

OPTIMALISASI PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN GARDU DISTRIBUSI TERHADAP ARUS NETRAL

Mohammad Farizki Widodo¹, Dultudes Mangopo², Theresia Wuri Oktaviani³, Yosef Lefaan⁴,
Moh. Arie Reza⁵, Tiper K.M Uniplaita⁶

^{1,2,3,4,5,6} Teknik Elektro, Universitas Cenderawasih, Indonesia
Email: mohammad.widodo@pln.co.id

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima Okt 02, 2023
Direvisi Okt 08, 2023
Disetujui Okt 15, 2023

ABSTRACT

In order to meet the demand for electrical energy there is an additional load in each region. This causes a load imbalance, from several feeders at PT. PLN (Persero) ULP Sentani which experiences the most unbalanced load is the feeder with normal designation which is dominated by household customers where the electricity usage in this area is very fast changing as in the cempaka feeder where the average load imbalance reaches 36.48% cempaka feeder if doing load equalization is very easy because there are no priorities because this research aims to provide recommendations for PT.PLN (Persero). The methodology used is quantitative. Where the data in this study are the entire load of the distribution substation which is channeled through the Cempaka feeder at the peak night load because most of these customers are household customers. The data collection technique is using observation, namely measuring substations directly in the field to get the loading value for each distribution substation, then technical data analysis using Microsoft Excel which is then simulated in Etab 19. The results of this study indicate that the cempaka feeder does not operate optimally, there are losses during operation which are caused by wasted energy in the neutral of 74,311.08 kWh per year and the load imbalance reaches 36.48% by carrying out recommendations for optimizing the effect of unbalanced distribution substation loads on neutral currents balancing PT. PLN (Persero) ULP Sentani cempaka feeders and energy losses in the neutral conductor after balancing become 0 kWh and the largest percentage of load imbalance after balancing drops to 0%.

Keywords: Imbalance, Etab 19, Distribution Substation

ABSTRAK

Tujuan Dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik terdapat penambahan beban di setiap daerah. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan beban, dari beberapa penyulang yang ada di PT. PLN (Persero) ULP Sentani yang paling banyak mengalami ketidak seimbang beban adalah penyulang dengan peruntukan biasa yakni didominasi pelanggan rumah tangga dimana pemakaian listrik pada daerah ini sangatlah cepat berubah seperti pada penyulang cempaka yang rata-rata ketidak seimbangan beban mencapai 36,48 % penyulang cempaka ini jika melakukan pemerataan beban sangatlah mudah dikarenakan tidak ada prioritas oleh karena penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi terhadap PT.PLN (Persero). Metodologi yang digunakan adalah kuantitatif. Dimana data dalam penelitian ini adalah seluruh beban gardu distribusi yang di salurkan melalui penyulang cempaka pada beban puncak malam dikarekanaan mayoritas dari pelanggan tersebut adalah pelanggan rumah tangga. Teknik pengambilan data adalah menggunakan observasi yakni pengukuran gardu langsung dilapangan untuk mendapat nilai pembeban setiap gardu distribusi yang kemudian teknis analisis data menggunakan microsoft excel yang kemudian di simulasikan simulasi di Etab 19. Hasil penelitian ini menunjukkan penyulang cempaka tidak beroperasi secara optimal terdapat kerugian selama beroperasi yang di akibatkan oleh enegi yang terbuang di netral sebesar 74.311,08 kWh pertahun serta ketidakseimbangan

beban mencapai 36,48 % dengan dilakukannya rekomendasi optimalisasi pengaruh ketidakseimbangan beban gardu distribusi terhadap arus netral penyeimbangan beban PT. PLN (Persero) ULP Sentani penyulang cempaka dan rugi-rugi energi pada penghantar netral setelah penyeimbangan menjadi sebesar 0 kWh serta persentase ketidakseimbangan beban terbesar setelah penyeimbangan turun menjadi sebesar 0 %.

