

Analisis Penggunaan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Rugi Tegangan dan Pembebanan Lebih

Rachmat Sutjipto*), Heri Sungkowo, Epiwardi, Dhimas Dhesah Kharisma

(Artikel diterima : September 2023, direvisi Oktober 2023)

Abstract: On the JD267 distribution transformer with a capacity of 100 kVA at the Kalibaru feeder on the PT PLN (Persero) ULP Genteng experienced problems with overloading at WBP (88.03%) and high voltage losses. The magnitude of the load exceeds 80% of the standard transformer capacity and is in the bad category (load \geq 80%) according to Table I. SE No. 0017.E/DIR/2014, related to transformer loading percentage. Meanwhile, the voltage loss of the JD267 transformer when the WBP is in Phase R is 19.05%, Phase S is 17.08%, and Phase T is 18.33%. This exceeds the voltage tolerance limit in SPLN 1:1995 that the voltage is not allowed to exceed +5% and -10% of the PLN standard voltage, namely 220 V. To handle this problem, PT. PLN (Persero) ULP Genteng carried out the installation of insert transformers by estimating load growth in the next 5 years using the Least Square method. After the addition of the insert transformer, the loading on the JD267 distribution transformer fell to 58.93% on WBP. Meanwhile, the magnitude of the JD267 transformer voltage loss when the WBP after insertion in the R Phase decreases to 0.84%, the S Phase is 1.04%, and the T Phase is 1.63%, and when the LWBP after insertion in the R Phase decreases to 0.76%, S Phase 0.30%, and T Phase 0.6%. Based on the data above, adding an insert transformer can improve the loading percentage on the transformer and reduce voltage losses that occur at the end voltage of the transformer.

Keywords: overload, drop voltage, insertion transformer

1. Pendahuluan

Penyulang Kalibaru memiliki 73 gardu distribusi yang beroperasi. Salah satu transformator yang beroperasi pada Penyulang Kalibaru adalah Transformator JD267 dengan daya 100 kVA yang terletak di Dsn. Tegal Pakis, Ds. Kalibaru wetan, Kec. Kalibaru, Kab. Banyuwangi. Transformator JD267 memiliki 2 jurusan yaitu jurusan B dengan panjang Jaringan Tegangan Rendah (JTR) sepanjang 0,512 km berjumlah 10 gawang dan jurusan D memiliki panjang 0,16 kms berjumlah 4 gawang menggunakan *Low Voltage Twisted Cable* (LVTC) 4 x 70 mm². Pada gawang B04 yang menggunakan *Low Voltage Twisted Cable* (LVTC) 2 x 10 mm² ditarik sejauh 0,85 kms sehingga satu Saluran Layanan Pelanggan (SLP) digunakan untuk melayani hingga 40 pelanggan listrik. Dari data pengukuran yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa pembebanan transformator JD267 pada Penyulang Kalibaru mengalami *overload* sebesar 88% dengan tegangan ujung terjauh pada pelanggan bernilai 187 V pada fasa R, 188 V pada fasa S, dan 196 V pada fasa T. Dari data-data ini maka dapat diketahui bahwa rugi tegangan pada saluran tenaga listrik tegangan rendah (SLTR) telah mencapai 18% pada pelanggan paling ujung dan hal ini tidak sesuai ketentuan regulasi standar tegangan PLN yang menyatakan bahwa batas maksimal dan minimal tegangan adalah pada *range* +5% atau -10%.

Selain itu diketahui juga bahwa transformator JD267 telah dibebani melebihi ketentuan PT. PLN (Persero) yang tercantum pada Tabel I. SE No 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset yang menyatakan bahwa besar pembebanan maksimal yang diizinkan pada transformator adalah sebesar 80%.

2. Metode Penelitian

2.1 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV) menjadi jaringan distribusi tegangan rendah (380 V). Jenis transformator yang digunakan adalah transformator tiga fasa dan di Indonesia, sebagian besar pada jaringan distribusi untuk pelanggan 1 fasa dan 3 fasa sekarang ini digunakan transformator tiga fasa jenis *outdoor*, yaitu jenis transformator yang diletakkan diatas tiang dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan jenis *indoor*, yaitu jenis yang diletakkan di dalam rumah gardu.

