



MENGATASI OVERLOAD PADA TRANSFORMATOR GARDU DISTRIBUSI DENGAN METODE UPATING

I Wayan Sugara Yasa ¹ I Wayan Dikse Pacane, ²I Wayan Suriana

^{1,2,3}. Universitas Pendidikan Nasional, 80224, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Received: April 04, 2023 Revised: August 11, 2023 Available online: August 25, 2023</p>	<p>Di PT. PLN (Persero) ULP Karang terdapat gardu distribusi yang mengalami masalah beban lebih (<i>overload</i>). Beban lebih (<i>overload</i>) merupakan suatu gangguan yang biasa terjadi pada transformator distribusi, namun jika dalam keadaan tersebut dibiarkan maka akan dapat berdampak dengan rusaknya peralatan listrik apabila ada arus yang mengalir. Terdapat beberapa solusi penanganan transformator apabila mengalami keadaan beban lebih (<i>overload</i>), yang dimana adalah sebagai berikut : Rekonfigurasi Jaringan, Pemasangan Gardu Sisip, <i>Uprating</i> Transformator. Kondisi Pembebanan Transformator Sebelum <i>Uprating</i> sebesar 288,67 A, Perhitungan Persentase Pembebanan Sebesar, 95%. Kondisi Pembebanan Transformator Sesudah <i>Uprating</i> sebesar 360,8 A. Perhitungan persentase pembebanan setelah <i>Uprating</i> sebesar 73%. hasil analisis beserta perhitungan yang didapatkan setelah menggunakan metode ini, presentase pembebanan transformator berkurang hingga 73% dengan penambahan daya ke transformator sebesar 250 kVA. Presentase pembebanan ini berkurang dari persentase sebelumnya dengan pembebanan sebesar 95,05% dari kapasitas transformator 200 kVA. Cara penanggulangan apabila terjadinya transformator yang <i>overload</i> salah satu metodenya yaitu <i>uprating transformator</i> dimana metode ini merupakan salah satu metode yang dapat digunakan khususnya pada gardu KRGK 0136 dikarenakan metode ini merupakan suatu metode penambahan daya transformator yang lebih besar dari daya sebelumnya sehingga tidak perlu membutuhkan lahan yang luas bahkan material tambahan lainnya, selain itu metode ini merupakan suatu metode yang paling efisien serta ekonomis.</p> <p>Kata kunci, Overload, metode <i>Uprating system</i>.</p>
CORRESPONDENCE	ABSTRACT
<p>E-mail: sugarayasa@undiknas.ac.id</p>	<p>At PT. PLN (Persero) ULP Karang has a distribution substation that is experiencing overload problems. Overload is a disturbance that usually occurs in distribution transformers, but if left unchecked, it will have an impact on damage to electrical equipment if current flows. There are several solutions for handling transformers when they experience overload conditions, which are as follows: Network Reconfiguration, Installation of Inset Substations, <i>Uprating</i> Transformers. Transformer Loading Condition Before <i>Uprating</i> is 288.67 A, Loading Percentage Calculation is 95%. Transformer Loading Conditions After <i>Uprating</i> is 360.8 A. Calculation of the loading percentage after operating is 73%. the analysis results along with the calculations obtained after using this method, the percentage of transformer loading is reduced by up to 73% with the addition of power to the transformer of 250 kVA. This loading percentage is reduced from the previous percentage with a loading of 95.05% of the transformer capacity of 200 kVA. One of the ways to deal with when an overloaded transformer occurs is <i>uprating</i> the transformer where this method is one of the methods that can be used especially at the KRGK 0136 substation because this method is a method of adding transformer power which is greater than the previous power so it does not need to require large areas of land even other additional materials, apart from that this method is the most efficient and economical method.</p> <p>Keywords, Overload, <i>Uprating system</i>, method</p>

I. PENDAHULUAN

Di PT. PLN (Persero) ULP Karang terdapat gardu distribusi yang mengalami masalah beban lebih (*overload*). Beban lebih (*overload*) merupakan suatu gangguan yang biasa terjadi pada transformator distribusi, namun jika dalam keadaan tersebut dibiarkan maka akan dapat berdampak

dengan rusaknya peralatan listrik apabila ada arus yang mengalir. Apabila saat terjadinya gangguan, maka arus yang mengalir akan melebihi dari kapasitas suatu peralatan listrik beserta sistem pengamanan yang telah terpasang sebelumnya. Oleh karena itu untuk menjaga kehandalan dalam penyaluran energi listrik perlu memperhatikan pembebanan pada transformator untuk menjaga efisiensi daya listrik dan

menghindari kerusakan pada sistem pendistribusian listrik[1]. Mengikuti ketentuan dari SPLN (Standard Perusahaan Listrik Negara) untuk persentase pembebanan transformator tidak lebih dari diatas 80% dari kapasitas transformator serta arus nominalnya (In).Pembebanan lebih pada tranformator akan berpengaruh terhadap kinerja dari trafo karena beban berlebih menimbulkan panas yang akan berakibat trafo mengalami gangguan, panas yang di akibatkan beban berlebih juga akan mempengaruhi umur dari trafo yang mana trafo akan bekerja dalam kondisi tidak baik. Berdasarkan hasil pengukuran, besarnya pembebanan transformator gardu distribusi KRGK 0136 di penyulang ES pada saat beban puncak diperoleh hasil persentase pembebanan sebesar 95,05% dengan kapasitas transformator sebesar 200 KVA, maka dari itu transformator mengalami kelebihan beban (*overload*) sebesar 15,05% dari 80% arus nominal (In) pada transformator[2]. Hal ini akan akan mempengaruhi kehandalan penyaluran suatu transformator dan berakibat pada tingginya pemakaian efisiensi transformator. Maka dari itu perlu dilakukan upaya untuk mengoptimalkan efisiensi kerja dari suatu transformator tersebut dengan menggunakan metode uprating transformator, sehingga transformator pada gardu KRGK 0136 tidak terjadi permasalahan *overload* serta efisiensi kerja trafo pada gardu KRGK 0136 bisa lebih bekerja secara lebih optimal[3].