Kata Kunci: Ketidakseimbangan, Etab 19, Gardu Distribusi

Penulis Korespondensi:

Mohammad Farizki Widodo,

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,

Universitas Cenderawasih,

Email: mohammad.widodo@pln.co.id

1. PENDAHULUAN

Pada era modern ini, kebutuhan akan tenaga listrik menjadi esensial dalam kehidupan manusia, menjadikannya salah satu sumber daya paling penting. Seiring dengan perkembangan masyarakat dalam hal kebutuhan listrik, gardu distribusi yang pada awalnya seimbang mengalami ketidakseimbangan beban, mengakibatkan arus terbuang ke tanah. Situasi ini sangat merugikan bagi Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Di beberapa penyulang PT. PLN (Persero) ULP Sentani, terdapat klaster penyulang yang ditetapkan berdasarkan peruntukannya, seperti Express, VIP, Industri, dan Biasa. Penyulang dengan peruntukan biasa, terutama yang didominasi oleh pelanggan rumah tangga, mengalami ketidakseimbangan beban yang signifikan. Contohnya, penyulang Cempaka menunjukkan tingkat ketidakseimbangan beban rata-rata mencapai 36,48%, menyebabkan kehilangan energi sebesar 74.311,08 kWh per tahun atau setara dengan Rp. 107.357.217,3 per tahun. Pemerataan beban pada penyulang ini menjadi lebih mudah dilakukan karena tidak ada prioritas seperti gedung pemerintahan atau pabrik yang tidak dapat dimatikan selama pemerataan beban. Oleh karena itu, optimalisasi pembebanan penyulang Cempaka menjadi suatu kebutuhan.

Optimalisasi dalam konteks ini merujuk pada usaha untuk mencapai efisiensi yang tinggi dengan mengurangi presentasi kerugian operasional yang disebabkan oleh arus terbuang pada netral akibat ketidakseimbangan beban. Ini dapat dicapai dengan memindahkan beban setiap fase (R, S, T) sesuai hasil perhitungan, dengan harapan mencapai keseimbangan beban,

meningkatkan keandalan listrik, dan mengurangi kerugian energi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, Penelitian ini menghadapi beberapa masalah yang perlu dipecahkan, antara lain cara menentukan persentase pembebanan dan ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi, cara menentukan besarnya rugi-rugi energi akibat ketidakseimbangan beban, dan langkah-langkah penanganan agar penyulang Cempaka dapat beroperasi secara optimal terhadap ketidakseimbangan beban gardu distribusi.

Penelitian ini bertujuan menentukan persentase pembebanan dan ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi, menganalisis besarnya rugi-rugi daya sebelum dan sesudah penyeimbangan beban, serta menentukan rekomendasi agar penyulang Cempaka dapat beroperasi secara optimal terhadap pengaruh ketidakseimbangan beban gardu distribusi melalui simulasi di Etab 19.

Dalam studi transformator distribusi ini, fokus terbatas pada pengaruh ketidakseimbangan beban di gardu distribusi Penyulang Cempaka. Data pengukuran diambil pada tanggal 6 bulan April 2023, pada waktu beban puncak antara pukul 18.00–21.00 WIT.

Manfaat penelitian ini mencakup penentuan persentase pembebanan dan ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi, analisis rugi-rugi daya sebelum dan sesudah penyeimbangan beban, serta rekomendasi agar penyulang Cempaka dapat beroperasi secara optimal terhadap ketidakseimbangan beban gardu distribusi melalui simulasi di Etab 19.

No	Unit	Penyulang	Nomer Gardu	Daya (KVA)	Merek
1	SENTANI	CEMPAKA	STN001	50	BBD
2	SENTANI	CEMPAKA	STN002	100	SINTRA
3	SENTANI	CEMPAKA	STN003	100	BBD
4	SENTANI	CEMPAKA	STN004	100	BBD
5	SENTANI	CEMPAKA	STN005	160	SINTRA
6	SENTANI	CEMPAKA	STN006	100	BBD
7	SENTANI	CEMPAKA	STN007	160	TFI
8	SENTANI	CEMPAKA	STN010	100	STARLATE
9	SENTANI	CEMPAKA	STN175	160	TFI
10	SENTANI	CEMPAKA	STN217	100	BBD

Tabel 1. Hasil Pengukuran Beban Gardu Distribusi Penyulang Cempaka Sebelum Penyeimbangan

B. Analisa Beban Puncak Sebelum Penyeimbangan

$$I_{rata-rata} = \frac{83,5+99,2+69,3}{3} = 84,00 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{125,9+120,9+88,4}{3} = 111,73 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas, beban puncak pada siang hari terjadi pada penyulang cempaka dengan beban rata-rata tertinggi pada 84 A dan beban puncak pada malam hari dengan beban rata-rata Tertinggi pada 111,73 A pada Gardu STN175.

