

ANALISIS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DAYA 300 KVA DI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PT. SIER

Muhammd Avif¹, Aris Heri Andriawan², Giovanni Dimas Prenata³
Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45, Menur Pumpungan, Sukolilo, Surabaya 60118
Email: king.avif@gmail.com¹, aris_po@untag-sby.ac.id², gprenata@untag-sby.ac.id³

ABSTRAK

Listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kelancaran proses produksi disetiap industri. Maka sudah hal yang wajib untuk memperhatikan keandalan sistem tenaga listrik guna menjaga kelancaran saat proses produksi berlangsung. Dari hal tersebutlah maka dilakukan penelitian tentang pembebanan transformator di IPAL PT. SIER yang bertujuan untuk mengetahui nilai *derating* transformator, nilai persentase pembebanan transformator, nilai ketidakseimbangan transformator, nilai rugi-rugi transformator, dan nilai efisiensi transformator. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui besaran nilai dari transformator yang terpasang tidak melebihi dari nilai SPLN yang berlaku. Dengan menggunakan metode kuantitatif data didapat dari pengukuran dilapangan dan akan dianalisis secara sistematis. Selama 5 hari pengukuran didapatkan hasil bahwa nilai *derating* transformator sebesar 14,55 kVA atau sebesar 14,26 kW dengan persentase *derating* sebesar 4,85%. Persentase pembebanan transformator sebesar 66,3% (SPLN maksimal 80%, minimal 40%). Nilai ketidakseimbangan beban sebesar 1,67% (SPLN dikategorikan baik jika <10%). Persentase nilai arus pada penghantar netral sebesar 13,02% (SPLN nilai arus netral <20%) dengan nilai rugi-rugi akibat adanya arus penghantar netral sebesar 0,24 kW atau sebesar 0,08%. Persentase efisiensi yang terbebani sebesar 99,91% dari nilai efisiensi optimal sebesar 100%.

Kata kunci: *derating* trafo, ketidakseimbangan beban trafo, rugi-rugi trafo.

ABSTRACT

Electricity plays a very important role in the smooth production process in every industry. So it is mandatory to pay attention to the reliability of the electric power system in order to maintain the smooth running of the production process. From this, a research was conducted on transformer loading in WWTP PT. SEER which aims to determine the value of derating transformer, the value of the percentage of transformer loading, the value of transformer imbalance, the value of transformer losses, and the value of the efficiency of the transformer. This is done in order to find out the magnitude of the value of the installed transformer does not exceed the applicable SPLN value. By using quantitative methods, the data is obtained from field measurements and will be analyzed systematically. During 5 days of measurement, it was found that the derating value of the transformer was 14.55 kVA or 14.26 kW with a derating percentage of 4.85%. The percentage of transformer loading is 66.3% (maximum SPLN 80%, minimum 40%). The load imbalance value is 1.67% (SPLN is categorized as good if <10%). The percentage of the current value in the neutral conductor is 13.02% (SPLN neutral current value <20%) with the value of losses due to the presence of a neutral conductor current of 0.24 kW or 0.08%. The burdened efficiency percentage is 99.91% of the optimal efficiency value of 100%.

Keywords: *transformer derating, transformer load imbalance, transformer losses.*

1. PENDAHULUAN

Di dalam suatu sistem tenaga listrik industri tidak sedikit terdapat adanya ketidakseimbangan beban, ini bisa saja terjadi karena tidak serempaknya peralatan listrik dinyalakan secara bersamaan membuat beban antar fasa R, S, dan T menjadi tidak seimbang. Hal ini bisa jadi akan menjadi sebab munculnya arus pada penghantar netral yang bisa memunculkan *losses* dan berpengaruh pada efisiensi serta keandalan transformator.