II. LANDASAN TEORI

2.1. *Overload* Pada Transformator

Suatu transformator daya akan bekerja secara kontinyu apabila transformator berada pada beban nominalnya. Menurut SPLN, transformator dikatakan *overload* apabila beban transformator melebihi 80% dari kapasitas transformator atau arus nominalnya. Maka transformator akan mengalami suatu pemanasan yang berlebih dan nantinya pada transformator akan lebih mempersingkat umur isolasi karena keadaan beban lebih (*overload*). Beban lebih (*overload*) sendiri adalah suatu keadaan dimana beban listrik melebihi kapasitas yang tersedia semakin meningkat dalam lingkup masyarakat atau adanya gangguan dalam penyaluran terhadap pembebanan yang menyebabkan transformator menghasilkan panas yang berlebih. Dengan meningkatnya beban yang terjadi maka dari itu di perlukan adanya tindakan penambahan kapasitas daya pada transformator distribusi. Proses penambahan kapasitas transformator dapat berpengaruh terhadap suatu keandalan pada sistem tenaga listrik yang akan mempengaruhi kinerja dari sistem proteksi tenaga listrik itu sendiri.

Untuk mengetahui persentase rata-rata pembebanan gangguan transformator jika mengalami keadaan *overload* (beban lebih) diatas 80%, menurut SPLN dalam perbaikan pembebanan pada transformator untuk semua jumlah transformator yang mengalami *overload* dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Beban} = \frac{S_{\text{Total Beban}}}{S_{\text{Transformator}}} \times 100\%$$

Dimana :

S Total beban : Daya Toal Beban yang Tersalurkan (kVA)

S Transformator : Daya Pada Transformator (kVA)

Dalam menentukan kapasitas daya yang dibutuhkan pada transformator distribusi yang didasarkan pada pembebanan yang dilayani. Dimana persentase pembebanan transformator distribusi tidak lebih dari 80%. Bila pembebanan transformator terlalu besar, maka dapat ditanggulangi dengan cara pergantian transformator, penyisipan transformator ataupun mutasi transformator. Persamaan yang dapat digunakan untuk perhitungan rating transformator yang dipilih:

$$\text{Rating Transformator Distribusi} = \frac{\text{kVA Beban}}{0,8}$$

Dimana :

kVA Beban : Kapasitas Beban Transformator (kVA)

Transformator bisa dikatakan mengalami keadaan beban lebih (*overload*) dapat terjadi dikarenakan ada beberapa faktor, diantaranya :

1. Tidak dilakukannya secara rutin pengukuran beban transformator untuk mengetahui berapa besar beban sebenarnya pada transformator.
2. Tidak adanya petugas yang memonitor apabila transformator dalam keadaan *overload* dan merencanakan agar mengurangi terjadinya pembebanan berlebih.

Terdapat beberapa solusi penanganan transformator apabila mengalami keadaan beban lebih (*overload*), yang dimana adalah sebagai berikut :

1. Rekonfigurasi Jaringan
Rekonfigurasi jaringan adalah salah satu penindakan pengelolaan transformator distribusi yang mengalami *overload* dengan melayani beban kecil di mutasikan ke beban yang lebih besar ataupun sebaliknya dengan membagi beban ke jurusan lain atau bisa dengan penambahan line jurusan JTR dari jurusan yang belum mengalami pembebanan lebih.
2. Pemasangan Gardu Sisip
Pemasangan gardu sisip merupakan metode penambahan gardu di samping gardu utama yang mengalami *overload* yang ada dengan mempertimbangkan adanya transformator dalam keadaan drop tegangan dan *overload*, dimana tegangan tidak seimbang dan kapasitas maksimum gardu 315 KVA di gardu portal. Dengan pembagian beban pada gardu sisip maka diharapkan beban dapat berkurang.
3. Uprating Tranformator
Uprating transformator merupakan suatu metode penambahan kapasitas daya dari pada transformator yang mengalami *overload* dengan menggantikan transformator yang lama dimana kapasitas beban sudah tidak mencukupi kebutuhan suatu daerah dan digantikan dengan transformator yang lebih besar kapasitasnya dengan harapan dapat menanggulangi terjadinya permasalahan *overload* transformator.

2.2. Pembebanan Transformator Distribusi

Persentase pembebanan transformator pada suatu gardu distribusi apabila sudah melewati batas SPLN sebesar 80% dari kapasitas suatu transformator dapat dikatakan bahwa transformator tersebut mengalami keadaan *overload*.

Ketentuan pembebanan transformator dapat dikategorikan seperti pada table dibawah ini jika dilihat dari arus pada sisi primer (Ip) dan arus pada sisi sekunder (Is).

Tabel II.1. Arus Pada Sisi Primer dan Sekunder

No	Daya (KVA) Fasa	Ip (A)	Is (A)	80% x Is (A)
1.	$\frac{25}{1}$	1.25	54.1	43.28
2.	$\frac{50}{1}$	2.5	108.23	86.58
3.	$\frac{64}{1}$	3.2	138.53	110.82
4.	$\frac{25}{3}$	0.72	36.08	28.86
5.	$\frac{50}{1}$	1.44	72.17	57.74
6.	$\frac{100}{3}$	2.89	144.34	115.47
7.	$\frac{160}{3}$	4.62	230.94	184.75
8.	$\frac{200}{3}$	5.77	288.67	230.94
9.	$\frac{250}{3}$	7.22	360.84	288.67
10.	$\frac{315}{3}$	9.09	454.66	363.73
11.	$\frac{400}{3}$	11.54	577.35	461.88
12.	$\frac{630}{3}$	18.20	910.40	728.32

III PEMBAHASAN

Kondisi Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) ULP Tanjung Karang

Berdasarkan standard IEC 60354 menyatakan bahwa pembebanan maksimal yang diizinkan pada transformator dengan ambient temperature $\theta_a = 30^\circ\text{C}$ adalah 91%, sedangkan berdasarkan SPLN 50:1997 suhu titik panas maksimal pada isolasi transformator adalah 98°C . Seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel III.1. Pembebanan Maksimal Dan Suhu Titik Panas Maksimal Menurut Standan PLN 50:1997 & IEC 60354

No	Parameter	Nomal	Waspada	Darurat
1	Pembebanan	$\leq 80\%$	$80\% \leq x \leq 91\%$	$\geq 91\%$
2	Suhu	$\leq 90^\circ\text{C}$	$90^\circ\text{C} \leq x \leq 98^\circ\text{C}$	$\geq 98^\circ\text{C}$

Transformator pada gardu KRGK 0136 ini mempunyai kapasitas pembebanan sebesar 200 kVA. Berikut merupakan nameplate transformator sebelum dilakukan uprating transformator dengan kapasitas 200 kVA.