No	Nomer Gardu	Daya (KVA)	Merek	WBP					Tegangan Rata-Rata
				Waktu Pengukuran	ARUS				
					R	S	T	N	
1	STN001	50	BBD	6/4/2023 19.10	18	25.4	0.196	24.41	401.00
2	STN002	100	SINTRA	6/4/2023 19.16	72.4	39.82	63.5	41.04	382.80
3	STN003	100	BBD	6/4/2023 21.00	107.3	5.725	40.59	106.1	404.23
4	STN004	100	BBD	6/4/2023 19.56	21.17	34.79	45.05	24.83	398.27
5	STN005	160	SINTRA	6/4/2023 20.04	71.5	83.4	82.3	65.6	398.57
6	STN006	100	BBD	6/4/2023 20.20	19.97	10.72	22.61	18.74	401.27
7	STN007	160	TFI	6/4/2023 20.42	45.02	24.71	47.23	38.66	387.27
8	STN010	100	STARLATE	6/4/2023 19.12	23.64	72.1	25.92	50.79	398.27
9	STN175	160	TFI	6/4/2023 21.11	125.9	120.9	88.4	72.4	406.60
10	STN217	100	BBD	6/4/2023 20.27	57.8	76.8	6.93	59.4	400.23

Tabel 2. Arus Rata-Rata LWBP Gardu Distibusi Penyulang Cempaka.

Hasil Perhitungan Analisa Beban Puncak Sebelum Penyeimbangan didapatkan pembebanan paling tinggi terjadi pada WBP dikarenakan kawasan tersebut mayoritas di bebani oleh pelanggan pelanggan rumah tangga yang mengalami pemakaian secara penuh pada malam hari. Oleh karena itu pada analisa bab ini penulis memfokuskan pada beban WBP untuk menganalisa pembagian beban di fokuskan pada beban penuh. Untuk menghitung besar

ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{18}{14,53} = 1,24$$

$$b = \frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{25,4}{14,53} = 1,75$$

$$c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{0,196}{14,53} = 0,01$$

No	Nomer Gardu	WBP					Arus Rata-Rata	Persentase pembebanan	Ketidak Seimbangan Beban		
		Waktu Pengukuran	ARUS						a	b	c
			R	S	T	N					
1	STN001	6/4/2023 19.10	18	25.4	0.196	24.41	14.53	20.14%	1.24	1.75	0.01
2	STN002	6/4/2023 19.16	72.4	39.82	63.5	41.04	58.57	40.58%	1.24	0.68	1.08
3	STN003	6/4/2023 21.00	107.3	5.725	40.59	106.1	51.21	35.48%	2.10	0.11	0.79
4	STN004	6/4/2023 19.56	21.17	34.79	45.05	24.83	33.67	23.33%	0.63	1.03	1.34
5	STN005	6/4/2023 20.04	71.5	83.4	82.3	65.6	79.07	34.24%	0.90	1.05	1.04
6	STN006	6/4/2023 20.20	19.97	10.72	22.61	18.74	17.77	12.31%	1.12	0.60	1.27
7	STN007	6/4/2023 20.42	45.02	24.71	47.23	38.66	38.99	16.88%	1.15	0.63	1.21
8	STN010	6/4/2023 19.12	23.64	72.1	25.92	50.79	40.55	28.10%	0.58	1.78	0.64
9	STN175	6/4/2023 21.11	125.9	120.9	88.4	72.4	111.73	48.38%	1.13	1.08	0.79
10	STN217	6/4/2023 20.27	57.8	76.8	6.93	59.4	47.18	32.68%	1.23	1.63	0.15

Tabel 3. Hasil Perhitungan Analisa Ketidakseimbangan Beban Sebelum Penyeimbang

C. Rencana Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi

Untuk melaksanakan penyeimbangan beban gardu distribusi, perlu dilakukan perhitungan pembagian beban setiap fasanya dan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

