

Metode Fuzzy Dalam Penyeimbangan Beban Transformator Di Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Kazman Riyadi*¹

¹Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, 90221, Indonesia

e-mail: kazmanriyadi@poliupg.ac.id

Received: January,21,2023; Accepted: March,25,2023; Published: March,27,2023

Abstrak

Gardu distribusi dilengkapi dengan instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi konsumen. Ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi merupakan salah satu masalah yang umum dijumpai dalam pendistribusian energi listrik sekarang ini. Ketidakseimbangan beban menimbulkan banyak kerugian pada peralatan khususnya trafo, salah satunya yaitu rugi daya listrik akibat mengalirnya arus listrik pada penghantar netral keluaran trafo gardu distribusi selama pembebanan trafo. Ketidakseimbangan beban juga akan memperpendek umur trafo akibat beban panas pada belitan trafo. Tujuan dari penelitian ini melakukan analisa terhadap ketidakseimbangan beban dan melakukan penyeimbangan beban trafo sesuai standar yang diinginkan sehingga mampu mengurangi rugi-rugi daya pada trafo tersebut. Dalam penelitian ini akan dilakukan Pengaplikasian metode fuzzy dengan menggunakan software Matlab dan pengembangan nominal aturan fuzzy akan lebih maksimal menurunkan nilai arus netral pada trafo dalam proses penyeimbangan beban Trafo tersebut. Hasil perhitungan keseimbangan beban trafo diperoleh persentase 1,067 % dengan masing-masing arus fasa R =112,43 A, fasa S=114,33 A dan fasa T= 109,44 sedangkan rugi-rugi arus yang mengalir pada penghantar netral dan mampu direduksi selama penyeimbangan adalah $69,203 \angle 24,106^\circ$ watt menjadi $0,066 \angle 180^\circ$ watt. Berdasarkan parameter tersebut dapat disimpulkan penyeimbangan beban trafo dapat mengurangi rugi-rugi pada trafo

Kata kunci: distribusi tenaga listrik, keseimbangan beban, Transformator.

Abstract

The distribution substation is equipped with the installation of Medium Voltage Connection Equipment (PHB-TM), Distribution Transformer (TD), and Low Voltage Connection Equipment (PHB-TR) to supply the electricity needs of consumers. Disappointment with the load at the distribution substation is one of the common problems encountered in the distribution of electrical energy today. Load disasters cause many losses to equipment, especially transformers, one of which is the loss of electric power due to the flow of electric current in the neutral conductor at the output of the distribution substation transformer during transformer loading. Load compatibility will also shorten the life of the transformer due to the heat load on the transformer windings. The purpose of this study is to analyze the attention of the load and balance the transformer load according to the desired standard to reduce power losses in the transformer. In this research, the application of the fuzzy method will be carried out using Matlab and the development of nominal fuzzy rules will maximally reduce the neutral current value in the transformer in the process of balancing the transformer load. 112.43 A, phase S=114.33 A, and phase T= 109.44 while the current losses flowing in the neutral conductor which can be reduced during balancing are $69.203 \angle 24.106^\circ$ watts to $0.066 \angle 180^\circ$ watts. Based on these parameters, it can be concluded that transformer load balancing can reduce transformer losses

Keyword: Electric Power Distribution, Load Balance, Transformer.

1. Pendahuluan

Sistem distribusi merupakan sistem pelayanan yang berhubungan langsung dengan pengguna energi listrik sebagai pemanfaatan energi listrik. Dalam sistem ini terdapat bagian gardu distribusi yang terdiri dari kabel penghantar, isolator, tiang, beberapa peralatan proteksi dan Gardu distribusi [1]. Gardu distribusi dilengkapi dengan instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan

Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi konsumen. prinsip elektromagnetik dengan frekuensi tertentu [2]. secara umum trafo distribusi mempunyai 3 belitan kelauran dalam melayani beban listrik yang masing-masing secara berurut disebut fasa R, fasa S dan fasa T yang idealnya seimbang dalam pembebanan merujuk aturan pengelolah sistem tenaga listrik PLN [3]. Kondisi keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana besaran tiap Phasa sama besar namun tidak membentuk sudut 120° satu sama lain kedua syarat ini harus terpenuhi sebagai syarat keadaan seimbang [4]. Ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi merupakan salah satu masalah yang umum dijumpai dalam pendistribusian energi listrik sekarang ini. Ketidakseimbangan beban menimbulkan banyak kerugian pada peralatan khususnya trafo, salah satunya yaitu rugi daya listrik akibat mengalirnya arus listrik pada penghantar netral keluaran trafo gardu distribusi selama pembebanan trafo [5],[6]. Ketidakseimbangan beban juga akan memperpendek umur trafo akibat beban panas pada belitan trafo tersebut [7]. Dampak dari kerusakan trafo distribusi akan menurunkan keandalan jaringan distribusi tersebut yang tidak terealisasi pelayanannya energi listrik terhadap pelanggan (pengguna) [8],[9].