Tabel III.2. Klasifikasi Transformator 200 kVA No. Seri 20052123

No	Name Plate KRGK 0136 Sebelum Uprating Transformator	
1	No. Seri	20052123
2	Merk	TRANSFORMER
3	Tahun Pembuatan	2005
4	Frekuensi	50 Hz
5	Daya	200 kVA
6	Tegangan Primer	20.000 V
7	Tegangan Sekunder	400/231 V
8	Arus Primer	5,77 A
9	Arus Sekunder	288,68 A
10	Berat Total	1058 kg
11	Impedansi	4.13 %
12	Pendingin	ONAN
13	Vektor Grup	Dyn5
14	Phasa	3 Phasa
15	Standar	IEC-76 / SPLN-50 STANDAR
16	Temperatur Oil	55

Data Pengukuran Transformator Sebelum Uprating

Untuk melakukan analisis tersebut diperlakukan data-data sebagai masukan diantaranya yaitu:

Data pengukuran arus, tegangan di ujung jaringan, serta pengukuran tegangan Rak-TR.

Tabel. III.3. Arus di Gardu KRGK 0136 Sebelum Uprating Transformator (A)

Jurusan	Arus Di Gardu KRGK 0136			
	Ir (A)	Is (A)	It (A)	In (A)
LI	71	84	43	48
L2	42	8	27	30
L3	150	158	171	37
L4	12	19	44	33
Total	275	269	285	148

Tabel. III.4. Pengukuran Tegangan Di Rak-TR Sebelum Uprating Transformator (Volt).

Pengukuran Tegangan Di Rak-TR					
R-S (V)	S-T (V)	T-R (V)	R-N (V)	S-N (V)	T-N (V)
399	402	398	229	229	230

Tabel.III.5. Tegangan Di Ujung JTR Gardu KRGK 0136 Sebelum Uprating Transformator (Volt)

Tegangan Di Ujung JTR Gardu KRGK 0136		
R-N (V)	S-N (V)	T-N (V)
220	215	217

Untuk kondisi awal dari transformator distribusi dari gardu KRGK 0136 di PT.PLN (persero) ULP Tanjung Karang yang diukur pada tanggal 20 Januari 2021 dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel.III.6. Kondisi Awal Transformator KRGK 0136 Yang Diukur Pada Tanggal 20 Januari 2021

No. Gardu	Tanggal Pengukuran	Kapasi tas (kVA)	Beban Trafo		Kondi si Trafo Distri busi	Saran Tindaka n
			kVA	%		
KR GK 0136	20 Januari 2021	200 kVA	190,126 kVA	95,05%	Darura t	Uprating Transfor mator

Kondisi Pembebanan Transformator Sebelum Uprating

Transformator pada gardu KRGK 0136 ini mempunyai kapasitas transformator sebesar 200 kVA, untuk menghitung besarnya arus nominal/ arus beban penuh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{fl} &= \frac{\text{Kapasi tas Transformator}}{V \times \sqrt{3}} \\
 &= \frac{200.000}{400 V \times \sqrt{3}} \\
 &= 288,67 A
 \end{aligned}$$

Kemudian untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut dapat menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 I_{rata-rata} &= \frac{(I_R + I_S + I_T)}{3} \\
 &= \frac{(275 + 269 + 285)}{3} \\
 &= 276,3 A
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung hasil pembebanan total transformator pada gardu KRGK 0136 dibutuhkan perhitungan beban perfasa terlebih dahulu. Hasil perhitungan beban perfasa dapat dilihat sebagai berikut :

Perhitungan Beban Perfasa:

$$\begin{aligned}
 S_R &= I_{RTotal} \times V_{RN} \\
 &= 275 \times 229 \\
 &= 62.975 VA \\
 &= 62,975 kVA \\
 S_S &= I_{STotal} \times V_{SN} \\
 &= 269 \times 229 \\
 &= 61.601 VA \\
 &= 61,601 kVA \\
 S_T &= I_{TTotal} \times V_{TN} \\
 &= 285 \times 230 \\
 &= 65.550 VA \\
 &= 65,55 kVA
 \end{aligned}$$

Perhitungan beban total:

$$\begin{aligned}
 S_{Total} &= S_R + S_S + S_T \\
 &= 62,975 + 61,601 + 65,55 \\
 &= 190,126 kVA
 \end{aligned}$$

Perhitungan Persentase Pembebanan

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Pembebanan} &= \frac{\text{Daya Total Beban}}{\text{Kapasi tas Transformator}} \times 100\% \\
 &= \frac{190,126 kVA}{200 kVA} \times 100\% \\
 &= 95\%
 \end{aligned}$$

Data Jenis Penghantar Jaringan Tegangan Rendah Pada Gardu KRGK 0136

Diketahui bahwa jaringan tegangan rendah pada PT. PLN (Persero) ULP Karang menggunakan penghantar aluminium (AL) yang berdiameter (Kabel Twisted) dengan suhu keliling pada penghantar JTR, diasumsikan bersuhu 30 derajat.

Tabel.III.7. Data Jenis Penghantar JTR Pada Gardu KRGK 0136 Dan Nilai Reaktansi, Resistansi Kabel

Penghantar		(KHA) Kemampuan Hantar Arus (A)	Resistansi Penghantar Pada 20°C (ohm/km)	Reaktansi Pada F = 50 Hz (ohm/km)
Jenis	Ukuran			
Kabel Twisted	3×50+1×50 mm ²	154	0,641	0,3678
	3×50+1×50 mm ²	154	0,641	0,3678
	3×70+1×50 mm ²	196	0,443	0,3572
	3×70+1×50 mm ²	196	0,443	0,3572

Dapat diketahui nilai besaran :

a. Jurusan L1 (A)

Panjang Saluran A (L) = 0,225 km, r = 0,641 ohm/km, x = 0,1 ohm/km.