Pemindahan beban untuk penyeimbangan beban Gardu Distribusi

Fasa R = IRata-rata – IFasa R

Fasa S = IRata-rata – IFasa S

Fasa T = IRata-rata – IFasa T

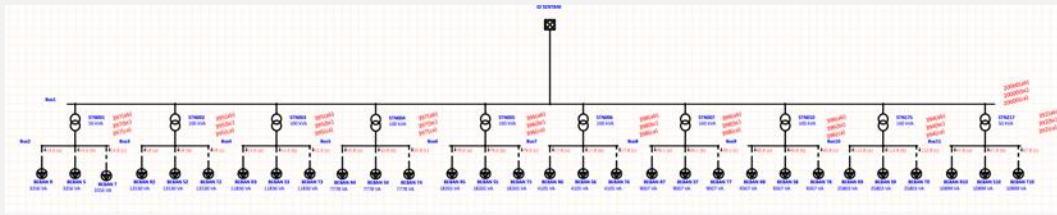
Berdasarkan Perhitungan diatas, untuk menghitung besarnya beban yang dipindahkan setiap fasa dapat di lihat pada table berikut berikut:

No	Nomer Gardu	WBP					Arus Rata-Rata	Rekomendasi Penyeimbangan Beban		
		Waktu Pengukuran	ARUS					R	S	T
			R	S	T	N				
1	STN001	6/4/2023 19.10	18	25.4	0.196	24.41	14.53	-3.47	-10.87	14.34
2	STN002	6/4/2023 19.16	72.4	39.82	63.5	41.04	58.57	-13.83	18.75	-4.93
3	STN003	6/4/2023 21.00	107.3	5.725	40.59	106.1	51.21	-56.10	45.48	10.62
4	STN004	6/4/2023 19.56	21.17	34.79	45.05	24.83	33.67	12.50	-1.12	-11.38
5	STN005	6/4/2023 20.04	71.5	83.4	82.3	65.6	79.07	7.57	-4.33	-3.23
6	STN006	6/4/2023 20.20	19.97	10.72	22.61	18.74	17.77	-2.20	7.05	-4.84
7	STN007	6/4/2023 20.42	45.02	24.71	47.23	38.66	38.99	-6.03	14.28	-8.24
8	STN010	6/4/2023 19.12	23.64	72.1	25.92	50.79	40.55	16.91	-31.55	14.63
9	STN175	6/4/2023 21.11	125.9	120.9	88.4	72.4	111.73	-14.17	-9.17	23.33
10	STN217	6/4/2023 20.27	57.8	76.8	6.93	59.4	47.18	-10.62	-29.62	40.25

Tabel 4. Rekomendasi Pemindahan Beban Setiap Fasa

Dari perhitungan diatas, Artinya jika nilai Minus (-) maka ada pengurangan beban diphasa tersebut yang akan dipindahkan ke Fasa Bernilai Positif (+) dengan melakukan rekomendasi tersebut maka akan menyeimbangkan beban trafo distribusi dan mengurangi arus yang mengalir di netral sehingga rugi rugi yang terjadi akan turun.

D. Hasil Simulasi Etap 19 Beban Gardu Distribusi Setelah Penyeimbangan



Gambar 3. Hasil Simulasi Etap 19 Beban Gardu Distribusi Setelah Penyeimbangan

Dari Simulasi diatas dapat dilihat bahwa setelah dilakukan penyeimbangan beban, nampak beban setiap fasanya sudah seimbangan. Dan

untuk arus yang mengalir ke netral akan saling meniadakan lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

No	Nomer Gardu	Daya (KVA)	Simulasi Setelah Penyeimbangan Beban						
			R	S	T	N	Tegangan		
1	STN001	50	14.53	14.53	14.53	0.00	397	397	397
2	STN002	100	58.57	58.57	58.57	0.00	395	395	395
3	STN003	100	51.21	51.21	51.21	0.00	395	395	395
4	STN004	100	33.67	33.67	33.67	0.00	397	397	397
5	STN005	160	79.07	79.07	79.07	0.00	396	396	396
6	STN006	100	17.77	17.77	17.77	0.00	398	398	398
7	STN007	160	38.99	38.99	38.99	0.00	398	398	398
8	STN010	100	40.55	40.55	40.55	0.00	396	396	396
9	STN175	160	111.73	111.73	111.73	0.00	394	394	394
10	STN217	100	47.18	47.18	47.18	0.00	392	392	392

