

Analisa Pemerataan Beban Antar Fasa Di Saluran Tegangan Rendah (SUTR) Pada Transformator Distribusi 50 KVA - Li 146 Wilayah Kerja PT PLN (Persero) Rayon Muara Beliti

Dian Eka Putra¹, Randi Kusniriansyah²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang, Indonesia

dianekaputra90@gmail.com¹ , rkusniriansyah@gmail.com²

Received 20 September 2019 | Revised 21 November 2019 | Accepted 12 Desember 2019

ABSTRAK

Ketidak seimbangan beban yang terjadi SUTR terletak etidakteraturan pemasangan sambungan rumah (SR) baik satu fasa maupun tiga fasa pada saluran udara tegangan rendah mengakibatkan beban trasformator distribusi LI 146 menjadi tidak merata, hal ini dikarenakan adanya penumpukan beban pada salah satu fasa, sehingga beban saluran tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban menyebabkan menyebabkan terjadinya losses daya listrik pada jaringan penghantar netral. Diawali dengan pengukuran setiap fasa SUTR maka didapat lapangan fasa R yang terbesar dengan Arus 41 Amper dan fasa T Arus terkecil sebesar 12.2 A, akibat dari perbedaan yang besar antar fasa menimbulkan arus sebesar 35,5 A. Maka diperlukan analisa perbaikan di lapangan untuk mengurangi besarnya arus netral dan losses yang terjadi maka dilakukan pemerataan beban dengan jalan perbaikan sambungan konduktor dan pemindahan disetiap penghantar fasa pada beban berupa sambungan rumah (SR) dan beban lainya lampu penerangan jalan, dari jaringan fasa yang besar ke penghantar fasa yang lebih kecil. Penelitian ini didapat nilai besar arus netral dan rugi-rugi (losses) penghantar netral sebelum dan setelah dilakukan pemerataan beban saluran udara tegangan rendah (SUTR). Pengukuran dan perhitungan dilakukan pada luar waktu beban puncak transformator distribusi pada gardu distribusi LI 146 di PT PLN (Persero) ULP Muara Beliti. Berdasarkan hasil perhitungan besar arus netral sebelum dilakukan pemerataan beban yaitu 35,5 A dan rugi-rugi yang terjadi akibat arus netral sebesar 2,265 kW. Namun setelah dilakukan pemerataan beban, besar arus netral berkurang menjadi 24,2 A dikarenakan arus netral berkurang maka rugi-rugi pada penghantar netral ikut berkurang menjadi 0,97 kW. Hal ini berarti bahwa program pemerataan beban dapat meminimalisir besar arus dan rugi-rugi daya (losses) yang timbul di saluran penghantar netral transformator distribusi LI 146.

Kata kunci : Ketidakseimbangan beban, Transformator LI 146, Pemerataan beban saluran.

ABSTRAC

The load imbalance that occurs in SUTR lies in the irregularity of the installation of house connections (SR) both one phase and three phases in the low voltage air ducts causing the distribution load transformer LI 146 to be uneven, this is due to a buildup of load on one phase, so that the load is not balanced. The unbalance of load causes electrical power losses in the neutral conductor network. Beginning with the measurement of each phase of the SUTR, the largest phase R is obtained with a current of 41 Amper and T phase The smallest current of 12.2 A, due to a large difference between the phase imbalance currents of 35.5 A. Therefore, it is necessary to analyze the improvement in the field to reduce the amount of neutral current and losses that occur then the load equalization is carried out by repairing conductor connections and displacement in each phase conductor at loads in the form of house connections (SR) and other loads of street lighting, from large phase networks to conductors smaller phase. this research can be a large value of neutral current and neutral conductor losses before and after the equalization of low voltage air line loads (SUTR). Measurements and calculations are carried out outside the load time of the distribution transformer at the LI 146 distribution substation at PT PLN (Persero) ULP Muara Beliti. Based on the results of the calculation of neutral currents before equalization of the load ie 35.5 A and the losses incurred due to neutral currents of 2,265 kW. However, after the load is equalized, the neutral current is reduced to 24.2 A. Since the neutral current is reduced, the losses on neutral conductors also decrease to 0.97 kW. This means that the load equalization program can minimize the amount of current and power losses that arise in the distribution channel neutral distribution transformer LI 146.