2.2 Transformator Sisipan

Transformator sisipan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengatasi *overload* pada transformator yang tersedia. Apabila terdapat transformator yang sudah *overload* dan jarak transformator terlalu jauh dengan beban yang akan dilayani, maka hal ini dapat menimbulkan rugi daya dan rugi tegangan yang besar pada bagian ujung dari jaringan tegangan rendah (JTR). Dengan menyisipkan transformator baru maka akan dapat mengurangi jarak pelayanan dari transformator distribusi yang sudah ada, sehingga rugi tegangan juga akan semakin rendah.

Dua atau lebih transformator bisa dioperasikan secara paralel ketika persyaratan paralel transformator dipenuhi antara lain : rasio belitan, persen impedansi, dan rasio X/R nya dari trafo yang diparalel mempunyai harga yang sama [5]. Jika persyaratan tersebut tidak dipenuhi maka akan menghasilkan arus yang bersirkulasi atau pembagian arus yang tidak diinginkan dan sebaiknya transformator-transformator tidak dioperasikan secara paralel.

2.3 Kinerja Transformator Distribusi

2.3.1 Pembebanan Transformator Distribusi

*Korespondensi: rachmat.sutjipto@polinema.ac.id

Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro,

Polinema. Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

Besarnya persentase pembebanan transformator dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$\%Beban = \frac{kVA (beban)}{kVA(transformator)} \quad (2-1)$$

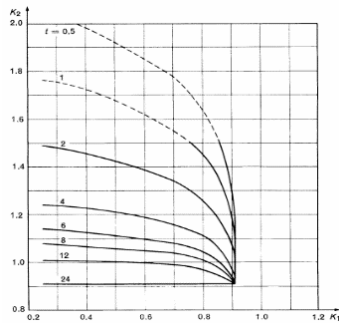
Keterangan:

- %Beban = Persentase pembebanan transformator
- kVA (beban) = Daya total beban
- kVA(transformator) = Daya kapasitas transformator

Sesuai dengan SPLN 17: 1979, transformator dapat dibebani lebih dari 80% tapi harus dengan syarat harus sesuai dengan nilai K_2 yang telah diizinkan dan nilai K_2 tidak lebih dari 1,5. Nilai K_1 diperoleh dari persamaan (2-2) sedangkan nilai K_2 diperoleh dari persamaan (2-3) Setelah dilakukan perhitungan, maka dengan melihat gambar 2.1 dapat diketahui apakah nilai K_2 sudah sesuai dengan yang ketentuan yang ada. Untuk mendapatkan harga K_1 dan K_2 maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$K_1 = \frac{kVA (beban_{LWBP})}{kVA(transformator)} \quad (2-2)$$

$$K_2 = \frac{kVA (beban_{WBP})}{kVA(transformator)} \quad (2-3)$$



GAMBAR 2.1 GRAFIK PEMBEBANAN TRANSFORMATOR PENDINGIN ONAN/ONAF DENGAN SUHU LINGKUNGAN 30°C

2.3.2 Peramalan Beban Metode Least Square

Untuk memperkirakan besarnya beban puncak yang akan terjadi di sistem tenaga listrik dalam beberapa tahun yang akan datang maka digunakan metode *Least Square* [4]. Untuk menentukan besarnya besanya beban pada waktu tertentu (Y_n) maka digunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$Y_n = a + bx \quad (2-4)$$

Keterangan :

- a dan b = koefisien
- Y = diasumsikan Jumlah Beban (kVA)
- n = banyak tahun
- x = waktu tertentu dalam bentuk kode

Untuk menentukan besarnya koefisien a dan b maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$a = \frac{\sum Y}{n} \quad (2-5)$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} \quad (2-6)$$