Penelitian mengenai analisis pembebanan transformator sudah banyak dilakukan sebelumnya, namun pada setiap penelitian terdapat beberapa perbedaan dalam pembahasannya. Seperti penelitian yang dilakukan (Priyono, 2017). karena adanya ketidakseimbangan beban dan hasil dari penelitian tersebut nilai rugi-rugi akibat adanya arus pada kabel netral sebesar 33,7223 Watt pada siang hari dan 83,3814 Watt pada malam hari. Sehingga mengurangi efisiensi transformator sebesar 0,02% pada siang hari dan 0,03% pada malam hari. Penelitian yang dilakukan (Nugroho, 2019) mendapatkan hasil persentase ketidakseimbangan beban transformator sebesar 4,33% pada siang hari dan 5,33% pada malam hari. Rugi-rugi transformator sebesar 0,046 kW atau sebesar 0,028% pada siang hari dan 0,448 kW atau sebesar 0,280% pada malam hari. Efisiensi transformator sebesar 53,81 kW atau sebesar 99,9% pada siang hari dan 97,73 kW atau sebesar 99,5% pada malam hari. Penelitian yang dilakukan (Irwan, Kartika and Saputro, 2020) bertujuan untuk mengetahui besaran pembebanan pada transformator. Dan didapatkan hasil rata-rata beban pada transformator yang terpasang kurang dari 50%. Pada penelitian (Afriyan, Wardani and Gatut Budiono, 2021) didapat hasil bahwa nilai pembebanan transformator sebesar 60,2%, nilai ketidakseimbangan beban saat beban puncak sebesar 0,33%, nilai *losses* akibat ada arus pada kabel netral sebesar 1,4265 kW, dan *derating* transformator sebesar 2 kVA atau sebesar 1,8 kW. (Mutiar, 2018) Pada penelitiannya tentang perhitungan efisiensi transformator mendapatkan hasil bahwa beban puncak pada siang hari sebesar 19336,18 kW sedangkan beban puncak pada malam hari sebesar 26798,05 kW. Untuk nilai rugi-rugi saat beban terkecil sebesar 156,38 kW, dan saat beban tertinggi sebesar 507,95 kW. Efisiensi transformator tertinggi saat beban terendah sebesar 98,988%, untuk efisiensi terendah saat beban tertinggi sebesar 98,335%.

Dari beberapa referensi tersebut maka penulis akan melakukan sebuah penelitian dan pengkajian tentang Analisis Pembebanan Transformator di IPAL PT. SIER agar dapat mengetahui nilai *derating*, nilai persentase pembebanan, nilai ketidakseimbangan beban dan rugi rugi transformator, serta nilai efisiensi transformator apakah sesuai dengan nilai dari SPLN. Sehingga bisa didapat nilai yang menjadi acuan pemeliharaan kualitas listrik yang didistribusikan di dalam industri agar tetap terjaga dengan baik.

Tabel 1. Data SPLN No. 17 Tahun 2014 (SPLN, 2014)

Karakter Grup	Karakteristik	Indek Kesehatan			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Pembacaan beban	Ketidakseimbangan arus antar fasa	<10%	10% - <20%	20% - <25%	≤25%
	Besaran arus netral TR (% terhadap arus beban trafo)	<10%	10% - <15%	15% - <20%	≤20%
	Pembebanan trafo (% terhadap kapasitas)	<60%	60% - <80%	80% - <100%	≤100%

Pada tabel 1 dijelaskan menurut SPLN besaran nilai ketidakseimbangan arus antar fasa tidak boleh melebihi 25%. Untuk besaran arus netral tidak boleh melebihi 20%. Dan kapasitas beban transformator tidak boleh mendekati 100%.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kuantitatif, dimana data-data yang dikumpulkan didapat berdasarkan pengukuran di lapangan. Selanjutnya data diambil menggunakan alat ukur, dan akan dianalisis dengan statistik serta diselesaikan dalam bentuk matematis.

Penelitian ini bermula dengan melakukan studi literatur dengan mencari sumber referensi yang bisa didapat dari buku maupun jurnal ilmiah untuk mengetahui beberapa rumusan masalah dan hasil yang didapat dari penelitian. Selanjutnya yaitu pengumpulan data, data disini berupa data pengukuran arus dan tegangan di *input* panel MDP milik IPAL PT. SIER selama 5 hari yaitu senin-jumat. Pengukuran dilakukan selama 8 jam dengan rentang waktu 1 jam sekali untuk pengukuran datanya. Setelah data didapat maka data tersebut akan diolah dan akan dianalisa untuk mengetahui hasil dari rumusan masalah yang dibuat. Akhir dari penelitian ini akan disusun dalam bentuk buku laporan.

Adapun beberapa persamaan yang digunakan dalam menyelesaikan perhitungan yaitu:

1. Derating Transformator (Adi Wirajaya, Rinas and Sukerayasa, 2019)

$$THDF = \frac{1,414 \times (\frac{1}{3} \times (I_R + I_S + I_T)_{rms}}{\frac{1}{3} \times (I_R + I_S + I_T)_{Puncak}} \times 100\% \quad (1)$$

$$kVA \text{ baru} = THDF \times kVA \text{ Trafo} \quad (2)$$

$$\%Derating = \frac{kVA \text{ Trafo} - kVA \text{ Baru}}{kVA \text{ Trafo}} \times 100\% \quad (3)$$