Keseimbangan beban trafo sulit untuk dihindari hal ini akibat berbagai jenis peralatan waktu pemasangan dan pemakaian beban-beban tersebut tidak bersamaan digunakan [10], sesuai dengan pemantauan yang telah dilakukan pada kondisi lapangan saat penyaluran tenaga listrik ke pelanggan terdapat ketidakseimbangan beban listrik di Gardu Distribusi dengan persentase ketidakseimbangan jauh diatas 5% sebagai batas standar ketidakseimbangan beban [11]. ketidakseimbangan arus antara fasa berada pada *Health Index* pada kategori "buruk". Perlunya melakukan tindakan preventif dalam menangani permasalahan tersebut dalam meningkatkan dan mengoptimalkan peralatan listrik [12],[6]. Tujuan dari penelitian ini melakukan analisa terhadap ketidakseimbangan beban dan melakukan penyeimbangan beban trafo sehingga mengurangi rugi-rugi daya pada trafo tersebut.

Beberapa metode dalam penyeimbangan beban trafo distribusi diantaranya pengukuran parameter arus listrik, langsung pada jaringan pelanggan tegangan rendah (saluran rumah). Kemudian dilakukan Penyeimbangan dengan memindahkan jaringan/*reconnecting* saluran rumah (SR) pada tiap-tiap fasa hingga diperoleh beban yang seimbang di tiap fasanya. Metode yang lebih maju adalah dengan melakukan Analisa sebelum melakukan pemindahan beban, Analisa dapat dilakukan dengan melalui pengolahan data-data beban pada waktu yang telah ditentukan. Beberapa metode Analisa dapat dilengkapi dengan berbagai perangkat simulasi untuk menentukan keseimbangan beban [13],[14]. Metode Analisa statistic sistem pakar yang populer di beberapa tahun terakhir adalah metode kecerdasan buatan (*artificial Inteligent*). Salah satunya adalah fuzzy logic [15], telah banyak digunakan dalam *forecasting* jumlah produksi maupun jumlah penambahan pelanggan [16], [17]. Selain itu juga telah banyak digunakan dalam menentukan loses suatu trafo [11],[15]. Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan pengaplikasian metode fuzzy dengan menggunakan software Matlab dan pengembangan nominal aturan fuzzy akan lebih maksimal penurunan nilai arus netral pada trafo dalam proses penyeimbangan beban Trafo tersebut [16],[18].

2. Metode Penelitian

Lokasi pengambilan data di salah satu trafo distribusi PT PLN (Persero) ULP Daya. Penyulang Bontoa pada gardu induk PPC2 di Unit Layanan Pelanggan (ULP) Daya PT.PLN (Persero) dengan tingkat ketidakseimbangan lebih dari 40%. Analisis penyeimbangan beban menggunakan metode Fuzzy logic Mamdani dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Matlab. Hasil yang diperoleh nantinya berupa bvariabel output perubahan arus yang akan digunakan untuk penyeimbangan fasa R,S dan T [15].

Langkah Langkah penelitian adalah sebagai berikut [18];

1. Menghitung ketidakseimbangan beban trafo distribusi [11] PPC2 arus rata-rata pada pembenanan menggunakan persamaan (1) ;

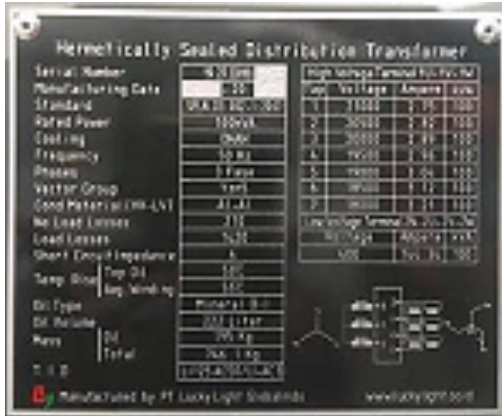
$$I_{rata - rata} = \frac{I_R + I_R + I_T}{3} \quad (1)$$