2.4 Rugi Tegangan

Besarnya rugi tegangan dalam suatu jaringan adalah besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Besarnya rugi tegangan dapat dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran volt. Berdasarkan SPLN No.72 Tahun 1987, variasi tegangan pelayanan sebagai akibat dari rugi tegangan hanya diperbolehkan maksimum +5% dan minimum -10% terhadap tegangan nominalnya. Rugi tegangan (ΔV) didefinisikan sebagai selisih tegangan pada ujung pengirim (V_s) dan tegangan pada ujung penerima (V_R), yang dinyatakan dengan persamaan [3]:

$$\Delta V = V_s - V_R \quad (2-7)$$

Keterangan :

- ΔV = rugi tegangan (volt)
- V_s = tegangan sumber (volt)
- V_R = tegangan penerima (volt)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Pembebanan Sebelum Penyisipan Transformator JD267

Pengambilan data tegangan & arus pada transformator JD267 dilaksanakan sebanyak empat kali dimulai tanggal 18 September 2020-11 Oktober 2021 antara pukul 11.00-13.00 dan 17.00-20.00 antara pukul 11.00-13.00 dan 17.00-20.00.

TABEL 3.1 DATA PENGUKURAN TEGANGAN SUMBER JD267 (SEBELUM SISIP)

Nomor Gardu	Waktu	Fasa	Tegangan (volt)				Rata-rata (volt)
			1 18/09/ 2020	2 07/01/ 2021	3 23/06/ 2021	4 11/10/ 2021	
JD267	WBP	R-N	228.1	229	230	231	229,5
		S-N	226	228	226	227	226,7
		T-N	236	238	237	240	237,7
	LWBP	R-N	224	230	232	230	232
		S-N	220	216	228	226	229
		T-N	230	219	225	232	230,7

TABEL 3.2 DATA PENGUKURAN TEGANGAN UJUNG JD267 (SEBELUM SISIP)

Nomor Gardu	Waktu	Fasa	Tegangan (volt)				Rata-rata (volt)
			1 18/09/ 2020	2 07/01/ 2021	3 23/06/ 2021	4 11/10/ 2021	
JD267	WBP	R-N	200	195	190,5	187	193.13
		S-N	200	197	191	188	194
		T-N	210	192	190	196	197
	LWBP	R-N	209	201	200	197	201.75
		S-N	212	197	201	199	202.25
		T-N	200	198	203	199	197.75

TABEL 3.3 DATA PENGUKURAN ARUS SUMBER JD267 (SEBELUM SISIP)

Nomor Gardu	Waktu	Fasa	Arus (A)				Rata-rata (A)
			1 18/09/2020	2 07/01/2021	3 23/06/2021	4 11/10/2021	
JD267	WBP	R-N	132	130	135	140	134,25
		S-N	101	93	100	110	101
		T-N	117	120	110	128	118,75
	LWBP	R-N	65	50	63	70	62
		S-N	47	45	50	60	50,5
		T-N	50	53	53	63	54,75

a. Persentase pembebanan pada WBP

$$\%Beban = \frac{88030}{100000} \times 100\% = 88,03\%$$

b. Persentase pembebanan pada LWBP

$$\%Beban = \frac{38375}{100000} \times 100\% = 38,38\%$$

TABEL 3.4 PEMBEBANAN TRANSFORMATOR JD267 SEBELUM PENYISIPAN

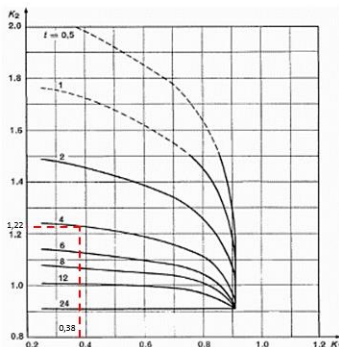
Fasa	WBP			LWBP			
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (VA)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (VA)	
R-N	231	140	32340	230	62	14260	
S-N	227	110	24970	226	50,5	11413	
T-N	240	128	30720	232	54,75	12702	
Total			88030	Total			38375
%Pembebanan			88,03%	%Pembebanan			38,38%

c. Perhitungan nilai K_1 berdasarkan persamaan (2-2)

$$K_1 = \frac{38375 VA}{100000 VA} = 0,38$$

d. Perhitungan nilai K_2 berdasarkan persamaan (2-3)