Keyword : Load imbalance, Transformer LI 146, Channel load equalization

I. PENDAHULUAN

Seiring Pertumbuhan penduduk maka kebutuhan akan energi listrik akan semakin meningkat, terutama kebutuhan pelanggan energi listrik disisi tegangan rendah, masalah yang paling kompleks sering terjadi di jaringan tegangan rendah dan transformator distribusi, Dalam proses penyaluran energi listrik

sering kali terjadi pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini selalu terjadi karena adanya ketidaksamaan dalam pemakaian energi listrik dan penyambungan kabell APP pelanggan. Ketidakseimbangan yang besar pada fasa R,S,T inilah yang akan menimbulkan arus yang mengalir pada penghantar netral transformator, lalu arus tersebut menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada transformator (Saputro, A. E. Y., & Agus Supardi, S. T. 2018). Pengamatan dan pengukuran beban pada transformator LI 146 dan jaringan distribusi saluran udara tegangan rendah akan dapat menyebabkan timbulnya rugi-rugi (*losses*), salah satu diantaranya adalah tidak meratanya jumlah beban atau sambungan rumah (SR) pada unit transformator distribusi. Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi adalah penyumbang kerugian yang cukup besar, karena hampir disemua transformator mengalami ketidakseimbangan beban. Salah satu penyebab tidak merata beban di transformator distribusi adalah terjadinya penumpukan beban pada salah satu penghantar fasa pada saluran udara tegangan rendah (SUTR). Masalah tidak meratabeban menimbulkan *losses* dengan menimbulkan arus yang besar pada penghantar netral. Terjadinya arus listrik di saluran penghantar netral mengakibatkan *losses* atau rugi-rugi daya listrik. Untuk mengurangi besarnya rugi-rugi daya listrik pada penghantar netral transformator distribusi LI 146 maka dilakukan dengan pemindahan dan pemerataan beban transformator distribusi LI 146.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Transformator sebagai alat elektromagnetik yang mengkonversi dan mentransfer energi listrik diteruskan ke jaringan distribusi listrik primer dan sekunder berhubungan langsung dengan pelayanan energi listrik konsumen, disamping itu harus dipikirkan mengenai masalah bentuk dari sistem penyalurannya, mutu keandalanya yang menjangkau seluruh tingkatan pengguna energi listrik (Putra, D. E., & Siahaan, A, 2017), (Putra, D.E., & Roli, S, 2017)

A. Transformator Distribusi

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet (Zuhal, 1991).

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

1. Transformator Daya
2. Transformator Distribusi
3. Transformator pengukuran, yang terdiri dari transformator arus dan Transformator Tegangan.

Transformator Distribusi paling banyak digunakan untuk mengalirkan tegangan rendah ke setiap beban, dengan mengkonversi tegangan input dari tegangan 20 KV menjadi tegangan out put 380 Volt line to line dan 240 Volt line to netral. Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa tipe inti dan tipe cangkang. Penggunaan dalam sistem tenaga listrik memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan seperti kebutuhan akan tegangan dalam pengiriman daya listrik.

B. Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya Transformator dilihat dari sisi in put atau tegangan primer dapat di formulasikan, (Samaulah, H, 2011):

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (1)$$

Dimana, S : Daya/ Kapasitas Transformator (kVA)

V : Tegangan In put (kV)

I : Arus jala-jala (A)

untuk arus pada beban penuh (*full load*) dengan formula :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2)$$

Dimana, I_{FL} : Arus Beban Penuh (A)

S : Daya/Kapasitas Transformator (kVA)

V : Tegangan Out put (kV).

