

Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Susut Daya Pada Transformator Distribusi Di PT PLN UP3 Semarang

Albert Gifson Hutajulu^{*)}, Muchammad Agum Wicaksono

Institut Teknologi PLN

^{*)} Corresponding author : albert.gifson@itpln.ac.id

Abstract

The target for network losses in 2022 at PT PLN (Persero) UP3 Semarang is 8%. However, the achievement of losses in October only reached 10.04%. One way to do this is to do load balancing. Balancing is done by exchanging the phases on the PHB-TR. Based on the calculation results, the imbalance at the RJLS substation: 33%, RJKS: 5% and MAI: 34%. After balancing it decreased to RJLS: 16% and MAI: 6%. The neutral current at the RJLS and MAI substations before balancing RJLS: 22.54A and MAI: 2.69A, after balancing it drops to RJLS: 9.54% and MAI: 11.53%. The loss of the neutral current of the transformer before balancing RJKS: 350.5 W and MAI: 3645.8 W, after balancing decreased to RJLS: 62.7 W and MAI: 91.7 W. The current losses flowing to the ground before balancing RJLS 1049.7 W and MAI 4651.2 W. After balancing it decreased to RJLS 538.2 W and MAI 1253.1 W. Energy losses in percent before balancing RJLS 8.3% and MAI 26.78%. After balancing it decreased to 3.5% RJLS and 4.2% MAI. The conclusion obtained is that balancing the load using the phase swapping method on the PHB-TR can reduce the value of unbalance and neutral currents, so that losses can decrease.

Abstrak

Target susut jaringan tahun 2022 di PT PLN (Persero) UP3 Semarang sebesar 8%. Namun, untuk pencapaian susut di bulan oktober baru mencapai 10,04%. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan melakukan penyeimbangan beban. Penyeimbangan dilakukan dengan cara menukar fasa pada PHB-TR. Berdasarkan hasil perhitungan, ketidakseimbangan pada gardu RJLS: 33%, RJKS: 5% dan MAI: 34%. Setelah penyeimbangan turun menjadi RJLS: 16% dan MAI: 6%. Arus netral pada gardu RJLS dan MAI sebelum penyeimbangan RJLS: 22,54A dan MAI: 2,69A, setelah penyeimbangan turun menjadi RJLS: 9,54% dan MAI: 11,53%. Rugi-rugi arus netral transformator sebelum penyeimbangan RJKS: 350,5 W dan MAI: 3645,8 W, setelah penyeimbangan turun menjadi RJLS: 62,7 W dan MAI: 91,7 W. Rugi-rugi arus yang mengalir ke tanah sebelum penyeimbangan RJLS 1049,7 W dan MAI 4651,2 W. Setelah penyeimbangan turun menjadi, RJLS 538,2 W dan MAI 1253,1 W. Rugi-rugi energi dalam persen sebelum penyeimbangan RJLS 8,3% dan MAI 26,78%. Setelah penyeimbangan turun menjadi RJLS 3,5% dan MAI 4,2%. Kesimpulan yang diperoleh adalah penyeimbangan beban dengan metode menukar fasa pada PHB-TR dapat menurunkan nilai ketidakseimbangan dan arus netral, sehingga penurunan rugi-rugi dapat terjadi.