Sedangkan menghitung persentase ketidakseimbangan digunakan persamaan (2) dimana nilai koefisien a, b dan c diperoleh dari perbandingan arus fasa terhadap arus rata-rata [19].

$$(\%I) = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \% \quad (2)$$

- Melakukan penyeimbangan beban trafo berdasarkan data dan perhitungan langkah 1 menggunakan metode fuzzy Mamdani mengikuti persamaan (3) hingga persamaan (6) dan persamaan (5) [15],[18]:

$$\Delta I_{\text{Fuzzy Mamdani}} = \begin{bmatrix} \Delta IR \\ \Delta Is \\ \Delta IT \end{bmatrix} \quad (3)$$



Spesifikasi Transformator distribusi

Daya	: 100 kVA
Tegangan primer	: 20 KV
Tegangan sekunder	: 400 Volt
Frekuensi	: 50 Hz
Arus primer	: 2,9 Amp
Arus sekunder	: 144.34 Amp
Cos Φ	: 0,85
Cooling	: ONAN
Tipe Minyak-Oil/vol	: Mineral /222 I
Poc	: 210 VA
Zsc	: 4 Ω
Merk Trafo	: Voltra
Jenis Trafo	: 3 phasa

Gambar 1 Data Trafo Distribusi pada Gardu Distribusi PPC2

Berikut Data pembebanan trafo distribusi pada gardu induk PPC2 dapat dilihat pada tabel 1. Sehingga nilai perhitungan *I rata – rata* diperoleh;

Tabel 1. Beban arus pada transformator distribusi GI PPC2

No	Phasa Transformator	Arus (A)	Phasa Transformator	Tegangan (V)
1	R	185	Antara phasa	402
2	S	89	Phasa terhadap Netral	231
3	T	62		
4	N	104		
Perhitungan <i>I rata – rata</i>		112		

Perhitungan error rata-rata (AE) digunakan persamaan (4) dan persamaan (5)

$$AE = \frac{\sum \Delta I_{\text{Fuzzy Mamdani}}}{3} \quad (4)$$

$$\Delta I_{\text{Error}} = \begin{bmatrix} AE \\ AE \\ \sum \Delta I_{\text{Fuzzy Mamdani}} - 2AE \end{bmatrix} \quad (5)$$

Selanjutnya I_{Final} merupakan arus trafo setelah perhitungan ;

$$I_{\text{Final}} = I_{\text{Input}} + \Delta I \quad (6)$$

- Melakukan perhitungan rugi-rugi akibat arus netral pada trafo menggunakan persamaan (7) dan persamaan (8) [19]

$$I_N = \left(I_R - \frac{1}{2} I_T - \frac{1}{2} I_S \right) + j \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} I_T + \frac{\sqrt{3}}{2} I_S \right) \quad (7)$$

3. Hasil dan diskusi

3.1. Penyeimbangan beban menggunakan Fuzzy Logic

Persentase (%) pembebanan pada transformator distribusi 3 fasa diperoleh

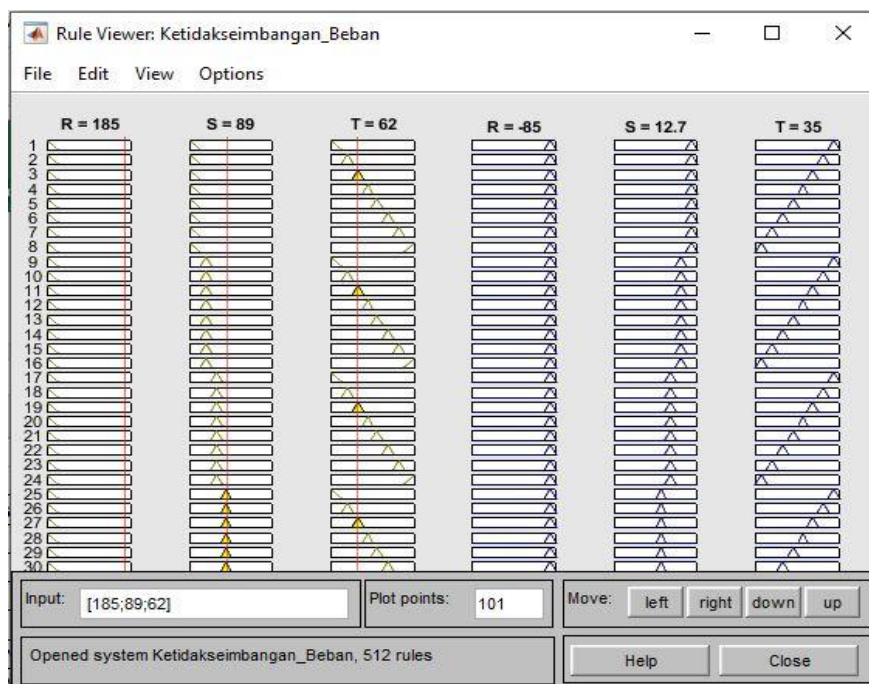
$$\frac{|1,65-1|+|0,79-1|+|0,55-1|}{3} \times 100\% = 43,67 \%$$