C. Rugi-Rugi (Losses) Arus Listrik pada Saluran Penghantar Netral

Arus listrik yang timbul pada saluran penghantar netral atau rugi-rugi (*losses*) ditimbulkan karena tidak meratanya Beban listrik atau Sambungan Rumah (SR) yang dipasang pada fas fasa saluran udara tegangan rendah keluaran out put transformator distribusi, baik terpasang pada saluran fasa R, fasa S dan fasa T. (Zuhal, 1991), di formulasikan :

$$P_N = I_N^2 \times R_N \tag{3}$$

Dari persamaan (3) di dapat persamaan persentasi Losses pada saluran penghantar Netral yang diakibatkan adanya Arus Netral, yaitu :

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \tag{4}$$

Dimana, P_N : Losses di saluran penghantar Netral Transformator (W/watt)

I_N : Arus Listrik di Saluran netral Transformator (A/Ampere)

R_N : Resistansi Saluran Penghantar Netral Transformator (Ω / Ohm)

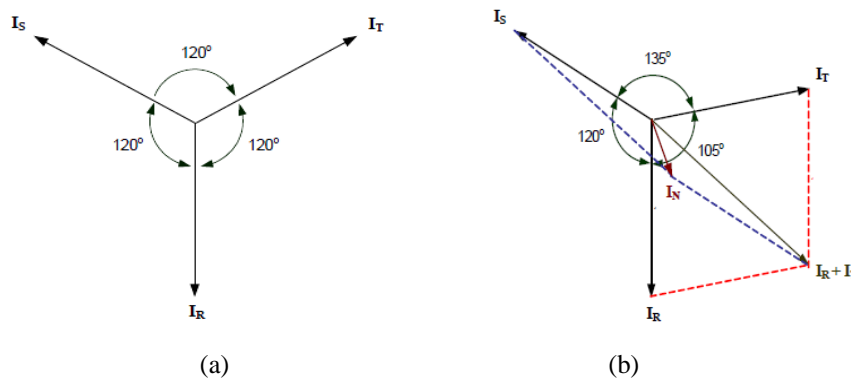
D. Ketidakseimbangan Beban Listrik

Ketidakseimbangan beban listrik merupakan kondisi seimbang yaitu suatu keadaan (Tamara, V, 2016) dimana yaitu :

- Ketiga vektor arus/ tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120^0 satu sama lain.

Dan yang di maksud keadaan tidak seimbang yaitu keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Keadaan tidak seimbang ada 3 diantaranya :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama dan tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.



Gambar 1. Vektor Diagram Arus

Gambar 1 a, menunjukah vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga muncul arus netral (I_N).

$$\vec{I}_N = \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T = 0 \tag{5}$$

Sedangkan pada Gambar 1.(b) menunjukan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang nilai besarnya tergantung dari seberapa besar faktor ketidak seimbangan.

$$\vec{I}_N = \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T \tag{6}$$

Dimana, I_N : Arus yang mengalir pada penghantar fasa N (Ampere)

I_R : Arus yang mengalir pada penghantar fasa R (Ampere)

I_S : Arus yang mengalir pada penghantar fasa S (Ampere)

E. Penyaluran dan Susut Daya

Jika daya listrik sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan yaitu :

$$P = \sqrt{3}. V. I .\cos \theta \tag{7}$$

Dimana, P : Daya pada ujung kirim (Watt)

V : Tegangan pada ujung kirim

Cos θ : Faktor Daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran penghantar. Jika $[I]$ adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besar arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$\left. \begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besar arusnya berbeda, maka besar daya yang disalurkan dapat dinyatakan :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \theta \quad (9)$$