Maka R = 0,641 x 0,225 = 0,14 ohm.

X = 0,1 x 0,225 = 0,022 ohm.

b. Jurusan L2 (B)

Panjang Saluran B (L) = 0,350 km, r = 0,641 ohm/km, x = 0,1 ohm/km.

Maka R = 0,641 x 0,350 = 0,22 ohm.

X = 0,1 x 0,350 = 0,035 ohm.

c. Jurusan L3 (C)

Panjang Saluran C (L) = 0,450 km, r = 0,443 ohm/km, x = 0,1 ohm/km.

Maka R = 0,450 x 0,443 = 0,19 ohm.

X = 0,1 x 0,443 = 0,022 ohm.

d. Jurusan L4 (D)

Panjang Saluran D (L) = 0,6 km, r = 0,443 ohm/km, x = 0,1 ohm/km.

Maka $R = 0,6 \times 0,443 = 0,26 \text{ ohm}$.

$X = 0,1 \times 0,6 = 0,06 \text{ ohm}$.

Dengan asumsi $\text{Cos}\phi = 0,8$ dan $\text{Sin}\phi = 0,5$

Perhitungan Rugi-Rugi Daya Yang Dihasilkan Untuk Melihat Nilai Efisiensi Sebelum Uprating Transformator
Perhitungan rugi daya total per jurusan dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\Delta P = \frac{1}{3} (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 + I_N^2) \times R \times L$$

Maka untuk mencari nilai rugi-rugi daya pada suatu transformator distribusi KRGK 0136 sebelum uprating transformator yaitu :

$$\begin{aligned} \Delta P \text{ Jurusan L1} &= \frac{1}{3} (71^2 + 84^2 + 43^2 + 48^2) \times 0,14 \times 0,225 \\ &= 170,625 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P \text{ Jurusan L2} &= \frac{1}{3} (42^2 + 8^2 + 27^2 + 30^2) \times 0,22 \times 0,350 \\ &= 88,729 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P \text{ Jurusan L3} &= \frac{1}{3} (150^2 + 158^2 + 171^2 + 37^2) \times 0,19 \times \\ &0,450 \\ &= 2.255,109 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P \text{ Jurusan L4} &= \frac{1}{3} (12^2 + 19^2 + 44^2 + 33^2) \times 0,26 \times 0,6 \\ &= 183,26 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan hasil nilai rugi daya sebelum dilakukan uprating transformator pada tiap jurusan, lalu kita menghitung nilai total rugi daya yang di hasilkan untuk melihat rugi-rugi daya secara keseluruhan di gardu KRGK 0136 saat kondisi sebelum di uprating transformator, yang dimana didapatkan sesuai dengan persamaan dibawah ini:

$$\Delta P_{\text{Total}} = \Delta P \text{ Jurusan L1} + \Delta P \text{ Jurusan L2} + \Delta P \text{ Jurusan L3} + \Delta P \text{ Jurusan L4}$$

$$= 170,625 + 88,729 + 2.255,109 + 183,26$$

$$= 2.668,023 \text{ W}$$

$$= 2,668 \text{ kW}$$

Maka dari itu untuk mengetahui nilai efisiensi dari suatu transformator dilakukan perhitungan sesuai dengan pada nameplate transformator itu sendiri. Didapatkan bahwa untuk transformator dengan kapasitas 200kVA dengan pembebanan sebesar 190,126 kVA dan mempunyai rugi-rugi daya dengan nilai pada rugi daya sebesar 2.668,023 W atau 2,668 kW. Didapatkan dengan persamaan ini :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \text{Rugi-Rugi}} \times 100\% \\ &= \frac{190,126}{190,126 + 2,668} \times 100\% \\ &= 98,61 \text{ \%} \end{aligned}$$

Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan Di Ujung Saluran Akhir Transformator Sebelum Uprating Transformator
Untuk menghitung persentase jatuh tegangan pada ujung saluran akhir transformator sebelum uprating pada gardu KRGK 0136 maka dapat dilakukan perhitungan tegangan regulasi per fasa yaitu pada fasa R, S dan T dengan

menggunakan rumus persamaan yang dimana dapat dihitung seperti dibawah ini, yaitu:

Berdasarkan Pengukuran :

Regulasi Tegangan Pada Fasa R

$$\begin{aligned} V_{\text{reg}} &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \\ &= \frac{225 - 220}{220} \times 100\% \\ &= 4,09\% \end{aligned}$$

Regulasi Tegangan Pada Fasa S

$$\begin{aligned} V_{\text{reg}} &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \\ &= \frac{229 - 215}{215} \times 100\% \\ &= 6,51\% \end{aligned}$$

Regulasi Tegangan Pada Fasa T

$$\begin{aligned} V_{\text{reg}} &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \\ &= \frac{230 - 217}{217} \times 100\% \\ &= 6\% \end{aligned}$$

Data Pengukuran Transformator Sesudah Uprating

Setelah dilakukan analisis perhitungan pembebanan sebelum uprating transformator maka selanjutnya dilakukan penanganan uprating transformator.

Berikut merupakan *name plate* Transformator sesudah dilakukannya uprating transformator dengan kapasitas 250 kVA.



Gambar. Nameplate Transformator 250 kVA No.Seri 15037075

Tabel.III.8. Klasifikasi Transformator KRGK 0136 Sesudah Uprating Transformator No. Seri 15037075

No	Name Plate KRGK 0136 Sesudah Uprating Transformator	
1	No. Seri	15037075
2	Merk	SINTRA
3	Tahun Pembuatan	2007
4	Frekuensi	50 Hz
5	Daya	250 kVA
6	Tegangan Primer	20.000 V

7	Tegangan Sekunder	400/231 V
8	Arus Primer	5,77 A
9	Arus Sekunder	288,68 A
10	Berat Total	1140 kg
11	Impedansi	4.13 %
12	Pendingin	ONAN
13	Vektor Grup	Dyn5
14	Phasa	3 Phasa
15	Standar	D3.002-1:2007
16	Temperatur Oil	50/55

Berikut ini merupakan hasil pengukuran pada trafo distribusi yang sudah dilakukan uprating trafo KRGK 0136 yang mengalami *overload*.