Penyeimbangan dilakukan dengan metode fuzzy logic mamdani dengan melakukan fuzzyfikasi dengan variabel input dan output diperlihatkan pada tabel 2;

Tabel 2 Variabel input dan Output fuzzy pada Matlab

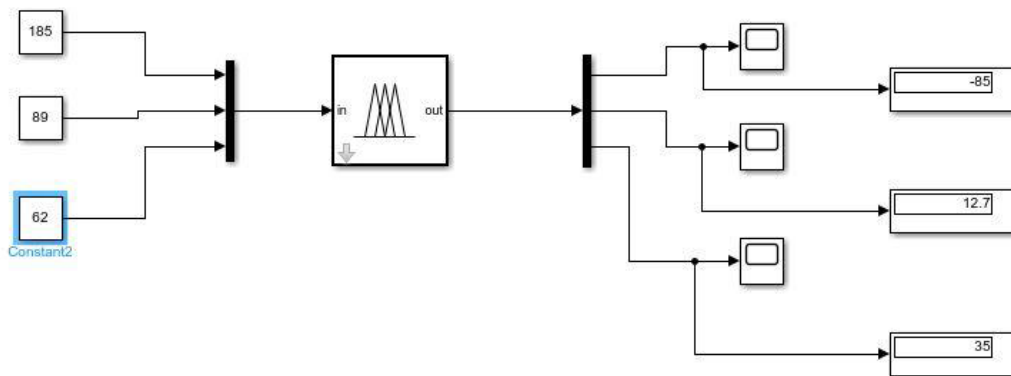
No	Fungsi Keanggotaan	Domain	Fungsi Keanggotaan	Domain
1	Beban Sangat Kurang	0 s/d 30	Min Sangat Banyak	-100 s/d -70
2	Beban Kurang	25 s/d 55	Min Banyak	-75 s/d -45
3	Beban Sedang	50 s/d 80	Min Menengah	-50 s/d -20
4	Beban Normal	75 s/d 100	Min Sedikit	-25 s/d 5
5	Kelebihan Beban	95 s/d 125	Normal	0 s/d 25
6	Kelebihan Beban Sedang	10 s/d 150	Plus Menengah	20 s/d 50
7	Kelebihan Beban Banyak	145 s/d 175	Plus Banyak	45 s/d 75
8	Kelebihan Sangat Banyak	170 s/d 200	Plus Sangat Banyak	70 s/d 100

Setelah mengimplementasikan serta dimasukkan data-data dan variabel-variabel yang sudah ditentukan pada program Matlab Model Fuzzy Inference System, penentuan perubahan arus beban keluaran pada fasa R, fasa S, dan fasa T pada Penyulang Bontoa gardu induk PCC2 dapat digunakan pendekatan ruler seperti yang diperlihatkan pada gambar 2 sebagai berikut;



Gambar 2 Variabel output pada penentuan arus beban trafo

Data-data hasil pengukuran arus beban pada fasa R, fasa S, dan fasa T selanjutnya menjadi variabel masukan bagi Metode Logika Fuzzy dengan FIS-Mamdani, sehingga dihasilkan variabel perubahan arus keluaran beban masing-masing pada fasa R =-85 A, fasa S=127 A, dan fasa T=35 A. hasil Simulink diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Simulasi perhitungan Fuzzy Logic menggunakan Simulink