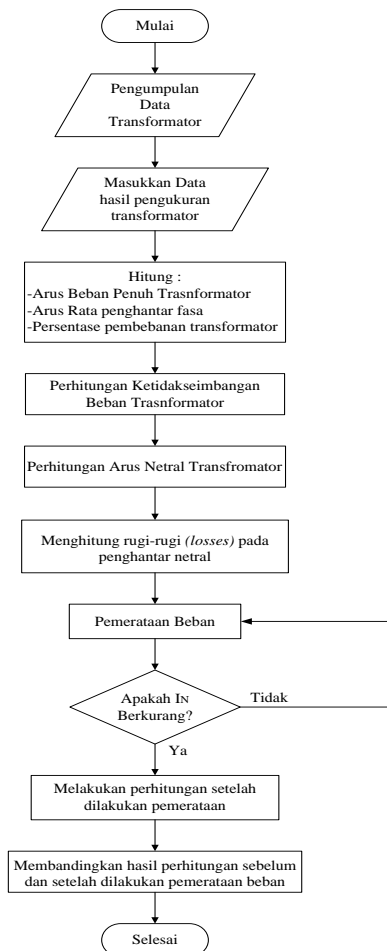
Apabila pada persamaan (8) dan persamaan (9) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c, yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (10)$$

dengan keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian pada pemerataan beban antar fasa di Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) pada Transformator Distribusi LI 146 di PT PLN (Persero) Rayon MuaraBeliti, seperti gambar 3 alur penelitian :



Gambar 2. Alur penelitian pemerataan beban antar fasa SUTR pada Trafnsormator LI. 146

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Setelah Pemerataan Beban

Perhitungan setelah dilakukan pemerataan beban menggunakan data yang didapatkan pada tabel 1, untuk Luar Waktu Beban Puncak (Siang). Adapun referensi data yang dipergunakan untuk perhitungan, yaitu :

Tabel 1 Keadaan beban pada LWBP (Siang) Transformator Distribusi LI 146

Kapasitas Transformator (kVA)	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	I _R	V _{f-n}	I _S	V _{f-n}	I _T	V _{f-n}
50	33,6 A	218 V	33,1 A	221 V	33,4 A	220 V

B. Pembebanan Transformator

Berdasarkan persamaan (1), dapat dicari I_{FL} pada transformator distribusi LI 146 :

Daya kapasitas transformator (S) : 50 kVA

Teangan Out put/ Keluaran Transformator (Volt) : 0,4 kV

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

$$= \frac{50000}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 72,25 \text{ A}$$

$$I_{\text{Rata-rata lwbp}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{33,6 + 33,1 + 33,4}{3} = 33,36 \text{ A}$$

Sehingga persentase pembebanan transformator adalah :

- LWBP (Siang) : $\frac{I_{\text{Rata-rata lwbp}}}{I_{FL}} = \frac{33,36 \text{ A}}{72,25 \text{ A}} \times 100 = 46,17\%$

C. Menghitung Ketidakseimbangan Beban

Menggunakan persamaan (6), dimana nilai koefisien a, b, c diketahui besarnya arus fasa (I) dalam keadaan seimbang sama dengan rata-rata.

- Ketidakseimbangan Beban LWBP (Siang)

$$I_R = a.I ; \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{33,6}{33,36} = 1,007$$

$$I_S = b.I ; \text{ maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{33,1}{33,36} = 0,99$$

$$I_T = c.I ; \text{ maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{33,4}{33,36} = 1,001$$

Dalam keadaan seimbang koefisien-koefisien a, b, c adalah 1. Sehingga keidak seimbang beban dalam persen yaitu :

$$= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100$$

$$= \frac{\{|1,007-1| + |0,99-1| + |1,001-1|\}}{3} \times 100 = 0,3 \%$$

D. Menghitung Arus Netral

Melalui persamaan (7), dapat dilakukan perhitungan arus netral :

- LWBP (Siang)

$$\vec{I}_N = \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T$$

$$= 33,6 \angle 0^\circ + 33,1 \angle 120^\circ + 33,4 \angle 240^\circ$$

$$= 33,6 + j0 + (-16,55) + j 28,466 + (-16,7) + (-j 28,724)$$

$$I_N = 0,35 \angle 0,0016^\circ$$

E. Menghitung Rugi-rugi (Losses) Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Menggunakan persamaan (3), rugi-rugi (losses) pada saluran udara tegangan rendah yang diakibatkan arus netral pada penghantar netral transformator distribusi LI 146 dapat dihitung besarnya, yaitu :

- LWBP (Siang)

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

$$= 0,045 \text{ W} = 45 \times 10^{-6} \text{ kW}$$

Maka daya aktif transformator distribusi LI 146 (P), dimana $\text{Cos } \theta : 0,85$ yang digunakan.