Tabel.III.9. Arus di Gardu KRGK 0136 Sesudah Uprating Transformator (A)

Jurusan	Arus Di Gardu KRGK 0136			
	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)
LI	73	79	41	49
L2	45	8	24	45
L3	138	153	157	34
L4	8	19	55	39
Total	264	259	277	167

Tabel.III.10. Pengukuran Tegangan Di Rak-TR Sesudah Uprating Transformator (Volt)

Pengukuran Tegangan Di Rak-TR					
R-S (V)	S-T (V)	T-R (V)	R-N (V)	S-N (V)	T-N (V)
397	400	399	227	230	299

Tabel.III. 11 Tegangan Di Ujung Gardu KRGK 0136 Sesudah Uprating Transformator (Volt)

Tegangan Di Ujung JTR Gardu KRGK 0136		
R-N (V)	S-N (V)	T-N (V)
215	221	219

Kondisi Pembebanan Transformator Sesudah Uprating

Trafo pada Gardu KRGK 0136 ketika sudah dilakukan penanganan uprating transformator ini mempunyai kapasitas trafo sebesar 250 kVA, untuk menghitung besarnya arus nominal/arus beban penuh adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Ifl &= \frac{\text{Kapasitas Transformator}}{V \times \sqrt{3}} \\
 &= \frac{250000}{400 V \times \sqrt{3}} \\
 &= 360,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan arus rata-rata beban trafo kembali ketika setelah dilakukan uprating transformator tersebut dapat menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 I \text{ rata-rata} &= \frac{(I_R + I_S + I_T)}{3} \\
 &= \frac{(264 + 259 + 277)}{3} \\
 &= 266,6 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Pembebanan Perphasa Transformator Sesudah Uprating Transformator Pada Gardu KRGK 0136.

Perhitungan Beban Perfasa:

$$\begin{aligned}
 S_R &= I_{R\text{Total}} \times V_{RN} \\
 &= 264 \times 277 \\
 &= 59928 \text{ VA} \\
 &= 59,928 \text{ kVA} \\
 S_S &= I_{S\text{Total}} \times V_{SN} \\
 &= 259 \times 230 \\
 &= 59570 \text{ VA} \\
 &= 59,570 \text{ kVA} \\
 S_T &= I_{T\text{Total}} \times V_{TN} \\
 &= 277 \times 229 \\
 &= 63433 \text{ VA} \\
 &= 63,433 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Setelah didapat hasil dari perhitungan dari beban perfasa yaitu fasa R,S,dan T diatas, maka selanjutnya menghitung beban total dibawah ini yaitu:

Perhitungan beban total:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{Total}} &= S_R + S_S + S_T \\
 &= 59,928 + 59,570 + 63,433 \\
 &= 182,931 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Kemudian untuk mendapatkan hasil dari persentase (%) pembebanan sesudah melakukan uprating transformator dapat dihitung dengan menggunakan rumus, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan persentase pembebanan} \\
 \% \text{ Pembebanan} &= \frac{\text{Daya Total Beban}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\% \\
 &= \frac{182,931 \text{ kVA}}{250 \text{ kVA}} \times 100\% \\
 &= 73\%
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada trafo setelah uprating trafo maka hasilnya menunjukkan bahwa trafo KRGK 0136 sudah kembali normal atau tidak mengalami *overload* karena total persentase pembebanan trafo tidak lagi melebihi beban standar yang telah ditentukan sebelumnya, yakni 73 %.

Perhitungan Rugi-Rugi Daya Yang Dihasilkan Untuk Melihat Nilai Efisiensi Sesudah Uprating Transformator Setelah melakukan uprating transformator pada gardu KRGK 0136, Kemudian selanjutnya dilakukan perhitungan yang dengan tujuan sebagai perbandingan rugi-rugi daya dari transformator 200 kVA dengan transformator 250 kVA yang dimana pembebanan pada transformator tersebut sebesar 182,931 kVA, dengan melihat perbandingan nilai arus di tiap jurusan setelah dilakukan uprating transformator.

Maka untuk mencari nilai rugi-rugi daya pada suatu transformator distribusi KRGK 0136 sesudah uprating transformator yaitu :

$$\Delta P \text{ Jurusan L1} = \frac{1}{3} (73^2 + 79^2 + 41^2 + 49^2) \times 0,14 \times 0,225 = 164,346 \text{ W}$$

$$\Delta P \text{ Jurusan L2} = \frac{1}{3} (45^2 + 8^2 + 24^2 + 45^2) \times 0,22 \times 0,350 = 120,376 \text{ W}$$

$$\Delta P \text{ Jurusan L3} = \frac{1}{3} (138^2 + 153^2 + 157^2 + 34^2) \times 0,19 \times 0,450 = 1.945,353 \text{ W}$$

$$\Delta P \text{ Jurusan L4} = \frac{1}{3} (8^2 + 19^2 + 55^2 + 39^2) \times 0,26 \times 0,6 = 258,492 \text{ W}$$

Setelah didapatkan hasil nilai rugi daya sebelum dilakukan uprating transformator pada tiap jurusannya lalu kita menghitung nilai total rugi daya yang di hasilkan untuk melihat rugi-rugi daya secara keseluruhan di gardu KRGK 0136 saat kondisi sesudah di uprating transformator, yang dimana didapatkan sesuai dengan persamaan dibawah ini maka didapatkan :

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{Total}} &= \Delta P \text{ Jurusan L1} + \Delta P \text{ Jurusan L2} + \Delta P \text{ Jurusan L3} + \Delta P \text{ Jurusan L4} \\ &= 164,346 + 120,376 + 1.945,353 + 258,492 \\ &= 2.488,567 \text{ W} \\ &= 2,488 \text{ kW} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk mengetahui besar suatu efisiensi sesudah dilakukan uprating transformator didapatkan bahwa rugi-rugi daya sesudah dilakukan uprating dengan nilai sebesar 2.488,567 W atau 2,488 kW dengan pembebanan sebesar 182,931 kVA. Untuk perhitungan dapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \text{Rugi-Rugi}} \times 100\% \\ &= \frac{182,931}{182,931 + 2,488} \times 100\% \\ &= 97,82\% \end{aligned}$$

Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan Di Ujung Saluran Akhir Transformator Sesudah Uprating Transformator Pada Gardu KRGK 0136