Tabel 5. Hasil Simulasi Beban Setelah Penyeimbangan

Dalam hal ini kita melakukan dua tahapan dalam melakukan analisa dimana hal ini kita lakukan untuk saling menutupi kekurangan dan kelebihan dalam melakukan analisa tersebut pertama menggunakan microsoft excel sebagai perhitungan memasuk perhitungan data hasil pengukuran untuk mendapatkan rekomendasi pemindahan beban yang akan dilakukan kemudian disimulasikan hasil rekomendasi dari di masukkan ke simulasi etap 19 agar mendapatkan nilai real dari arus dan tegangan setelah dilakukannya penyeimbangan beban di karenakan jika semua dilakukan pada microsoft excel hasil arus pada netral dan tegan disetiap phasa setelah penyeimbangan tidak akan muncul yang mana hasil tersebut akan menjadi bahan evaluasi terhadap pelaksana di lapangan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis, didapati bahwa persentase ketidakseimbangan beban tertinggi sebelum penyeimbangan terdapat pada STN 003, mencapai 73.03%. Namun, setelah dilakukan penyeimbangan, persentase ketidakseimbangan beban berhasil ditekan menjadi 0%. Selain itu,

ketidakseimbangan beban sebelum penyeimbangan menyebabkan rugi-rugi energi pada penghantar netral sebesar 203,592 kWh per hari atau 74,311.08 kWh per tahun. Setelah penyeimbangan, rugi-rugi daya pada penghantar netral dapat dieliminasi, mencapai 0 kWh. Dalam upaya meningkatkan kinerja penyulang Cempaka terhadap ketidakseimbangan beban di gardu distribusi, disarankan untuk memastikan nilai ketidakseimbangan beban tetap di bawah 20%. Untuk mendukung pemantauan dan penanganan yang cepat, perlu adanya penggunaan alat pengukuran real-time yang terintegrasi dengan perangkat Android. Selain itu, penyeimbangan beban perlu dilakukan pada gardu distribusi yang mengalami overload pada salah satu fasanya untuk mengurangi rugi-rugi daya. Implementasi tindakan ini sebaiknya diatur dengan jadwal yang terstandarisasi untuk mempercepat proses penyeimbangan beban dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hanif, Muhammad. 2017. *"Analisa Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Performa Transformator 3 Phasa Feedback 61-103 Pada Berbagai Hubungan Belitan Skala Laboratorium Listrik Kapal Dan Otomatisasi"*. Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [2] Lumbantobing, Reymon. 2016. *"Optimasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Rugi-Rugi Pada Transformator Distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Belawan"*. Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [3] PT. PLN PERSERO. 2014. SPLN D3.010-2: *"Spesifikasi Kabel Tenaga Tegangan Rendah"*. Jakarta.
- [4] PT. PLN PERSERO. 2021. *"Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik (Tariff Adjustment)"*. Jakarta.
- [5] Siregar, Mhd Arifin. 2013. *"Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru"*. Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Pekanbaru.
- [6] Suyandi, Egi. 2017. *"Analisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi area rayon Yogyakarta kota di PT. PLN (Persero) APJ Gedong Kuning Yogyakarta"*. Elektrikal, Vol 4, Nomor 2 (halaman 1-10). Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi Akprind. Yogyakarta.
- [7] Rizki, Ahmad. 2021. *"Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo 200 KVA"*. Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
- [8] PT. PLN PERSERO RAYON SAPE. 2016. *"YANTEK – Pemeliharaan Gardu"*. Bima Nusa Tenggara Barat.
- [9] PT MEGA KARYA PERKASA. 2017. *"GARDU KIOS TERPADU 400 KVA"*. Jakarta Barat.
- [10] Fauzi, Rizky Zulfikar. 2019. *"GARDU DISTRIBUSI"*. Jakarta.
- [11] Suswanto, Daman. 2009. *"SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK"*. Edisi Pertama, 2009. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Padang.
- [12] Lesmana, Sigit. 2021. *"ANALISA PERBAIKAN FAKTOR DAYA SISTEM KELISTRIKAN"*. Teknik Elektro, Universitas Darma Persada. Jakarta Timur.
- [13] PT PLN (Persero) Regional Maluku Papua, 2018. *"IMPLEMENTASI APLIKASI SISTEM MONITORING TRAFO (SIMANTRA) REGIONAL MALUKU DAN PAPUA"*. Edisi kedua, 2018. Divisi Operasi Regional Maluku Dan Papua. Jakarta