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

$$= 50 \text{ kVA} \times 0,85$$

$$= 42,5 \text{ kW}$$

Sehingga persentase rugi-rugi transformator yang diakibatkan oleh arus netral pada saluran penghantar netral trafo yaitu :

$$\% P_N' = \frac{P_N'}{P} \times 100 = \frac{45 \times 10^{-6} \text{ kW}}{42,5 \text{ kW}} \times 100 = 0,0001 \%$$

Sehingga penekanan rugi-rugi di saluran hantaran netral dengan program pemerataan beban ini adalah sebesar:

- LWBP

$$\Delta P_N = P_N - P_N'$$

$$= 172,11 \text{ W} - 0,045 \text{ W}$$

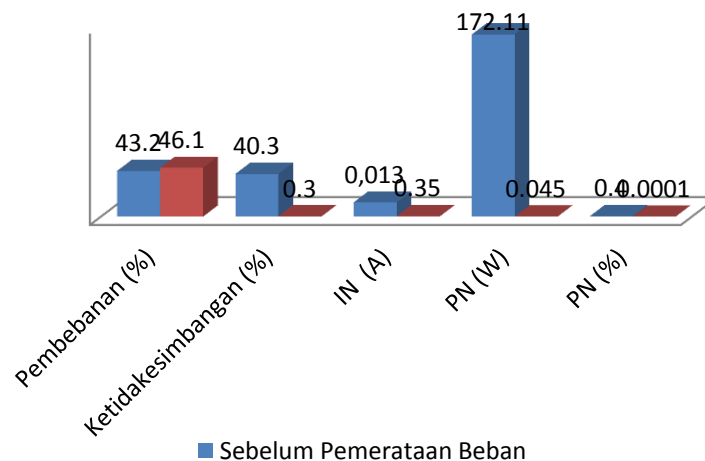
$$= 172,065 \text{ W} = 0,172 \text{ kW}$$

Setelah dilakukan perhitungan sebelum dan setelah pemerataan beban antar fasa di saluran udara tegangan rendah, maka hasil perhitungan di masukan dalam tabel guna mempermudah untuk menganalisa dari program pemerataan beban antar fasa di saluran udara tegangan rendah (SUTR) pada transformator distribusi LI 146. Adapun tabel hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Sebelum dan Setelah Pemerataan Beban

Waktu	Sebelum	Setelah
	Pemerataan	Pemerataan
	LWBP	LWBP
Pembebanan Transformator (%)	43,2	46,1
Ketidakeimbangan Beban (%)	40,3	0,3
I_N Pengukuran (A)	13,348	0,35
P_N (W)	172,11	0,045
P_N (%)	0,4	0,0001

Tabel 2 maka dapat dibuat grafik yang menunjukkan perbandingan sebelum dan setelah dilakukan Program pemerataan beban pada saluran udara tegangan rendah (SUTR) pada transformator LI 146.



Gambar 3. Grafik Perbandingan LWBP

F. Analisa Perhitungan

Berdasarkan pada tabel 2 hasil perhitungan sebelum dan setelah dilakukan pemerataan beban, dapat dilihat bahwa besar persentase pembebanan transformator sebelum dilakukan pemerataan beban untuk LWBP adalah 43,2 %, sedangkan setelah dilakukan pemerataan beban besar pembebanannya menjadi 46,1 %.