Kata kunci: Ketidakseimbangan beban, penyeimbangan, susut

PENDAHULUAN

Berdasarkan realisasi pencapaian kinerja PT PLN (Persero) UP3 Semarang target susut pada jaringan tahun 2022 adalah 8%. Namun untuk pencapaian susut pada bulan Oktober tahun 2022 hanya sebesar 10,04%. Sehingga, perlu dilakukan upaya untuk menurunkan susut agar target susut sebesar 8% dapat tercapai. Salah satu upaya yang dilakukan untuk menurunkan nilai susut pada jaringan adalah dengan melakukan penyeimbangan beban pada gardu distribusi. Menurut pegawai PT PLN (Persero) UP3 Semarang, terdapat kemungkinan ketidakseimbangan beban pada Gardu RJLS, RJKS dan MAI yang berlokasi di Semarang Tengah. Hal tersebut disebabkan karena masing-masing pelanggan pada gardu RJLS, RJKS dan MAI tersebut memiliki beban yang berbeda-beda dan waktu pemakaian yang berbeda-beda pula. Dari hasil pengukuran waktu beban puncak (WBP) didapatkan besarnya arus padagardu RJLS ($I_R = 26A$, $I_S = 14A$, $I_T = 54A$), gardu RJKS ($I_R = 279A$, $I_S = 257A$, $I_T = 297A$) dan gardu MAI ($I_R = 87A$, $I_S = 99A$, $I_T = 98A$). Dari hasil pengukuran tersebut nantinya akan dilakukan perhitungan dan analisa, apakah ketidakseimbangan oleh beban yang terjadi pada gardu RJLS, RJKS dan MAI masih dalam kondisi yang diizinkan atau tidak.

Dalam penelitian ini juga akan dilakukan analisa perhitungan arus netral dan susut sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan. Diharapkan nantinya setelah dilakukan penyeimbangan beban, ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat menurun dan target susut pada jaringan sebesar 8% pada tahun 2022 dapat tercapai. Sebelumnya, sudah banyak berbagai macam penelitian yang membahas mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan susut pada transformator. Pada penulisan penelitian ini akan membahas mengenai hal yang sama terkait dengan ketidakseimbangan beban. Namun, dalam penelitian akan dilakukan perbandingan metode penyeimbangan beban antara penyeimbangan dengan menukar fasa PHB-TR dan penyeimbangan dengan memindahkan sambungan rumah (SR), dengan objek penelitian pada gardu RJLS, RJKS dan MAI.

METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

1. Sumber data

Penelitian ini termasuk jenis penelitian komparatif, yaitu dengan membandingkan nilai rata-rata ketidakseimbangan beban, arus netral transformator, susut sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan beban. Data diperoleh dari PT PLN (Persero) UP3 Semarang.

2. Jenis data

- Data transformator distribusi
- Data pengukuran waktu beban puncak (WBP)
- Data karakteristik kabel aluminium
- Data penyeimbangan beban

3. Teknik pengambilan data

- Observasi lapangan
- Wawancara

B. Metode Analisis Data

1. Untuk menghitung arus rata-rata pada gardu dapat dirumuskan dengan:

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

Sehingga presentase pembebanan transformator dapat dirumuskan dengan:

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

2. Analisa ketidakseimbangan

Apabila [I] merupakan arus tiap fasa yang disalurkan pada kondisi seimbang dengan daya yang sama, sehingga arus tiap fasa yang disalurkan pada kondisi tidak seimbang dengan daya yang sama dapat disimbolkan dengan a, b dan c:

$$I_R = a [I]$$

$$I_S = b [I]$$

$$I_T = c [I]$$

Apabila pada kondisi seimbang, nilai koefisien a, b dan c sama dengan 1, sehingga untuk menghitung rata-rata ketidakseimbangan beban sebagai berikut:

$$\% \text{ ketidakseimbangan} = \frac{[a-1]+[b-1]+[c-1]}{3} \times 100\% \quad (3)$$

3. Analisis Arus netral

Untuk mengetahui besarnya arus netral dalam keadaan tidak seimbangan adalah:

$$I_N = \sqrt{((I_R \cos 0 + I_S \cos 240 + I_T \cos 120)^2 + (I_R \sin 0 + I_S \sin 240 + I_T \sin 120)^2)} \quad (4)$$

4. Analisis Pemerataan Beban

Untuk menganalisis pemerataan beban dengan metode memindahkan sambungan rumah (SR), dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$I_r = (I_{\text{rata-rata}}) - I_r \text{ awal}$$

$$I_s = (I_{\text{rata-rata}}) - I_s \text{ awal} \quad (5)$$

$$I_t = (I_{\text{rata-rata}}) - I_t \text{ awal}$$

5. Analisa Rugi-rugi Arus Netral

Rugi-rugi sebagai akibat arus netral transformator dapat dihitung melalui penggunaan rumus:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (6)$$