Proses fuzzy mamdani selanjutnya menghasilkan matriks perubahan arus beban yang dinyatakan berdasarkan persamaan (5) dan persamaan (6) Hasil yang perhitungan adalah 12,43 sehingga diperoleh ;

$$I_{Final} = \begin{bmatrix} 185 \\ 89 \\ 62 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -72,57 \\ 25,13 \\ 47,44 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 112,43 \\ 114,13 \\ 109,44 \end{bmatrix} A$$

Perhitungan losses pada trafo akibat mengalirnya arus netral pada penghantar diperoleh

$$I_N = (112,43 - 1/2 \cdot 109,44 - 1/2 \cdot 114,13) + j \left(-\sqrt{3}/2 \cdot 114,13 + \sqrt{3}/2 \cdot 109,44 \right)$$

$$I_N = 0 + j3,464 ; I_N = 3,464 \angle 90^\circ A$$

3.2. Perbandingan rugi-rugi setelah penyeimbangan beban trafo

Perbandingan setelah perhitungan koefisien persentase dan arus rata-rata setelah penyeimbangan dan sebelum penyeimbangan dapat dilihat pada tabel 3 berikut;

Tabel 3 Perbandingan parameter arus setelah penyeimbangan

Phasa	Arus penyeimbangan (A)		Arus Netral (A)	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
R	185	112,43		
S	89	114,13		
T	62	109,44	111,96 \angle 12,053°	3,464 \angle 90°
% I	43,67 %	1,067 %		
	Rugi-rugi daya trafo		69,203 \angle 24,106°	0,066 \angle 180°

Berdasarkan penelitian dapat dilakukan diskusi bahwa keseimbangan beban dapat dianalisis dengan menggunakan metode fuzzy logic, mamdani dengan memberi nilai fungsi keanggotaan yang sesuai, ketepatan keseimbangan beban dipengaruhi oleh fungsi keanggotaan tersebut. Keakuratan akan menjadi berarti jika fuzzyfikasi disesuaikan dengan kondisi beban pelanggan. Pelanggan PLN itu sendiri terdiri dari pelanggan R1 hingga R3 dengan daya terpasang 900 VA hingga 2200 VA [20].

Berdasarkan nilai arus netral yang mengalir pada trafo distribusi diperoleh penghematan secara ekonomi rugi-rugi arus netral selama pengoperasian. Keseimbangan beban trafo distribusi akan mempengaruhi *Health Index* dari buruk menjadi baik (good) pada persentase keseimbangan beban trafo distribusi di bawah 10% [21].

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini Persentase ketidakseimbangan beban transformator distribusi sebelum penyeimbangan beban sebesar 43,67 % sedangkan setelah proses penyeimbangan beban persentase ketidakseimbangan beban berkurang menjadi 1,067 %. hal ini telah memenuhi standar ketidakseimbangan beban dibawah 5%. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan fuzzy logic simulasi Simulink diperoleh error rata-rata untuk masing-masing fasa R = -85 A, fasa S=127 A, dan fasa T=35 A. Dimana nilai arus netral pada penghantar netral GD PCC2 berkurang setelah penyeimbangan beban dari $111,968 \angle 12,053^\circ$ A menjadi $3,464 \angle 90^\circ$ A. Sebanding dengan rugi-rugi daya penyeimbangan sebesar $69,203 \angle 24,106^\circ$ dan setelah penyeimbangan sebesar $0,066 \angle 180^\circ$.

5. Notasi

Notasi dan uraian simbol singkatan:

- EA : Rata-rata error ketidakseimbangan arus fasa
%I : Persentase ketidakseimbangan arus rata-rata tiap fasa
 I_{Final} : Nilai arus penyeimbangan trafo.
 I_N : Arus netral yang mengalir pada trafo