Besar persentase ketidakrataan beban yang terjadi untuk Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) sebelum dilakukan pemerataan beban adalah >25%, namun setelah dilakukan pemerataan beban ketidakseimbangan beban yang terjadi antar fasa menjadi <5%. Hal ini terjadi karena, pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) sebelum dilakukan pemerataan beban fasa R dan S menanggung beban yang paling besar yaitu sebesar 41 Ampere dan 40,5 Ampere sedangkan beban pada fasa T adalah 12,2 Ampere. Namun setelah dilakukan program pemerataan beban saluran udara tegangan rendah (SUTR), beban yang ditanggung pada tiap fasa R, S dan T rata-rata menjadi yaitu 33,6 Ampere, 33,1 Ampere dan 33,4 Ampere.

Sebelum dilakukan program pemerataan beban di saluran udara tegangan rendah (SUTR) arus yang timbul pada penghantar saluran netral sebesar 35,5 Ampere. Hal ini disebabkan terjadinya rugi-rugi (losses) teknik pada saluran penghantar netral sebesar 172,11 Watt.

Program pemerataan beban disalurkan udara tegangan rendah (SUTR) pada transformator distribusi LI 146 dilakukan, nilai arus yang timbul pada saluran penghantar netral menjadi berkurang yaitu 24,2 Ampere dan besarnya rugi-rugi saluran menjadi berkurang sebesar 0,045 Watt. Artinya total penekanan rugi-rugi (losses) teknis pada saluran penghantar netral sebelum dan sesudah program pemerataan beban untuk LWBP sebesar 172,065 Watt, sehingga nilai arus serta rugi-rugi (losses) yang mengalir di saluran penghantar netral pada saluran udara tegangan rendah (SUTR) berkurang.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisa perhitungan dan Program Pemerataan beban di saluran udara tegangan rendah (SUTR) pada transformator distribusi LI 146 maka dapat disimpulkan, yaitu :

1. Nilai arus listrik pada saluran penghantar netral untuk Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) sebelum program pemerataan beban sebesar 35,5 Ampere. Dan setelah program pemerataan saluran penghantar udara tegangan rendah (SUTR) nilai arus yang mengalir pada saluran penghantar netral berkurang menjadi 24,2 Ampere.
2. Besarnya rugi-rugi (losses) yang terjadi pada saluran penghantar netral sebelum program pemerataan beban pada saluran udara tegangan rendah (SUTR) sebesar 172, 11 watt. Dan setelah program pemerataan dilakukan nilai arus yang mengalir di saluran penghantar netral berkurang menjadi 0,045 Watt.
3. Dengan program pemerataan beban berupa Sambungan Rumah (SR) pada saluran udara tegangan rendah (SUTR) dapat menekan rugi-rugi (losses) dan arus yang mengalir disalurkan penghantar netral, dimana rugi-rugi (losses) sebesar 172,065 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

Iftadi, I,(2015). *Kelistrikan Industri*, Graha Ilmu Yogyakarta.

Putra, D.E.,& Roli. S,(2017). *Analisa Penyulang 20 kV di Jakabaring Sport City (JSC) Dalam Menghadapi Asian Games 2018*.JURNAL SURYA ENERGI, 2(1)

Putra, D. E., & Siahaan, A. (2017). *Studi Penerapan Over Load Shedding (Ols) Relay Pada Sisi Sekunder Transformator Daya 20 MVA Penyulang Aries 20 KV Di Gardu Induk lahat*. JURNAL AMPERE, 2(1).

Samaulah, H,(2011). *Distribusi Tenaga Listrik*, Tunas Gemilang Press Palembang.

Saputro, A. E. Y., & Agus Supardi, S. T. (2018). *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) Rayon Palur Karanganyar* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

Tamara, V. (2016). *Pengaruh Pemerataan Beban Terhadap Rugi-Rugi Jaringan Tegangan Rendah Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Rayon Sukarame* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).

Zuhal (1991). *Dasar Tenaga Listrik*, Penerbit ITB Bandung.