Berdasarkan Pengukuran :
Regulasi Tegangan Pada Fasa R

$$\begin{aligned} V_{\text{reg}} &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \\ &= \frac{227 - 215}{215} \times 100\% \\ &= 5,58\% \end{aligned}$$

Regulasi Tegangan Pada Fasa S

$$\begin{aligned} V_{\text{reg}} &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \\ &= \frac{230 - 221}{221} \times 100\% \\ &= 4\% \end{aligned}$$

Regulasi Tegangan Pada Fasa T

$$\begin{aligned} V_{\text{reg}} &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \\ &= \frac{229 - 219}{219} \times 100\% \\ &= 4,56\% \end{aligned}$$

Perbandingan Persentase Pembebanan Sebelum Uprating Transformator dan Sesudah Uprating Transformator Sesuai dengan data pengukuran beban transformator sebelum dan sesudah uprating transformator pada Gardu Distribusi KRGK 0136 Penyulang ES area PT.PLN (Persero) ULP Karang, maka didapatkan hasil perhitungan pembebanan transformator perphasa sebelum uprating transformator yaitu pada fasa R sebesar 62,975 kVA, fasa S sebesar 61,607 kVA, dan fasa T sebesar 65,55 kVA dengan persentase pembebanan daya transformator sebesar 95% yang dimana pembebanan ini sudah melewati batas standard PLN sebesar 80% dari kapasitas transformator. Dari pembebanan tersebut maka pembebanan pada transformator dapat dikatakan dalam keadaan *overload*, oleh karena itu dilakukan penanganan metode uprating transformator untuk mengatasi pembebanan berlebih (*overload*) pada gardu distribusi KRGK 0136.

Dibawah ini merupakan tabel hasil pembebanan transformator sebelum uprating transformator pada gardu distribusi KRGK 0136. Dapat dilihat dari tabel dibawah ini, yaitu:

Tabel.III.12 Pembebanan Transformator Sebelum Dilakukan Uprating Transformator

Jurusan	Arus Jurusan				Persentase Pembebanan Daya Transformator (%)
	R	S	T	N	
A	71	84	43	48	95%
B	42	8	27	30	
C	150	158	171	37	
D	12	19	44	33	
Daya (kVA)	62,975	61,607	65,55	-	
Daya Total Transformator (kVA)	190,132				

Setelah dilakukan perhitungan pembebanan transformator sesudah uprating transformator maka didapatkan perhitungan pembebanan transformator perphasa yaitu pada fasa R sebesar 59,928 kVA, fasa S sebesar 59,570 kVA, dan juga untuk fasa T sebesar 63,433 kVA dengan persentase pembebanan daya transformator sebesar 73% yang dimana pembebanan setelah dilakukan uprating transformator didapatkan bahwa transformator tersebut sudah dikatakan tidak *overload* lagi karena persentase pembebanan dibawah 80%.

Tabel.III. 13. Pembebanan Transformator Setelah Dilakukan Uprating Transformator

Jurusan	Arus Jurusan				Persentase Pembebanan Daya Transformator (%)
	R	S	T	N	
A	73	79	41	49	73%
B	45	8	24	45	
C	138	153	157	34	
D	8	19	55	39	
Daya (kVA)	59,928	59,570	63,433	-	
Daya Total Transformator (kVA)	182,931				

Sesuai dengan perbandingan yang didapat pada tabel diatas maka pembebanan pada transformator setelah dilakukan uprating transformator baru didapatkan hasil persentase pembebanan sebesar 73% yang dimana transformator dikategorikan sebagai transformator yang sudah baik dan sesuai dengan standard PLN yaitu dibawah 80%.

Perbandingan Rugi Daya Yang Dihasilkan Untuk Mengetahui Nilai Efisiensi Transformator Sebelum Dan Sesudah Uprating.

Dari hasil analisis yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa terlihat rugi-rugi daya pada transformator KRGK 0136 sebelum dilakukan uprating transformator lebih besar terjadi yaitu sebesar 2,668 KW, hal ini terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi ketika sebelum dilakukan uprating transformator sehingga menyebabkan arus mengalir di penghantar netral trafo lebih besar, jadi dapat dikatakan bahwa semakin besar arus yang mengalir di penghantar netral trafo maka akan menyebabkan semakin besarnya rugi daya dan akan semakin besar pula persentase rugi-rugi daya.

Tabel.III.14. Perbandingan Rugi Daya Serta Persentase Nilai Efisiensi Sebelum Dan Sesudah Uprating Transformator KRGK 0136

Rugi-Rugi daya Pada Transformator KRGK 0136		
ΔP Jurusan (W)	Sebelum Uprating	Sesudah Uprating
ΔP Jurusan L1 (W)	170,625 W	164,346 W
ΔP Jurusan L2 (W)	88,729 W	120,376 W
ΔP Jurusan L3 (W)	2.225,109 W	1.945,353 W
ΔP Jurusan L4 (W)	183,56 W	258,492 W

ΔP Total (W)	2.688,023 W	2.488,567 W
Efisiensi (%)	98,61%	97,82%

Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa efisiensi trafo juga lebih besar ketika transformator sebelum dilakukan uprating dengan kapasitas transformator sebesar 200 kVA yaitu sebesar 98,61%, sedangkan ketika dilakukan penanganan uprating transformator dengan kapasitas transformator yang lebih besar sebesar 250 kVA maka persentase efisiensi pemakaian transformator menjadi menurun sebesar 97,82%. Hal ini terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi ketika transformator dengan kapasitas 200 kVA yang dibebani sebesar 190,126 kVA, dan ketika dilakukan penanganan dengan cara uprating transformator dengan kapasitas 250 kVA maka pembebanan berkurang menjadi 182,931 kVA, Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa pemakaian beban listrik akan berbanding lurus dengan efisiensi pada suatu transformator dan berbanding terbalik dengan rugi-rugi daya listrik pada transformator. Artinya semakin besar pemakaian beban listrik maka akan semakin besar juga efisiensi dari trafo tersebut dan apabila semakin kecil rugi daya maka akan semakin besar pula efisiensi trafo, begitu juga sebaliknya.

Perbandingan Persentase Jatuh Tegangan Di Ujung Saluran Akhir Transformator Sesudah Dan Sebelum Uprating Transformator.