6. Analisa Rugi-rugi Arus yang Mengalir ke Tanah

Untuk menghitung nilai rugi-rugi (*losses*) yang diakibatkan oleh arus netral transformator yang mengalir ke tanah, maka dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (7)$$

7. Analisa Rugi-rugi Energi dalam Persen

Untuk menghitung energi yang tersalurkan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W = V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t \quad (8)$$

8. Sehingga, rugi-rugi energi dalam persen (%) adalah:

$$\text{Rugi - rugi energi (\%)} = \frac{\text{Rugi-rugi energi rata-rata}}{\text{Energi yang disalurkan}} \times 100\% \quad (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Teknis Trafo

Tabel 1. Data Teknis Trafo

N0	Merk	SINTRA	STARLITE	SINTRA
1	Daya Trafo	100 kVA	150 kVA	149 kVA
2	Tegangan	20 kV/400 V	250 kV	250 kV
3	Tahun	2015	2013	2013
4	Trafo	3 Fasa	3 Fasa	3 Fasa
5	Tipe Gardu	Cantol	Portal	Portal
6	Arus Nominal	144,34 A	360,84 A	380,34 A

B. Data Pengukuran Gardu

Pengukuran gardu RJLS, RJKS dan MAI dilakukan pada waktu beban puncak (WBP).

1. Gardu RJLS

Tabel 2. Data Pengukuran Gardu RJLS

Jurusan	R	S	ARUS (A)		Ground	Tahanan
			T	N		
I	8	6	25	33,55	16,2	4
II	18	8	15	33,55	16,2	4
TOTAL	26	14	40			

2. Gardu RJKS

Tabel 3. Data Pengukuran Gardu RJKS

Jurusan	R	S	ARUS (A)		Ground	Tahanan
			T	N		
I	20	11	18	34,7	15,6	4
II	82	114	105	34,7	15,6	4
III	177	132	174	34,7	15,6	4
TOTAL	279	257	297			

3. Gardu MAI

Tabel 4. Data Pengukuran Gardu MAI

Jurusan	R	S	ARUS (A)		Ground	Tahanan
			T	N		
I	3	2	51	75,3	34,1	4
II	31	54	74	75,3	34,1	4
III	27	23	16	75,3	34,1	4
TOTAL	61	79	141			

C. Data Kabel Aluminium (NFA2X)

Tabel 5. Data Tahanan Kabel Alumunium NFA2X

Konstruksi Kabel	FASA	NETRAL
	Resistansi Penghantar pada 20°C	Resistansi Penghantar pada 20°C
Buah x mm ² + Nbuah x mm ²	Ohm/km	Ohm/km
3 x 70mm ² + 1 x 50mm ²	0,443	0,69

D. Menghitung Pembebanan

1. Gardu RJLS

Dari hasil pengukuran beban gardu, dapat dilakukan perhitungan arus rata-rata dengan menggunakan rumus pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$I_{Rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{26+14+40}{3} = 26,6 A$$

Sehingga, dengan menggunakan persamaan (2) besarnya persentase pembebanan trafo pada gardu RJLS adalah:

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100 \%$$

$$= \frac{26,6}{144,34} \times 100 \% = 18,42\%$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka hasil perhitungan pembebanan gardu pada gardu RJKS 76,93 % dan MAI 25,94 %.