2. Pembebanan Transformator (Irwan, Kartika and Saputro, 2020)

$$P = S \times \cos \varphi \quad (4)$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (5)$$

$$\%beban = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (6)$$

3. Ketidakseimbangan Beban Transformator (Tobi, 2018)

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (6)$$

$$I_R = a \times I_{rata-rata}, \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (7)$$

$$I_S = b \times I_{rata-rata}, \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (8)$$

$$I_T = c \times I_{rata-rata}, \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (9)$$

$$\%_{ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (10)$$

4. Rugi-rugi akibat adanya arus pada kabel netral (Tanjung and Atmam, 2016)

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (11)$$

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% \quad (12)$$

5. Efisiensi Transformator

$$\text{Persentase Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (13)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan *Derating* Transformator

Diketahui bahwa:

Tabel 2. Arus Puncak Selama 5 Hari

Arus	Irms	Ipeak
R	285 A	419 A
S	274 A	409 A
T	270 A	404 A

Pada tabel 2 ditunjukkan bahwa arus puncak yang terjadi selama 5 hari. Dengan data tabel diatas maka dapat dihitung untuk nilai *Derating* transformator:

$$\begin{aligned}
 THDF &= \frac{1,414 \times (\frac{1}{3} \times (I_R + I_S + I_T)rms}{\frac{1}{3} \times (I_R + I_S + I_T) Puncak}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,414 \times (\frac{1}{3} \times (285 + 274 + 270)rms)}{\frac{1}{3} \times (419 + 409 + 404) Puncak} \times 100\% \\
 &= 95,15\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kVA baru} &= THDF \times \text{kVA pengenal} \\
 &= 95,15\% \times 300 \text{ kVA} \\
 &= 285,45 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Derating Transformator (kVA)} &= 300 \text{ kVA} - 285,45 \text{ kVA} \\
 &= 14,55 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

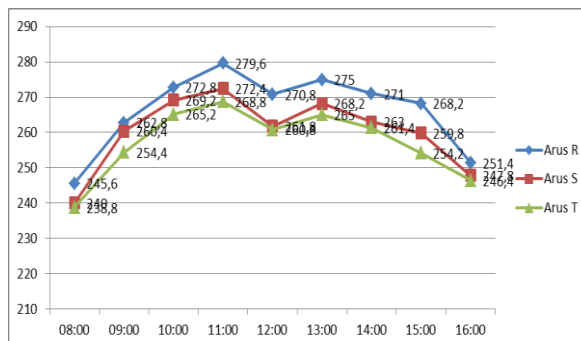
$$\begin{aligned}
 \text{Derating Transformator (kW):} &= 14,55 \text{ kVA} \times 0,98 \\
 &= 14,26 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Derating Transformator (\%):} &= \frac{\text{kVA pengenal} - \text{kVA baru}}{\text{kVA pengenal}} \\
 &= \frac{300 - 285,45}{300} \times 100\% \\
 &= 4,85\%
 \end{aligned}$$

3.2 Analisis Perhitungan Pembebanan Transformator

Gambar 1 menunjukkan grafik rata-rata arus tiap 1 jam sekali selama 5 hari. Dan menunjukkan rata-rata arus puncak pembebanan selama (5 hari) dari hari Senin – Jumat terjadi pada pukul 11.00.

$$\begin{aligned}
 R &= 279,6 \text{ A} \\
 S &= 272,4 \text{ A} \\
 T &= 268,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$



Gambar 1. Grafik rata-rata arus transformator selama 5 hari

Sehingga dari data tersebut persamaan yang digunakan untuk menghitung beban penuhnya (*full load*) transformator sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_{FL} = \frac{285,45}{\sqrt{3} \times 400} = 412,01 \text{ A}$$

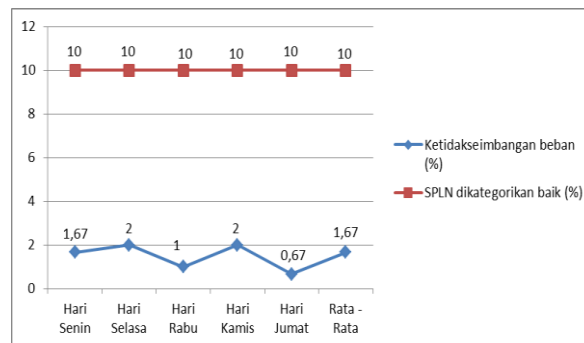
$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{279,6 + 272,4 + 268,8}{3} = 273,6 \text{ A}$$

Persentase pembebanan transformator dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{beban} &= \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \\ &= \frac{273,6}{412,01} \times 100\% \\ &= 66,41\% \end{aligned}$$

Menurut SPLN Nomor 17 Tahun 1979 dimana transformator lebih baik tidak dibebani lebih dari 80% dan tidak dibebani kurang dari 40% (SPLN, 1979). Sedangkan puncak pembebanan transformator selama (5 hari) dari hari Senin – Jumat di IPAL PT. SIER sebesar 66,4%, jadi masih dikategorikan baik.

