layanan

- Pelanggan Mattoanging PT. PLN (Persero). Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar
- [5] Ridwan, Muhammad. 2018. Analisis Rugi Daya Jaringan Tegangan Rendah Akibat Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Panakkukang
- [6] Putri, Tri Utami Pratiwi. 2019. Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi Berdasarkan Hasil Pengukuran Beban Puncak Unit Layanan Pelanggan Karebosi PT. PLN. (Persero). Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar.
- [7] PT PLN (Persero). 2019. Gardu Distribusi, PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan Dan Pelatihan (PUSDIKLAT).
- [8] PT PLN (Persero). 2019. Jaringan Tegangan Rendah, PT. PLN (Persero) UIW Sulselrabar UP3 Makassar Selatan ULP Mattoanging.
- [9] Suroso, Segal Mancini. 2019. Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi sebagai Upaya Menekan Nilai Susut pada Unit Layanan Pelanggan Mattoanging PT.PLN (Persero). Laporan Tugas Akhir On The Job Training (OJT)
- [10] Syarifuddin, Fieqrha Putra Perdana. 2019. Simulasi Penyeimbangan Beban pada Gardu Distribusi PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Karebosi. Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar.