

# Rebalancing Beban Gardu Distribusi Guna Meminimalkan Susut Teknis ULP Taliwang

Savira Rosa Ghozali<sup>\*a)</sup>, Rahman Arifuddin<sup>a)</sup>, Resi Dwi Jayanti Kartika Sari<sup>a)</sup>

(Received 11 Desember 2025 || Revised 21 Desember 2025|| Published 28 Februari 2026)

**Abstract:** The quality of electrical power is a crucial factor in supporting community activities and stimulating sustainable economic growth in developing regions. In electric power distribution systems, one of the most frequently encountered technical problems is the high level of technical losses caused by neutral current arising from load imbalance among phases on distribution feeders and transformers. The Brang Rea Feeder is identified as having the highest proportion of unbalanced distribution transformers, reaching 37%. The observed ranges of unbalance percentage, neutral current, and technical losses are 21.06%–66.67%, 3.5 A–117.2 A, and 2.36 W–2651.02 W. In practice, efforts to reduce technical losses are commonly implemented through the installation of additional protection systems, which high investment costs. Therefore, this study focuses on the analysis of neutral current and technical losses on the Brang Rea Feeder through the application of the Distribution Transformer Load Management Method, which is considered a more economical and practical alternative. The operating conditions before and after the implementation of this method are validated using ETAP 19.0.1. The scope of this study is limited to the evaluation of load imbalance, neutral current, and technical losses. After implementation, the unbalance percentage was reduced to 0%–19.05%, producing neutral current and technical loss ranges of 0 A–81.10 A and 0 W–1269.36 W. This improvement resulted 32,233.41 kWh energy saved and an additional revenue of IDR 46,567,609.92. Consequently, the contribution of technical losses to total distribution losses without E-Min at PT PLN (Persero) ULP Taliwang was significantly reduced.

**Keywords:** Neutral Current; Technical Losses; Load Management; Energy Saved; Revenue.

## 1. Pendahuluan

Listrik merupakan kebutuhan pokok dalam kehidupan modern yang menopang aktivitas rumah tangga, industri, bisnis, sosial, dan pemerintahan. Keandalan serta kualitas pasokan listrik menjadi faktor kunci dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat [1]. Penyaluran energi listrik dari pembangkit hingga konsumen dilaksanakan oleh badan usaha penyedia tenaga listrik sesuai UU No. 30 Tahun 2009, di Indonesia diemban oleh PT PLN (Persero) sejak 1965. Prosesnya meliputi pembangkitan, transmisi yang dikelola UP2B dan UP2D, hingga distribusi ke pelanggan [2].

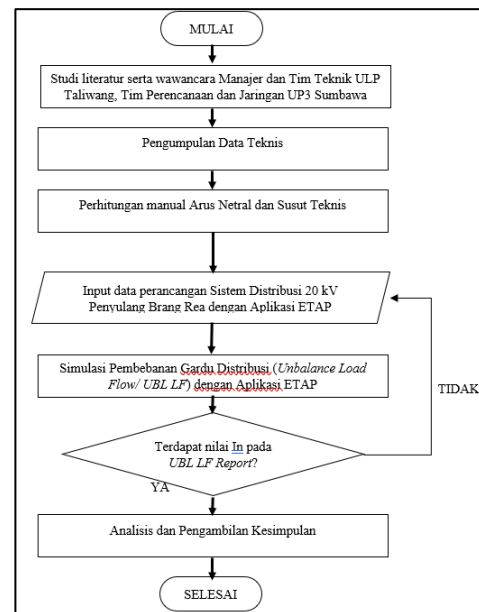
PT PLN (Persero) berkomitmen menjaga mutu dan kontinuitas pasokan sesuai standar yang berlaku, yakni tegangan dalam batas +5% hingga -10% dari nominal 230/400 V (SPLN 1 Tahun 1995), frekuensi 50 Hz (Permen ESDM 37 Tahun 2008), serta meminimalkan susut energi [3]. Susut energi terdiri dari susut teknis dan nonteknis. Susut nonteknis umumnya disebabkan pelanggaran pemakaian, ketidaktepatan pencatatan meter, serta gangguan APP, sedangkan susut teknis dipengaruhi konfigurasi jaringan, panjang saluran, beban berlebih, dan ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi [2].

Ketidakseimbangan beban antar fasa (R, S, T) meningkatkan arus netral dan memperbesar susut teknis, yang berpotensi menurunkan umur transformator dan kualitas pasokan [4]. Di ULP Taliwang, dari 292 gardu distribusi, 90 unit memiliki ketidakseimbangan di atas 20%, melebihi rekomendasi SE DIR 0017/DIR/2024 (<20%). Penyulang Brang Rea mencatat proporsi gardu tidak seimbang tertinggi (37%) dan kontribusi signifikan terhadap susut distribusi. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis arus netral dan susut teknis melalui metode manajemen beban gardu distribusi sebagai solusi yang lebih ekonomis untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem [5], [6], [7].

## 2. Metodologi

Gambar 2.1 menunjukkan diagram alir dari penelitian ini.

Penelitian diawali dengan perumusan analisis metode manajemen beban gardu distribusi terhadap kualitas energi listrik dan susut teknis jaringan distribusi PT PLN (Persero) ULP Taliwang.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM RANCANGAN PENELITIAN

Selanjutnya dilakukan studi literatur serta wawancara dengan Manager dan Tim Teknik ULP Taliwang serta Tim Perencanaan dan Jaringan UP3 Sumbawa untuk memahami pengoperasian transformator distribusi, simulasi aliran daya penyulang, metode manajemen beban, serta menelaah standar, regulasi, dan SOP yang relevan.

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data teknis, meliputi jumlah dan kondisi gardu distribusi, data ketidakseimbangan beban di atas 20% [8], SLD Penyulang Brang Rea, spesifikasi dan riwayat pemeliharaan trafo, data arus dan tegangan hasil pengukuran, spesifikasi serta panjang penghantar, hingga data susut teknis.

\*Korespondensi: [savirarosa16@gmail.com](mailto:savirarosa16@gmail.com)

a) Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang, Kota Malang, Indonesia

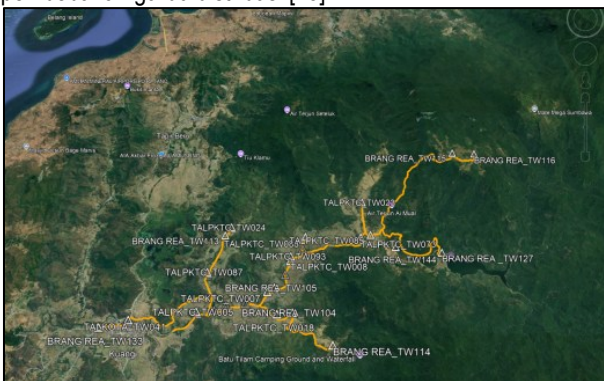
Data tersebut kemudian digunakan untuk perhitungan manual arus netral, jatuh tegangan (voltage drop), dan susut teknis berdasarkan rumus yang berlaku [6].

Kemudian dilakukan perancangan model sistem distribusi 20 kV Penyulang Brang Rea menggunakan aplikasi ETAP untuk merepresentasikan kondisi aktual jaringan secara menyeluruh. Simulasi *Unbalanced Load Flow* (UBL LF) dilakukan guna membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan metode manajemen beban. Apabila simulasi berhasil dan menghasilkan laporan arus netral, proses dilanjutkan [9] [10]; jika tidak, dilakukan perbaikan model dan simulasi ulang [11]. Tahap akhir adalah analisis komparatif antara hasil perhitungan, simulasi ETAP, dan pengukuran lapangan untuk menilai efektivitas metode manajemen beban terhadap peningkatan kualitas energi listrik dan penurunan susut teknis, kemudian ditarik kesimpulan penelitian [12].

Penelitian ini menganalisis efektivitas metode manajemen beban gardu distribusi terhadap peningkatan kualitas energi listrik dan penurunan susut teknis jaringan distribusi. Evaluasi dilakukan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu faktor pembebanan gardu per fasa (*loading factor*), arus netral transformator (*neutral current*), dan susut teknis (*technical losses*). Faktor pembebanan digunakan untuk menilai tingkat keseimbangan beban antar fasa sesuai SE DIR 0017.E/DIR/2024 tentang Metode Pemeliharaan Transformator Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset [8]. Arus netral dianalisis sebagai indikator ketidakseimbangan beban fasa R, S, dan T, yang berpengaruh terhadap kenaikan susut teknis dan kualitas tegangan. Susut teknis dihitung untuk mengukur besarnya energi hilang akibat kondisi teknis jaringan.

Hasil identifikasi yang ditunjukkan Gambar 2.2 menunjukkan bahwa Penyulang Brang Rea memiliki persentase gardu dengan ketidakseimbangan beban di atas 20% tertinggi, yaitu 37% (11 dari 30 gardu), sehingga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan susut teknis di sistem distribusi ULP Taliwang. Metode manajemen beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, diterapkan melalui penyeimbangan beban pada sisi sekunder transformator dengan pemindahan sambungan rumah antar fasa sesuai prosedur operasional JTR.

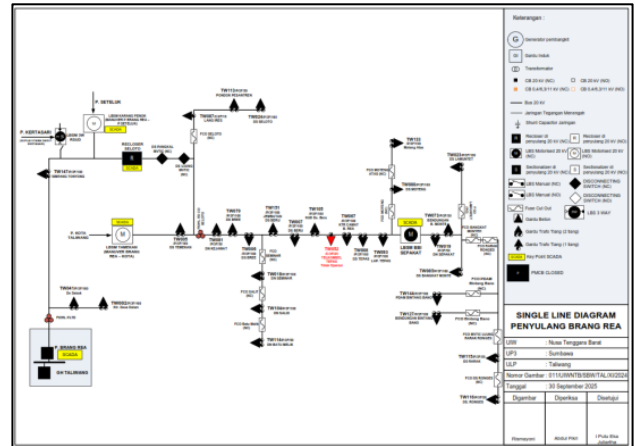
Untuk memvalidasi hasil implementasi, dilakukan simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP berbasis *Single Line Diagram* (SLD) aktual (Gambar 2.4). Analisis *load flow* pada kondisi *steady-state* digunakan untuk membandingkan parameter sebelum dan sesudah penerapan metode. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa manajemen beban efektif menurunkan arus netral dan susut teknis, serta meningkatkan keseimbangan pembebanan gardu distribusi [13].



GAMBAR 2.2 SEBARAN GARDU DISTRIBUSI PENYULANG BRANG REA



GAMBAR 2.3 PROSES MANAJEMEN BEBAN GARDU



GAMBAR 2.4 SLD PENYULANG BRANG REA

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian mengenai pembebanan gardu distribusi telah banyak dikembangkan sebagai salah satu solusi teknis yang efisien untuk mengurangi susut teknis dalam sistem distribusi tenaga listrik. Pada penelitian penulis akan dilengkapi dengan analisis lebih mendalam pada beberapa variable meliputi arus netral, susut teknis, *energy saved*, dan peningkatan pendapatan. Tidak hanya itu, selain analisis hasil ukur secara real, penulis akan melakukan analisis dengan perhitungan dan simulasi menggunakan aplikasi ETAP [14].

Langkah awal proses analisis dilakukan dengan membandingkan nilai arus netral hasil ukur sebelum penerapan manajemen beban gardu distribusi dengan perhitungan dan simulasi ETAP serta membandingkan arus netral hasil perhitungan sesudah penerapan manajemen beban gardu distribusi dengan simulasi ETAP. Simulasi Load Flow digunakan untuk analisis aliran daya yang merupakan salah satu fitur utama dalam software ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) sehingga kondisi operasi sistem tenaga listrik pada keadaan *steady-state* yaitu kondisi sistem tenaga telah mencapai titik keseimbangan antara lain tagangan pada setiap bus bernilai tetap (konstan terhadap waktu) serta nilai arus dan variabel lain stabil. Simulasi aliran daya dilakukan setelah mendapatkan data-data yang diperlukan untuk penyusunan simulasi ETAP 19.0.1 sesuai dengan *Single Line Diagram* [16] [17]. Perhitungan dilakukan untuk menentukan persentase *unbalance*, besaran arus netral dan susut teknis menggunakan rumus sebagai berikut [12].

- a. Perhitungan persentase *unbalance*

$$I_{Rata-Rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (3-1)$$

$$a = \frac{I_R}{I_{Rata-Rata}} \quad (3-2)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{Rata-Rata}} \quad (3-3)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{Rata-Rata}} \quad (3-4)$$

$$Persentase\ UBL = \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \quad (3-5)$$

b. Perhitungan arus netral

$$I_R = I_R \cos \theta + j I_R \sin \theta \quad (3-6)$$

$$I_S = I_S \cos \theta + j I_S \sin \theta \quad (3-7)$$

$$I_T = I_T \cos \theta + j I_T \sin \theta \quad (3-8)$$

$$I_{TOTAL} = I_R + I_S + I_T = a - j b \quad (3-9)$$

$$I_N = \sqrt{(a)^2 + (b)^2} \quad (3-10)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3-11)$$

c. Perhitungan susut teknis

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (3-12)$$

Dimana nilai  $R_N = 0,193 \Omega/kms$  yakni hambatan penghantar netral sesuai dengan katalog penghantar NYY Jembo Single Core dengan luas penampang sebesar  $95 \text{ mm}^2$  [13], [15].

Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 menampilkan data rekap perbandingan dari arus netral sebelum dan sesudah penerapan metode manajemen beban gardu distribusi Penyulang Brang Rea. Perbandingan yang menyatakan hasil analisa berupa data pengukuran dan perhitungan sebelum optimasi manajemen gardu, dan setelah dilakukan manajemen gardu.

Dari Tabel 3.1 dapat diketahui bahwa perbandingan hasil ukur sebelum dengan hasil perhitungan di bawah toleransi kesalahan alat ukur yakni  $\pm 2,5\% \pm 0,5 \text{ dtgs}$  atau bisa dibilang  $\pm 2,5\% \pm 0,05 \text{ A}$ . Selain itu, perbandingan hasil ukur sebelum dengan simulasi ETAP sebelum diterapkan metode manajemen gardu distribusi berada di bawah 5%. Hal ini berarti bahwa hasil pengukuran riil secara langsung di lapangan sebelum diterapkannya metode manajemen beban tersebut dapat dikatakan valid serta bisa digunakan dalam analisis dan perhitungan susut teknis.

**TABEL 3.1 REKAP HASIL PERBANDINGAN PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN ARUS NETRAL SEBELUM MANAJEMEN BEBAN**

Nama Gardu	Hasil Ukur (A)	Hitungan (A)	%	ETAP (A)	%
TW113	50	48,75	2,5	50,9	1,77
TW008	87,1	85,92	1,35	87,1	3,22
TW002	117,2	115,57	1,39	120,1	2,41
TW133	5,3	5,29	0,19	5,3	0
TW114	6,3	6,24	0,95	6,3	0
TW105	58,3	57,65	1,11	59,4	1,85
TW127	12,4	12,12	2,26	12,3	0,81
TW088	42,8	42	1,87	43,5	1,61
TW144	3,5	3,46	1,14	3,4	2,86
TW116	5,3	5,29	0,19	5,4	1,85
TW087	12,7	12,53	1,34	12,8	0,78

**TABEL 3.2. REKAP HASIL PERHITUNGAN ARUS NETRAL SETELAH MANAJEMEN BEBAN**

Nama Gardu	Hitungan (A)	ETAP (A)	%
TW113	19,31	20	3,43
TW008	38,94	40,8	4,57
TW002	81,1	84,3	3,8
TW133	2	2	0
TW114	1	1	0
TW105	17,78	18,2	2,33

TW127	4,58	4,6	0,38
TW088	36,51	37,8	3,41
TW144	0	0	0
TW116	2	2	0
TW087	1	1	0

Untuk hasil ukur arus netral sesudah diterapkan metode manajemen beban gardu distribusi TW113, TW008, TW002 dan hasil perhitungan arus netral sesudah diterapkan metode ini ke 8 buah gardu distribusi lainnya, besaran arus netral memiliki persentase perbandingan di bawah 5% dengan simulasi ETAP. Oleh karena itu, hasil ukur dan perhitungannya dapat digunakan untuk evaluasi, analisis, dan perhitungan susut teknis yang ditimbulkan. Dimana perhitungan susut teknis akan disimulasikan dengan ETAP dan hasilnya akan ditampilkan pada Tabel 3.3. Dari perbandingan antara kedua tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa Optimasi yang dilakukan terbukti efektif dalam menurunkan dan meratakan pembebanan gardu distribusi. Hal ini meningkatkan efisiensi sistem, mengurangi potensi overload, serta menunjukkan kesesuaian yang baik antara hasil perhitungan dan simulasi ETAP sebagai alat validasi. Analisis arus netral dan susut teknis pada gardu distribusi merupakan bagian penting untuk menilai Tingkat efektivitas penerapan Metode Manajemen Beban Gardu Distribusi. Pada Tabel 3.3. ditampilkan kondisi sebelum redistribusi beban dengan metode manajemen beban untuk 11 gardu distribusi Penyulang Brang Rea. Parameter yang dianalisis meliputi persentase ketidakseimbangan beban (% *Unbalance* atau % UBL), arus netral (In), dan susut teknis yang dihasilkan pada tiap gardu distribusi.

**TABEL 3.3 KONDISI IN DAN SUSUT TEKNIS SEBELUM MANAJEMEN GARDU**

No	Gardu	UBL (%)	In (A)	Susut Teknis (W)
1	TW113	42,69	50	482,5
2	TW008	21,06	87,1	1464,18
3	TW002	23,9	117,2	2651,02
4	TW133	47,62	5,3	5,42
5	TW114	44,44	6,3	7,66
6	TW105	40,86	58,3	655,99
7	TW127	41,03	12,4	29,68
8	TW088	21,96	42,8	353,55
9	TW144	33,33	3,5	2,36
10	TW116	41,67	5,3	5,42
11	TW087	66,67	12,7	31,13

Pada Tabel 3.4. ditampilkan kondisi setelah redistribusi beban dengan metode manajemen beban untuk 11 gardu distribusi Penyulang Brang Rea.

**TABEL 3.4 KONDISI IN DAN SUSUT TEKNIS SETELAH MANAJEMEN GARDU**

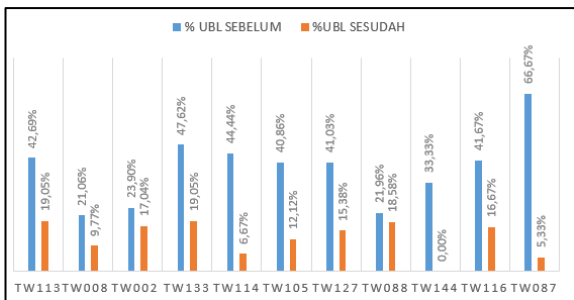
No	Gardu	UBL (%)	In (A)	Susut Teknis (W)
1	TW113	19,05	19,31	71,99
2	TW008	9,77	38,94	292,59
3	TW002	17,04	81,1	1269,36
4	TW133	19,05	2	0,77
5	TW114	6,67	1	0,19
6	TW105	12,12	17,78	60,99
7	TW127	15,38	4,58	4,05
8	TW088	15,88	36,51	257,27
9	TW144	0	0	0
10	TW116	16,67	2	0,77

11	TW087	5,33	1	0,19
----	-------	------	---	------

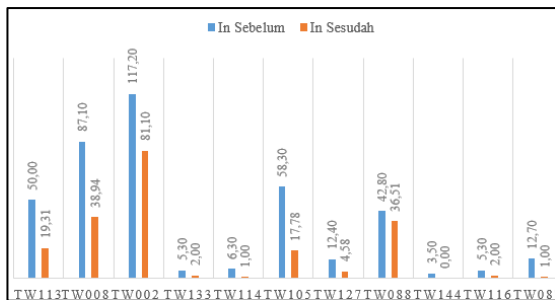
Berdasarkan data pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4, setelah dilakukan optimasi terlihat adanya penurunan arus beban dan susut teknis yang signifikan di hampir seluruh gardu distribusi. Selain itu, nilai ketidakseimbangan beban (UBL) juga mengalami perbaikan yang cukup drastis, menunjukkan distribusi beban antar fasa menjadi lebih merata. Kondisi ini berdampak langsung pada peningkatan efisiensi sistem, penurunan rugi-rugi daya, serta meningkatkan keandalan dan keamanan operasi jaringan distribusi secara keseluruhan.

Pada Gambar 3.1 disajikan perbandingan persentase *Unbalance* beban trafo distribusi tiap gardu distribusi sebelum dan sesudah diterapkannya metode manajemen gardu distribusi ini. Hal tersebut menunjukkan dengan penerapan manajemen beban sehingga arus per fasa tiap jurusan gardu distribusi memiliki selisih yang kecil, maka akan menghasilkan persentase *Unbalance* yang rendah.

Dengan tingkat persentase *Unbalance* yang rendah, maka akan menghasilkan arus netral yang kecil pula. Hal ini tertuang pada Gambar 3.2, sebagai contoh salah satu gardu yakni TW113 yang awalnya Tingkat *unbalance*-nya 42,69 % setelah diterapkan metode manajemen beban gardu distribusi Tingkat *unbalance*-nya menjadi 19,05 %, dengan arus netral awal yang ditimbulkan adalah sebesar 50 A. Sedangkan ketika Tingkat *unbalance*-nya menjadi 19,05 %, arus netral yang timbul turun menjadi 19,31 A yang berarti arus netral turun sebesar 61%.



GAMBAR 3.1 PERBANDINGAN PERSENTASE UNBALANCE



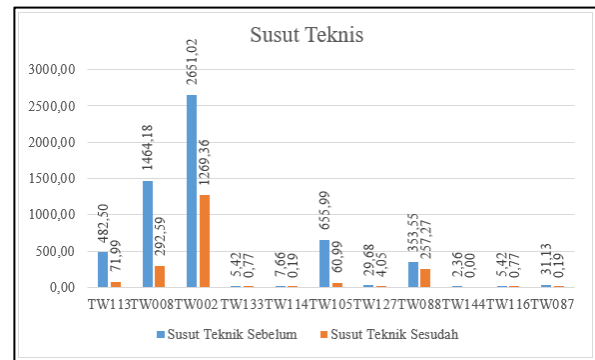
GAMBAR 3.2 PERBANDINGAN ARUS NETRAL

Pada Tabel 3.5 ditunjukkan bahwa dengan penerapan Metode Manajemen Gardu Distribusi, maka arus netral yang timbul akan turun secara signifikan dari arus netral awal. Dengan rata-rata penurunan arus netral sebesar 63% dalam rentang penurunan 15% hingga 100%.

TABEL 3.5 PERSENTASE PENURUNAN  $I_N$

No	Gardu	In Sebelum (A)	In Sesudah (A)	% Reduksi
1	TW113	50,00	19,31	61%
2	TW008	87,10	38,94	55%
3	TW002	117,20	81,10	31%
4	TW133	5,30	2,00	62%
5	TW114	6,30	1,00	84%
6	TW105	58,30	17,78	70%
7	TW127	12,40	4,58	63%
8	TW088	42,80	36,51	15%
9	TW144	3,50	0,00	100%
10	TW116	5,30	2,00	62%
11	TW087	12,70	1,00	92%

Tingkat ketidakseimbangan beban per fasa pada gardu distribusi berpengaruh terhadap besarnya arus netral yang dihasilkan. Semakin tinggi ketidaseimbangannya maka akan semakin tinggi pula arus netralnya dan sebaliknya. Arus netral yang rendah menyebabkan susut teknis juga rendah. Hal tersebut sesuai dengan rumus perhitungan Susut Teknis  $P_N = I_N^2 \cdot R_N$  Dimana besarnya arus netral ( $I_N$ ) sebanding dengan besarnya Susut Teknis ( $P_N$ ). Pernyataan ini diperkuat dengan hasil perhitungan di atas, pada TW113 dengan arus netral awal sebesar 50 A, setelah diterapkan Metode Manajemen Beban Gardu Distribusi didapatkan arus netral turun sebanyak 61% menjadi 19,31 A. Maka dari itu dapat dihitung Susut Teknis Awal dan didapatkan gardu TW113 menghasilkan Susut Teknis sebesar 482,50 W. Kemudian setelah penerapan Manajemen Beban, Susut Teknis tersebut turun signifikan sebesar 85% menjadi 71,99 W seperti dapat dilihat di Gambar 3.4 dan Tabel 3.6. Dengan rata-rata penurunan Susut Teknis 11 gardu distribusi Penyulang Brang Rea sebesar 81% dalam rentang 27%-100%.



GAMBAR 3.4 PERBANDINGAN SUSUT TEKNIS

TABEL 3.6 PERSENTASE PENURUNAN SUSUT TEKNIS

No	Gardu	Susut Teknis Sebelum (W)	Susut Teknis Sesudah (W)	% Reduksi
1	TW113	482,50	71,99	85%
2	TW008	1464,18	292,59	80%
3	TW002	2651,02	1269,36	52%
4	TW133	5,42	0,77	86%
5	TW114	7,66	0,19	97%
6	TW105	655,99	60,99	91%
7	TW127	29,68	4,05	86%
8	TW088	353,55	257,27	27%
9	TW144	2,36	0,00	100%
10	TW116	5,42	0,77	86%
11	TW087	31,13	0,19	99%

#### 4. Kesimpulan

Analisis awal dilakukan dengan membandingkan hasil ukur gardu distribusi terhadap perhitungan manual dan simulasi ETAP, yang menunjukkan bahwa data pengukuran valid karena berada dalam batas toleransi alat ( $\pm 2,5\% \pm 0,05 A$ ) dan selisih kurang dari 5% terhadap hasil simulasi. Penerapan metode manajemen beban gardu distribusi berhasil menurunkan ketidakseimbangan beban antar fasa hingga berada pada rentang 0%–19,05%, yang berdampak langsung pada penurunan arus netral dan susut teknis masing-masing sebesar 15%–100% dan 27%–100%. Hal ini sejalan dengan teori hubungan antara arus netral dan rugi daya, dimana menunjukkan bahwa penurunan arus netral akan secara kuadrat menurunkan susut teknis. Dampak dari penurunan ini menghasilkan penghematan energi sebesar 3,73 kWh per jam, 89,54 kWh per hari, 2.686,12 kWh per bulan, dan 32.233,41 kWh per tahun. Secara ekonomi, hal ini meningkatkan pendapatan PT PLN (Persero) ULP Taliwang sebesar Rp 5.389,77 per jam, Rp 129.354,47 per hari, Rp 3.880.634,16 per bulan, dan Rp 46.567.609,92 per tahun. Dengan demikian, metode manajemen beban terbukti efektif dalam menekan unbalance, menurunkan arus netral dan susut teknis, serta memberikan manfaat energi dan ekonomi yang signifikan, bahkan lebih ekonomis dibandingkan penambahan sistem proteksi yang memerlukan investasi peralatan lebih besar.