Untuk memastikan apakah penyaluran daya pada transformator tersebut mengalami jatuh tegangan atau tidak. Oleh karena itu dilakukan perhitungan secara manual terhadap persentase jatuh tegangan di ujung saluran akhir transformator. Berdasarkan perhitungan dapat dilihat bahwa kondisi transformator di gardu KRGK 0136 walaupun mengalami gangguan *overload* pada transformator akan tetapi tidak mempengaruhi nilai jatuh tegangan di ujung saluran penerima.

Tabel.III.15 Persentase Regulasi Drop Tegangan Di Ujung Penerima

Kondisi	Fasa R (%)	Fasa S (%)	Fasa T (%)
Sebelum Uprating Transformator	4,09%	6,51%	6%

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa didapatkan hasil dari perhitungan untuk persentase drop tegangan pada fasa R sebesar 4,09% dan fasa S sebesar 6,51% kemudian untuk fasa T sebesar 6%. Maka dari itu pada gardu KRGK 0136 mengalami *overload* akan tetapi tidak mengalami kondisi jatuh tegangan di ujung saluran penerima.

Setelah memastikan bahwa tidak terdapat jatuh tegangan di ujung penerima melalui perhitungan yang dilakukan, selanjutnya dilakukan uprating transformator. Hal ini yang mendasari kasus *overload* pada gardu KRGK 0136 untuk melakukan uprating transformator.

Setelah dilakukan uprating transformator kita melihat perbandingan sesudah dilakukan uprating transformator untuk memastikan bahwa tegangan di ujung saluran tersebut tidak mengalami jatuh tegangan di ujung saluran. Dan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel.III. 16. Persentase Regulasi Drop Tegangan Di Ujung Penerima

Kondisi	Fasa R (%)	Fasa S (%)	Fasa T (%)
Sesudah Uprating Transformator	5,58%	4%	4,56%

Hasil membuktikan bahwa persentase nilai jatuh tegangan masih dalam kondisi normal ketika sudah dilakukan uprating transformator. Hal ini membuktikan bahwa pada gardu KRGK 0136 untuk penyaluran dayanya tidak mengalami kondisi jatuh tegangan di ujung saluran penerima. Hal ini dikarenakan pada transformator KRGK 0136 mengalami keadaan dalam kondisi *overload* tidak begitu lama sehingga gardu KRGK 0136 ini tidak berpengaruh terhadap nilai jatuh tegangan. Karena itu, hal ini lah yang mendasari bahwa pada kasus *overload* di gardu KRGK 0136 ini melakukan uprating transformator.

Implikasi Masalah

Berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan yaitu besar pembebanan suatu trafo yang diizinkan adalah sebesar 80% dari kapasitas trafo. Sehingga trafo KRGK 0136 dinyatakan sebagai trafo *overload* dikarenakan persentase pembebanan yang melebihi ketentuan yaitu 95%. Untuk menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik dan mutu pelayanan pada pelanggan, maka pihak PLN mengambil tindakan untuk melakukan perbaikan sebagaimana mestinya hingga dapat mengatasi kondisi *overload* suatu trafo. Namun dalam penelitian ini, penulis hanya melakukan analisis terhadap sebuah trafo guna mengatasi kondisi tersebut, dan objek pada penelitian ini berpusat pada trafo KRGK 0136 yang mengalami beban lebih (*overload*). Berdasarkan hasil penelitian penulis, beban lebih pada sebuah trafo dapat diatasi dengan tiga cara yaitu uprating dan pemasangan trafo sisipan serta pemindahan jurusan. Namun dalam mengatasi *overload* pada trafo KRGK 0136 ini dilakukan uprating, hal ini dilakukan untuk memperbaiki beban lebih pada trafo tersebut.

Sesuai dengan data pengukuran beban transformator sebelum dan sesudah uprating transformator pada Gardu distribusi KRGK 0136 penyulang Es area PT. PLN (Persero) ULP Karang, maka didapat hasil perhitungan pembebanan transformator perphasa sebelum uprating transformator yaitu pada fasa R sebesar 62,975 kVA, fasa S sebesar 61,607 kVA, dan fasa T sebesar 65,55 kVA dengan persentase pembebanan daya transformator sebesar 95% yang dimana sudah melewati batas standar PLN yaitu sebesar 80% dari kapasitas transformator. Dari pembebanan tersebut maka pembebanan pada transformator dapat dikatakan sudah *overload*. Oleh karena itu dilakukan uprating transformator

untuk mengatasi pembebanan lebih atau *overload* pada gardu distribusi KRGK 0136. Setelah dilakukan perhitungan pembebanan transformator sesudah uprating transformator baru maka didapat perhitungan pembebanan transformator perphasa yaitu pada fasa R sebesar 59,928 kVA, fasa S sebesar 59,570 kVA, dan fasa T sebesar 63,433 kVA dengan persentase pembebanan daya transformator sebesar 73% yang dimana pembebanan setelah dilakukan uprating transformator sudah dikatakan tidak *overload* lagi atau dibawah 80%. Sesuai dengan perbandingan yang didapat maka pembebanan pada transformator setelah dilakukan uprating transformator didapat 73% yang dimana dikategorikan sudah baik dan sesuai dengan standar pembebanan dibawah 80%. Karena itu setelah dilakukan uprating transformator dengan pembebanan dibawah 80% maka transformator dapat dikatakan bekerja dengan baik dan membuat penyaluran listrik dari gardu KRGK 0136 dapat disalurkan dengan baik hingga sampai ke pelanggan.