E. Menghitung Ketidakseimbangan

1. Gardu RJLS

Ketidakseimbangan beban dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} - I_R &= a [I] & \text{Maka } I_R &= \frac{IR}{I} = \frac{26 A}{26,6 A} = 0,97 \\ - I_S &= b [I] & \text{Maka } I_S &= \frac{IS}{I} = \frac{14 A}{26,6 A} = 0,52 \\ - I_T &= c [I] & \text{Maka } I_C &= \frac{IT}{I} = \frac{40 A}{26,6 A} = 1,5 \end{aligned}$$

Sehingga persentase ketidakseimbangan beban pada gardu RJLS adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ ketidakseimbangan} &= \frac{[a-1]+[b-1]+[c-1]}{3} \times 100\% \\ &= \frac{[0,97-1]+[0,52-1]+[1,5-1]}{3} \times 100\% \\ &= \frac{[0,03+0,48+0,5]}{3} \times 100\% = 33\% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada gardu RJKS 5% dan MAI 34%. Oleh karena itu, gardu RJLS dan MAI harus dilakukan penyeimbangan agar nilai ketidakseimbangan memenuhi batas yang diizinkan.

F. Menghitung Arus Netral

1. Gardu RJLS

Besarnya arus netral pada gardu RJLS adalah:

$$\begin{aligned} I_N &= \sqrt{((I_R \cos 0 + I_S \cos 240 + I_T \cos 120)^2 + (I_R \sin 0 + I_S \sin 240 + I_T \sin 120)^2)} \\ &= 22,54 A \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka hasil perhitungan arus netral pada gardu MAI 72,69 A

G. Menghitung Rugi-rugi Arus Netral Transformator

1. Gardu RJLS

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= (22,54)^2 \times 0,69 \\ &= 350,56 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka hasil perhitungan rugi-rugi arus netral pada gardu MAI 3645,85 W.

H. Menghitung Rugi-rugi Arus yang Mengalir ke Tanah

1. Gardu RJLS

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= (16,2)^2 \cdot 4 \text{ ohm} \\ &= 1049,76 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka hasil perhitungan rugi-rugi arus yang mengalir ke tanah pada gardu MAI 4651,24 W.

I. Menghitung Rugi-rugi Energi

1. Gardu RJLS

Dengan mengasumsikan bahwa selama periode beban puncak/selama 4 jam nyala

konstan, maka:

$$P_{\text{energi}} = P_N \times t$$

$$= 0,35 \times 4$$

$$= 1,4 \text{ kWh}$$

Dengan mengasumsikan besar $\cos\phi = 0,85$ maka:

$$W = V.I. \cos\phi.t$$

$$= 220V. 22,54 . 0,85. 4$$

$$= 16,859 \text{ kWh}$$

Sehingga, rugi-rugi energi dalam persen adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rugi - rugi energi (\%)} &= \frac{\text{Rugi - rugi energi rata - rata}}{\text{Energi yang disalurkan}} \times 100\% \\ &= \frac{1,4 \text{ kWh}}{16,859 \text{ kWh}} \times 100\% = 8,3 \% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama, maka rugi-rugi energi dalam persen pada gardu MAI adalah 26,78%.

J. Penyeimbangan dengan cara memindahkan sambungan rumah (SR)

1. Penyeimbangan Pada Gardu RJLS

Dalam perhitungan sebelumnya diketahui bahwa arus rata-rata pada gardu adalah 26,67A. Kemudian menghitung jumlah beban yang lebih dan kurang dari tiapfasa:

$$I_R = 26,67 - 26 = 0,67 \text{ A}$$

$$I_S = 26,67 - 14 = (+) 12,67 \text{ A}$$

$$I_T = 26,67 - 40 = (-) 13,33 \text{ A}$$

Besarnya arus beban yang akan dipindahkan dari fasa T adalah 13,33 A. Untuk mengetahui banyaknya pelanggan yang harus dipindahkan untuk arus 13,33 A adalah: Misalkan dipindahkan satu pelanggan, dimana daya 1 pelanggan adalah 1300VA dengan tegangan 230 V, maka:

$$I_{\text{Transfer}} = \frac{S}{V} = \frac{1300}{230} = 5,65 \text{ A}$$

Kemudian, besarnya Itransfer dikalikan dengan faktor kebersamaan. Faktor kebersamaan untuk pelanggan dengan daya terpasang sama diambil 0,85. Sehingga,

$$5,65 \times 0,85 = 4,80 \text{ A. Perhitungan dilakukan hingga mendapatkan nilai Itransfer sebesar 14 A atau mendekati.}$$

Dari tabel 6 diatas, pada pelanggan fasa T akan dipindahkan sebanyak 9 pelanggan dengan daya masing-masing sebesar 1300 VA ke fasa R dan fasa S.

Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan, maka dapat dikatakan bahwa penyeimbangan dengan metode memindahkan sambungan rumah (SR) lebihmendapatkan hasil yang maksimal. Beban pada masing-masing jurusan menjadisetimbang. Namun, kekurangan dari metode ini adalah perlu pengecekan masing-masing fasa pada setiap pelanggan, membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang sangat besar. Sedangkan metode penyeimbangan dengan menukar fasa pada PHB- TR merupakan cara yang paling praktis dan mudah dilakukan. Beban pada gardu dapat seimbang. Selain itu metode ini juga lebih cepat pengerjaannya, tidak memerlukan material dan hasilnya bisa langsung kelihatan. Sehingga pada penelitian ini akan diambil penyeimbangan dengan metode menukar fasa pada PHB-TR.

Tabel 6. Banyaknya Pelanggan Yang Harus Pindah

N0	Jumlah Pelanggan	Total Daya (VA)	I transfer (A)
1	1	1300	4,80
2	2	2600	9,60
3	3	3900	14,41
4	4	5200	19,21
5	5	6500	24,02
6	6	7800	28,82
7	7	9100	33,63
8	8	10400	38,43
9	9	11700	43,23
10	10	13000	48,04

K. Menghitung Ketidakseimbangan, Arus Netral dan Rugi-rugi Setelah Penyeimbangan Beban

Dengan menggunakan data hasil penyeimbangan dan rumus yang sama, maka diperoleh hasil seperti terlihat pada tabel 7:

Tabel 7. Keseimbangan

Gardu	Ketidakseimbangan	Arus Netral	Rugi-Rugi Arus Netral	Rugi-Rugi Arus ke Tanah	Rugi-Rugi Energi
RJLS	16 %	9,54 A	62,79 W	538,34 W	3,5 %
MAI	34 %	61,16 A	91,73 W	1253,1 W	4,2 %

ANALISIS HASIL PERHITUNGAN

Dari hasil pengolahan data, persentase pembebanan transformator pada gardu RJLS, RJKS dan MAI masih dalam kondisi normal dengan tingkat pembebanan yang baik, masih dalam batas standar yang diizinkan berdasarkan edaran direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0017.E/DIR/2014, dimana persentase pembebanan transformator terhadap kapasitas dibawah 80%. Kemudian, dari hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban pada gardu RJLS, RJKS dan MAI sebelum dilakukan penyeimbangan beban adalah RJLS: 33%, RJKS: 5% dan MAI: 34%. Setelah dilakukan penyeimbangan, besarnya persentase ketidakseimbangan beban pada gardu RJLS dan MAI menjadi RJLS: 16% dan MAI: 6%.

Ketidakseimbangan beban pada gardu menyebabkan munculnya arus netral transformator. Dari hasil perhitungan, besarnya arus netral transgromator pada gardu RJLS dan MAI sebelum penyeimbangan adalah RJLS: 22,54 A dan MAI: 72,69 A. Setelah dilakukan penyeimbangan,

besarnya arus netral transformator pada gardu RJLS dan MAI menjadi RJLS: 9,54 A dan MAI: 11,54 A.