3.3 Analisis Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Transformator



Gambar 2. Grafik persentase ketidakseimbangan beban selama 5 hari

Gambar 2 menunjukkan rata-rata persentase nilai ketidakseimbangan beban selama 5 hari yaitu sebesar 1,67%. Sedangkan batas maksimal dari nilai ketidakseimbangan yaitu 10%

Perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban transformator selama 5 hari menggunakan persamaan berikut:

$$I_R = a \times I_{rata-rata}, \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{279,6}{273,6} = 1,02$$

$$I_S = b \times I_{rata-rata}, \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{272,4}{273,6} = 0,99$$

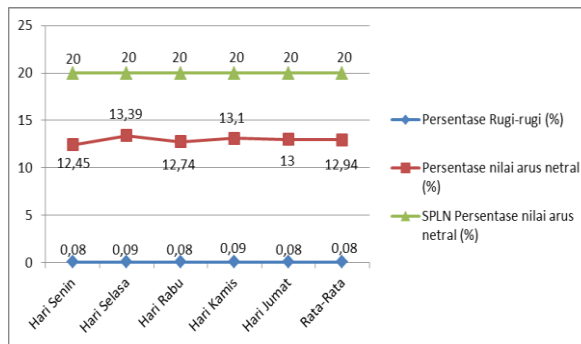
$$I_T = c \times I_{rata-rata}, \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{268,8}{273,6} = 0,98$$

Pada saat beban seimbang nilai koefisien (a, b, dan c) sebesar 1. Sehingga rata-rata ketidakseimbangan beban dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ketidakseimbangan} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,02-1|+|0,99-1|+|0,98-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= 1,67\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui nilai rata-rata ketidakseimbangan selama 5 hari sebesar 1,67%. Sedangkan dari SPLN No. 17 tahun 2014 dikategorikan baik jika nilai ketidakseimbangan beban transformator <10%. Sehingga nilai ketidakseimbangan di IPAL PT. SIER masih dikategorikan baik.

3.4 Analisis Perhitungan Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Pada Penghantar Netral Transformator



Gambar 3. Grafik persentase rata-rata arus netral dan rugi-rugi selama 5 hari

Perhitungan rugi-rugi karena ada arus pada kabel netral transformator selama 5 hari. Untuk menghitung besaran nilai rugi-rugi karena ada arus pada kabel netral menggunakan persamaan berikut: (kawat penghantar netral transformator berukuran 95 mm² dengan nilai R = 0,193 Ω/km)

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (35,4)^2 \times 0,193 \Omega$$

$$P_N = 241,86 \text{ Watt} = 0,24 \text{ kW}$$

Daya aktif transformator dapat dihitung dengan persamaan: (nilai Cos φ = 0,98)

$$P = S \times \text{Cos } \varphi$$

$$P = 285,45 \text{ kVA} \times 0,98$$

$$P = 279,74 \text{ kW}$$

Dengan demikian persentase rugi-rugi karena ada arus pada kabel netral transformator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

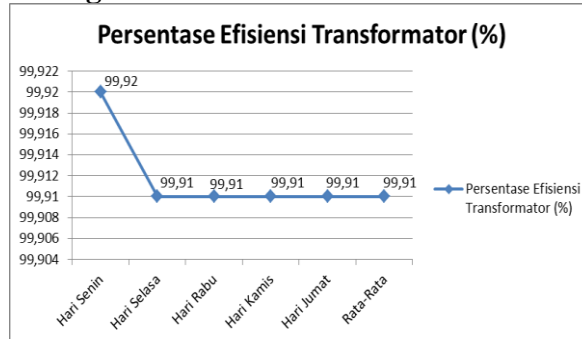
$$\%P_N = \frac{0,24}{279,74} \times 100\%$$

$$\%P_N = 0,08\%$$

Pada perhitungan diatas menunjukkan bahwa persentase arus pada penghantar netral transformator selama (5 hari) dari hari Senin – Jumat sebesar 12,94%. Dan persentase nilai rugi-rugi akibat adanya arus pada penghantar netral transformator sebesar 0,24 kW atau sebesar 0,08%. Berdasarkan SPLN No.17 Tahun 2014

besarnya nilai arus netral tidak boleh melebihi 20% dari arus tiap-tiap fasa. Sedangkan nilai arus netral selama 5 hari di IPAL PT. SIER sebesar 12,94% dikategorikan cukup.