Peneliti menemukan upaya penanganan ataupun rencana tindak lanjut yang dilakukan pihak PT. PLN (Persero) ULP Karang adalah menggunakan metode uprating yaitu dengan menambahkan daya transformator dari 200 kVA di uprating menjadi 250 kVA. Hal tersebut sesuai dengan penelitian oleh Samsurizal & Hadinoto (2020) bahwa salah satu upaya penanganan kasus *overload* adalah metode uprating. Metode uprating transformator berfungsi untuk mengatasi kasus *overload* pada transformator. Metode ini paling sederhana atau mudah tanpa persyaratan apapun untuk mengatasi transformator *overload*. Beberapa faktor yang melatar belakangi dilakukannya uprating adalah untuk mengurangi kasus *overload*, antara lain sebagai berikut:

1. Finansial

Metode penambahan daya transformator atau metode uprating adalah metode menambahkan daya, sebagai contoh dari 200 kVA menjadi 250 kVA sedangkan beberapa jenis transformator seperti transformator sisip harus melakukan beberapa perencanaan diantaranya mengenai perhitungan finansial, lahan, waktu, tempat seperti diperkotaan, material, penjualan kVA terhadap konsumen. Selain daripada itu, metode transformator sisip jauh lebih mahal dibandingkan dengan metode uprating transformator dikarenakan metode ini hanya menambah kapasitas daya yang lebih besar dari daya sebelumnya.

2. Lahan

Saat ingin melakukan uprating transformator hanya menambah daya yang lebih besar dari daya sebelumnya sehingga tidak perlu membutuhkan lahan yang luas bahkan material tambahan juga tidak diperlukan.

Dari hasil analisis pada trafo KRGK 0136 penyulang ES sebelum dilakukan uprating trafo, hasil presentase pembebanan yang didapatkan yakni 95%. Namun setelah adanya uprating trafo, hasil pembebanan pada trafo tersebut mengalami perubahan menjadi 73%.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dan analisis yang telah dilakukan pada gardu KRGK 0136 maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari pembahasan yang dibahas, yaitu:

1. Dari hasil analisis beserta perhitungan yang didapatkan setelah menggunakan metode ini, presentase pembebanan transformator berkurang hingga 73% dengan penambahan daya ke transformator sebesar 250 kVA. Presentase pembebanan ini berkurang dari persentase sebelumnya dengan pembebanan sebesar 95,05% dari kapasitas transformator 200 kVA.
2. Pada transformator sebelum dilakukan uprating transformator pada penyulang ES di gardu KRGK 0136 didapat persentase pembebanan sebesar 95% yang dimana dinyatakan pembebanan telah *overload* akibatnya akan mengalami kenaikan suhu dan panas pada transformator pun semakin meningkat akibat *overload*. Akibat kenaikan suhu akan menimbulkan panas yang berlebih dan bila digunakan secara terus menerus pada transformator dengan pembebanan 95% dari kapasitas transformator 200 kVA, berdampak kerusakan pada isolasi, material, dan transformator. sehingga susut umur transformator berkurang, kualitas daya yang dihasilkan menurun dan akan mempengaruhi jatuh tegangan di ujung jaringan.
3. Pemakaian beban listrik akan berbanding lurus dengan efisiensi pada suatu transformator dan berbanding terbalik dengan rugi-rugi daya listrik pada transformator. Artinya semakin besar pemakaian beban listrik maka akan semakin besar juga efisiensi dari trafo tersebut dan apabila semakin kecil rugi daya maka akan semakin besar pula efisiensi trafo, begitu juga sebaliknya.
4. Cara penanggulangan apabila terjadinya transformator yang *overload* salah satu metodenya yaitu uprating transformator dimana metode ini merupakan salah satu metode yang dapat digunakan khususnya pada gardu KRGK 0136 dikarenakan metode ini merupakan suatu metode penambahan daya transformator yang lebih besar dari daya sebelumnya sehingga tidak perlu membutuhkan lahan yang luas bahkan material tambahan lainnya, selain itu metode ini merupakan suatu metode yang paling efisien serta ekonomis.

REFERENSI :

- [1] K. W. Widiatmika, I. W. A. Wijaya, and ..., "Analisis Penambahan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload Padatransformator Db0244 Di Penyulang Sebelanga," *J ...*, 2018, [Online]. Available: <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1354055&val=955&title=ANALISIS%20PENAMBAHAN%20TRANSFORMATOR%20SISIPAN%20UNTUK%20MENGATASI%20OVERLOAD%20PADATTRANSFORMATOR%20DB0244%20DI%20PENYULANG%20SEBELANGA>
- [2] I. Gopala, I. Kurniawan, and D. Suhantono, *Analisis Upaya Preventif Mengatasi Transformator Overload*

- dengan Metode Uprating Transformator Gardu Distribusi TJ 094 Penyulang Airsanih.* repository.pnb.ac.id, 2022. [Online]. Available: <http://repository.pnb.ac.id/id/eprint/159>
- [3] H. Mukti, M. H. Farizan, and ..., "Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload dan Drop Voltage pada Penyulang Selogabus PT. PLN (Persero) ULP ...," *Elposys: Jurnal Sistem ...*, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.polinema.ac.id/index.php/elposys/article/download/646/378>
 - [4] https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/12533-Full_Text.pdf
 - [5] <http://156.67.221.169/3984/1/SKRIPSI%20201711254.%20MAULANA%20IRSYAD.pdf>
 - [6] <https://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/2974/130402002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 - [7]. Bini, T., Tadjuddin, Maajidah, A. N., & Putra, A. T. (2019). Politeknik Negri Ujung. *Analisis Jatuh Tegangan Rendah PT.PLN (Persero) Rayon Takalar.*
 - [8] Harahap, P., Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 kV Mengurangi Beban Overload Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo BL 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi ETAB 12.6.0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi)*, 1(2), 62-69.
 - [9] Kongah, D., Sarjan, M., & Mukhlis, B. (2014). JURNAL MEKTRIK. *Analisis Pembebanan Transformator Gardu Selatan Kampus Universitas Tadulako*, 1(1), 11-19.
 - [10] Narottama, A. N., Sunaya, I. M., Purbhawa, I. M., & Dwi Novianti, K. R. (2014). Jurnal Matrix. *Analisa Pengaruh Rekonfigurasi Jaringan Terhadap Pembebanan Pada Gardu Distribusi KA 1316*, 4(3), 125-130.
 - [11] Samsurizal, & Hadinoto, B. (2020). KILAT. *Studi Analisa Dampak Transformator Terhadap Kualitas Daya Di PT.PLN (Persero) UP3 Pondok Gede*, 9(1), 136- 142.
 - [12] Widiatmika, K. W., Wijaya, I. A., & Setaiawan, I. N. (2018). E-Journal SPEKTRUM. *Analisa Penambahan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload Pada Transformator DB0244 Di Penyulang Sebelanga*, 5(2), 19-25.