Referensi

- [1] E. J. Paembonan, A. R. Sultan, and S. Sofyan, "Analisis Fuse Cut Out Sebagai Proteksi Penyulang Tondon pada Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Rantepao," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 2021, pp. 74–79.
- [2] H. Farizi, "Analisis Indeks Keandalan pada Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang KA. 1, KU. 1 Dan TW. 1 di PT. PLN (Persero) UP3 Lubuk Pakam." Universitas Sumatera Utara, 2022.
- [3] D. Ardian, B. Utama, and M. Arsyad, "PENYEIMBANGAN BEBAN TRAFODISTRIBUSI 3 FASA PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH," *JMTE J. Mhs. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 31–43, 2020.
- [4] A. Ketidakseimbangan *et al.*, "Zainal Sya'roni Tri Rijanto".
- [5] P. Mangera and D. Hardiantono, "Analisis Rugi Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Cabang Merauke," *Musamus J. Electro Mechanical Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 61–69, 2019, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3516283>.
- [6] I. P. Sutawinaya, I. W. Sudiarta, I. K. Ta, and I. G. G. Saputra, "Simulasi penerapan looping system JTR untuk meningkatkan layanan pelanggan PT. PLN (Persero) menggunakan perangkat lunak ETAP," *J. Appl. Mech. Eng. Green Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 78–86, 2022.
- [7] A. D. Tarigan and R. Pulungan, "Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 10–15, 2018.
- [8] A. Asmar and R. F. Gusa, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Pada Penyulang Pangkalbalam GI Air Anyir Di Pln Area Bangka," in *Proceedings Of National Colloquium Research And Community Service*, 2018, vol. 2.
- [9] R. Saiful, S. Syarifuddin, and K. Riyadi, "Penilaian Keandalan Sistem Tenaga Listrik dengan Menggunakan Formula Analitis Deduksi," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 2023, vol. 8, no. 1, pp. 398–403.
- [10] I. W. Yoga Prasetya, I. N. Setiawan, and I. G. Dyana Arjana, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Dan Harmonisa Pada Transformator Distribusi Mi 0096 Penyulang Abianbase," *J. SPEKTRUM*, vol. 7, no. 1, p. 109, 2020, doi: 10.24843/spektrum.2020.v07.i01.p16.
- [11] A. T. M. Nugraha, A. Andang, and M. A. Risnandar, "ANALISIS PENYEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DI FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS SILIWANGI," *JEEE*, vol. 3, no. 1, pp. 71–77, 2022.
- [12] I. Wiguna, A. A. N. M. Narottama, and I. K. Suryawan, "Studi Analisis Up Rating Sebagai Upaya Meningkatkan Efisiensi Transformator Overblast pada Gardu Distribusi BL 189 Penyulang Liligundi." Politeknik Negeri Bali, 2022.
- [13] R. T. G. Rizky, Z. Zulfahri, and A. Arlenny, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Jaringan Distribusi Tegangan Rendah menggunakan ETAP," *SainETIn J. Sains, Energi, Teknol. dan Ind.*, vol. 6, no. 2, pp. 81–89, 2022.
- [14] S. Pranoto, N. N. Rusli, I. A. T. Distribusi, and I. Pendahuluan, "Penyeimbangan Beban pada Trafo Distribusi Penyulang Akkarena di Unit Layanan Pelanggan Mattoanging PT PLN (

- Persero),” pp. 37–46, 2020.
- [15] A. W. Indrawan, S. Syarifuddin, P. Purwito, A. R. Sultan, and A. Ilahi, “Penyeimbang Beban pada Gardu Distribusi dengan Metode Fuzzy Logic di Penyulang Lanosi ULP Tomoni PT. PLN (Persero),” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 18, no. 2, pp. 76–83, 2021.
- [16] K. Budiman, “Analisa Daya Listrik Terpasang Dan Penentuan Kapasitor Bank Berbasis Fuzzy Logic Pada Multi Building Kampus UNISSULA.” Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2021.
- [17] H. Fahmi, “Penerapan Sistem Pakar Untuk Diagnosa Gizi Buruk Pada Balita Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani,” *J. Mantik Penusa*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [18] M. W. Djagolado, A. Amirullah, and S. Saidah, “Pengembangan Nominal Aturan Fuzzy pada Metode Fuzzy Mamdani untuk Menyeimbangkan Beban Tiga Fasa pada Saluran Distribusi Tegangan Menengah,” *Rekayasa*, vol. 14, no. 3, pp. 431–442, 2021.
- [19] M. N. Hidayatullah, “ANALISA RUGI DAYA DAN EFISIENSI PENYALURAN TENAGA LISTRIK DARI GI SEDUDUK PUTIH KE JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV UP3 PALEMBANG UIW S2JB.” POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA, 2019.
- [20] M. I. Bachtiar and K. Riyadi, “Studi Kabel Penghantar pada Instalasi Listrik Gedung Pertemuan Unhas BerstandarisaSi PUIL 2011,” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 18, no. 2, pp. 60–64, 2020.
- [21] F. Ortiz, I. Fernandez, A. Ortiz, C. J. Renedo, F. Delgado, and C. Fernandez, “Health indexes for power transformers: A case study,” *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 32, no. 5, pp. 7–17, 2016.