3.5 Analisis Perhitungan Efisiensi Transformator



Gambar 4. Grafik rata-rata efisiensi transformator selama 5 hari

Perhitungan rata-rata efisiensi transformator selama (5 hari) dari hari Senin–Jumat dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Persentase Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Daya output didapat dari daya input dikurangi rugi-rugi:

$$P_{out} = P_{in} - P_N$$

$$P_{out} = 279,74 \text{ kW} - 0,24 \text{ kW} = 279,5 \text{ kW}$$

Maka berdasarkan persamaan (2.50), persentase efisiensi pada transformator dapat dihitung seperti:

$$\begin{aligned} \text{Persentase efisiensi } (\eta) &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{279,5}{279,74} \times 100\% = 99,91\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi transformator yang baik yaitu sebesar 100%, tapi kondisi di lapangan terdapat rugi-rugi daya yang bisa menyebabkan transformator menjadi panas sehingga nilai efisiensi pada transformator akan menurun. Seperti pada gambar 4.9 menunjukkan nilai rata-rata transformator selama (5 hari) dari hari Senin – Jumat yaitu sebesar 99,91%.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan perhitungan data selama 5 hari, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

Nilai dari *derating* transformator di IPAL PT. SIER sebesar 14,55 kVA atau sebesar 14,26 kW, dan nilai persentase *derating* sebesar 4,85%.

Persentase nilai pembebanan transformator selama 5 hari di IPAL PT. SIER sebesar 66,3%. Mengacu pada SPLN 17:1979 bahwa nilai maksimal pembebanan transformator sebesar 80% dan pembebanan dikategorikan baik jika nilai persentase pembebanan transformator diatas 60%. Maka nilai persentase pembebanan di IPAL PT. SIER dikategorikan baik.

Nilai ketidakseimbangan beban di IPAL PT. SIER selama 5 hari sebesar 1,67%. Menurut SPLN N0.17 Tahun 2014 nilai ketidakseimbangan beban dikategorikan baik jika <10%. Maka di IPAL PT. SIER dikategorikan baik.

Persentase besaran nilai arus pada penghantar netral selama 5 hari di IPAL PT. SIER sebesar 12,94%, sedangkan nilai rugi-rugi karena ada arus pada kabel netral sebesar 0,24 kW atau sebesar 0,08%. Mengacu pada SPLN No.17 Tahun 2014 bahwa nilai arus netral tidak boleh melebihi 20% dari nilai tiap-tiap fasa. Maka nilai arus netral pada transformator IPAL PT. SIER dikategorikan cukup.

Persentase nilai efisiensi selama 5 hari di IPAL PT. SIER yaitu sebesar 99,91%. Efisiensi transformator yang optimal yaitu sebesar 100%, jadi semakin sedikit rugi-rugi yang ditimbulkan maka semakin besar persentase nilai efisiensi transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Wirajaya, I. P., Rinas, I. W. and Sukerayasa, I. W. (2019) 'Studi Analisa Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan', *Jurnal SPEKTRUM*, 6(2), p. 121. doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i02.p17.
- Afriyan, V., Wardani, A. L. and Gatut Budiono, G. B. (2021) 'Analisa Pembebanan Transformator di PT.Henson Farma', *El Sains : Jurnal Elektro*, 2(2), pp. 45–52. doi: 10.30996/elsains.v2i2.4772.
- Irwan, K. S., Kartika, R. B. B. and Saputro, R. (2020) 'Analisis Pembebanan Transformator Tenaga Pada Gardu Listrik Di Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia', *Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi*, 12(1), pp. 29–40.
- Mutiari (2018) 'Perhitungan Efisiensi Transformator 60 Mva Di PT.PLN (Persero) Gardu Induk Prabumulih', *Teknik Elektro*, 8(2), pp. 29–38.
- NUGROHO, A. (2019) 'ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAFODISTRIBUSI (STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) RAYON KARTASURA)', *ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAFODISTRIBUSI (STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) RAYON KARTASURA)*.
- Priyono, O. (2017) 'Analisa Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi', *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna* Vol. 6 No.1 Oktober 2017, 6(1), pp. 33–41.
- SPLN. (1979) "pedoman pembebanan transformator terendam minyak".
- SPLN, Nomor 17. (2014)."Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset".
- Tanjung, A. and Atmam (2016) 'Analisis Kinerja Transformator Distribusi Rusunawa', *Issn*, 1(1), pp. 33–40.
- Tobi, M. D. (2018) 'Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong', *Electro Luceat*, 4(1), p. 5. doi: 10.32531/jelekn.v4i1.80.