Arus netral pada transformator mengakibatkan timbulnya rugi-rugi. Sehingga arus tidak sepenuhnya dapat tersalurkan ke pelanggan. Hal tersebut dapat merugikan PLN dan pelanggan. Rugi-rugi yang dibahas pada penelitian ini adalah rugi-rugi arus netral, rugi-rugi arus ke tanah dan rugi-rugi energi. Berdasarkan hasil perhitungan, besarnya rugi-rugi arus netral sebelum penyeimbangan RJLS: 350,56 W dan gardu MAI: 3645,8 W. Setelah dilakukan penyeimbangan mengalami penurunan pada gardu RJLS: 62,79 W dan MAI: 91,73 W. Kemudian untuk rugi-rugi arus ke tanah pada gardu RJLS dan MAI sebelum penyeimbangan sebesar 1049,76 W dan 4651,24 W. Setelah dilakukan penyeimbangan mengalami penurunan, pada gardu RJLS: 538,24 W dan MAI: 1253,16 W. Untuk rugi-rugi energi dalam persen sebelum penyeimbangan pada gardu RJLS: 8,3% dan MAI: 26,78%. Setelah dilakukan penyeimbangan, rugi-rugi energi dalam persen mengalami penurunan. Pada gardu RJLS: 3,5% dan MAI: 4,2%

Dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan dapat dikatakan bahwa dengan melakukan penyeimbangan beban maka rugi-rugi yang terjadi pada transformator dapat diminimalisir. Dengan demikian, diharapkan target susut sebesar 8% di PT PLN (Persero) UP3 Semarang pada tahun 2022 dapat tercapai.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, ketidakseimbangan pada gardu RJLS: 33%, RJKS: 5% dan MAI: 34%. Setelah penyeimbangan, RJLS: 16% dan MAI: 6%. Arus netral pada gardu RJLS dan MAI sebelum penyeimbangan RJLS: 22,54A dan MAI: 2,69A. Setelah penyeimbangan, RJLS: 9,54% dan MAI: 11,53%. Besar rugi-rugi energi dalam persen sebelum penyeimbangan RJLS: 8,3% dan MAI: 26,78%, setelah penyeimbangan, RJLS: 3,5% dan MAI: 4,2%. Kesimpulan yang diperoleh, penyeimbangan beban dengan metode menukar fasa PHB-TR dapat menurunkan nilai ketidakseimbangan dan arus netral, sehingga dapat menurunkan susut yang terjadi.

Pengukuran beban pada gardu dapat dilaksanakan secara rutin, sehingga apabila terdapat ketidakseimbangan beban maka dapat segera dilakukan penyeimbangan. Penyambungan pelanggan baru harus terorganisir dengan melihat data pembebanan sehingga tidak terjadi penumpukan beban pada salah satu fasa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bapak Gati selaku manajer pemeliharaan PT PLN (Persero) UP3 Semarang, Bapak Hendra selaku SDM PT PLN (Persero) UP3 Semarang, yang telah mengizinkan untuk melakukan pengambilan data dan percobaan di UP3 Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulistiani, Nandiyah. 2019. *Analisis Dampak Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi-rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah*. Skripsi. Jakarta: STT-PLN.
- [2] Fatihah, Mulyani. 2018. *Penyeimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi CD 33 Penyulang Sawah di PT PLN (Persero) Area Bintaro*. Jurnal Sutet Vol.8, No.1. Jakarta: STT-PLN.
- [3] Munawar, cecep. 2017. *Cara Mudah Melakukan Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi*. Depok.
- [4] Aditiya Doni, "Analisa Pengaruh Ketidaksetimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan

Losess Pada Transformator Distribusi Di Penyulang Pangsuma PT. PLN Rayon Mempawah, Jurnal Untan

- [5] Ahmad Saiful, 2021, "Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi PT. PLN Rayon Cepu", Jurnal Simetris Vol.5 No.1 Juli 2021
- [6] Fajrin Nafiani, "Analisa Susut Energi Akibat Ketidaksetimbangan Beban Di ULP Dukuh Kupang", Jurnal Elsains Vol.4 No.1 Juni 2022
- [7] SPLN 42-10:1993, *Kabel Pilin Udara Tegangan Pengenal 0,6/1 KV (NFA2XT/NFA2x/NF2X)*.
- [8] Edaran Direksi PT PLN (Persero) No.0017.E/DIR/2014. *Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. Jakarta.