Penelitian ini dapat dikembangkan pada bagian perhitungan peningkatan pendapatan Dimana pengali rupiah per kWh tidak hanya berfokus pada rupiah per kWh pelanggan rumah tangga tarif mampu daya 1300 – 11.000 VA tapi juga mencantumkan pelanggan subsidi sehingga hasil prognosa peningkatan pendapatan menjadi lebih detail.

#### Referensi

- [1] Tonda, H., Parsa, I.M., Tamal, C.P. (2025). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral Trafo pada Gardu Distribusi di PT PLN (Persero) ULP Larantuka. *Jurnal Teknologi*, 15-23.
- [2] Muliadi, Syukri, Asyadi, T.M., Salim A. (2022). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban pada Trafo Distribusi Penyulang Mibo Rayon Merduati. *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, 7-12.
- [3] SPLN 1. (1995). *Tegangan-tegangan Standar*. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [4] Novfowan, A. D., Mieftah, M., Kusuma, W. (2023). Alternatif Penanganan Losses Akibat Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan Vol. 10 No. 1, ISSN: 2407-232X, E-ISSN: 2407-2338*, 54-59.
- [5] Syahputra, R. (2021). *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [6] PT PLN (Persero) Buku 1. (2010). *Buku 1 Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).
- [7] PT PLN (Persero) Buku 2. (1985). *Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [8] PT PLN (Persero) Buku 5. (2010). *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [9] PT PLN (Persero) Buku 4. (2010). *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [10] PT PLN (Persero) Buku 3. (2003). *IEEE Guide for Electric Power*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [11] Darmana, T., Hidayat, S., Hair, M. (2023). Analisis Pemerataan Beban pada Transformator dari Sisi Sekunder terhadap Penyaluran Tenaga Listrik di PT PLN (Persero) UP3 Cengkareng. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 73-80.
- [12] Rohmat, K., Riyadi M.A. (2023). Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi di PT PLN (Persero) UPDL Pandaan. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 186-192.
- [13] Sidabutar, R. N. (2024). Studi Pemerataan Beban Transformator Tidak Seimbang Pada Gardu Distribusi BR 114 Di PT. PLN(PERSERO) ULP Medan Baru. *Jurnal Ilmiah Tenaga Listrik*, 16-24.
- [14] Pranoto, S., Sofyan, & Rusli, N. N. (2020). Penyeimbangan Beban pada Trafo Distribusi Penyulang Akkarena di Unit Layanan Pelanggan Mattoanging PT PLN (Persero). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 37-46.
- [15] Haris, M. H., & Sultan, A. R. (2020). Optimasi Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Terhadap Penurunan Rugi Energi dengan Metode Seimbang Beban Seharian. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 14-20.
- [16] Nugraha, A. T. M., Sutisna, Andang, A., & Risnandar, M. A. (2022). Analisis Penyeimbangan Beban Pada Transformator Di Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 71-77.
- [17] Indrawan, A. W., Syarifuddin, Purwito, A. R., A., Sultan, A. R., & Ilahi, A. (2021). Penyeimbang Beban pada Gardu Distribusi dengan Metode Fuzzy Logic di Penyulang Lanosi ULP Tomoni PT.PLN (Persero). *Jurnal Teknologi Elekerika*, 76-83.