$$K_2 = \frac{88030 VA}{100000 VA} = 0,88$$



GAMBAR 3.1 KURVA PEMBEBANAN MAKSIMUM SEBELUM PENYISIPAN TRANSFORMATOR JD267

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai $K_1 = 0,38$ dan nilai $K_2 = 0,88$. Jika data-data tersebut dimasukkan dalam grafik pembebanan transformator maka akan didapatkan Gambar 3.1 Kurva Pembebanan Maksimum Sebelum Penyisipan Transformator JD267. Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa dengan nilai $K_1 = 0,38$ maka nilai K_2 maksimal yang diizinkan adalah sebesar 1,22 (122% dari daya nominal transformator) dengan waktu operasi selama 4 jam. Jadi pembebanan saat WBP (K_2) sebesar 0,88 masih memenuhi standar SPLN 17: 1979. Namun besarnya beban WBP sebesar 88,03% tidak memenuhi persyaratan yang tersebut dalam SE No. 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset yang menyatakan bahwa besar pembebanan maksimal yang diizinkan pada trafo sebesar 80%.

3.2 Analisa Rugi Tegangan Sebelum Penyisipan Transformator JD267

Untuk menentukan besarnya rugi tegangan maka menggunakan data pengukuran ke-4 karena pada pengukuran tersebut mempunyai rugi tegangan yang tertinggi. Besarnya rugi tegangan dihitung berdasarkan persamaan (2-7) sebagai berikut:

a. Perhitungan persentase rugi tegangan pada fasa R

$$\% \Delta V = \frac{231 - 187}{231} \times 100\% = 19,05\%$$

b. Perhitungan persentase rugi tegangan pada fasa S

$$\% \Delta V = \frac{227 - 188}{227} \times 100\% = 17,08\%$$

c. Perhitungan persentase rugi tegangan pada fasa T

$$\% \Delta V = \frac{240 - 196}{240} \times 100\% = 18,33\%$$

TABEL 3.5 DATA RUGI TEGANGAN WBP JD267 SEBELUM SISIPAN

Nomor Gardu	Waktu	Tegangan Sumber (V)	Fasa	Tegangan Ujung (V)	ΔV (V)	ΔV (%)
JD267	WBP	231	R-N	187	44	19,05
		227	S-N	188	39	17,18
		240	T-N	196	44	18,33
	LWBP	230	R-N	197	33	14,35
		226	S-N	199	27	11,95
		232	T-N	199	33	14,22

Dari data perhitungan di atas maka dapat diketahui bahwa besarnya rugi tegangan saat sebelum penyisipan trafo melampaui SPLN No.72 Tahun 1987 (rugi tegangan hanya diperbolehkan maksimum +5% dan minimum -10%). Hal ini dikarenakan jarak dari transformator JD267 dengan pelanggan terjauh berjarak 850 m sehingga penghantar yang digunakan juga panjang dan akan menimbulkan rugi tegangan yang besar. Untuk memperpendek panjang penghantar tersebut maka perlu dipasang transformator sisipan dengan tujuan untuk mengalihkan beban transformator JD267 ke transformator sisipan dan diharapkan bisa mengurangi rugi tegangan yang terlalu besar.

3.3 Analisa Peramalan Beban Berdasarkan Metode Least Square

Setelah menganalisa kondisi % pembebanan dan % rugi tegangan dari transformator JD267 maka untuk mengatasi kedua permasalahan tersebut diperlukan transformator sisipan. Untuk menentukan besarnya kapasitas transformator sisipan dilakukan maka harus dipertimbangkan seberapa besar persentase pembebanan yang ingin akan dialihkan ke transformator sisipan. Untuk menentukan besarnya kelebihan beban JD267 maka dilaksanakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Kelebihan beban} = \% \text{ beban} - \% \text{ beban Health Index}$$

$$\text{Kelebihan beban} = 88,030\% - 80\%$$

$$\text{Kelebihan beban} = 8,030\%$$

$$\text{Beban} = \frac{\% \text{Kelebihan beban}}{100\%} \times 100 \text{ kVA}$$

$$\text{Beban} = \frac{8,030\%}{100\%} \times 100 \text{ kVA} = 8,03 \text{ kVA}$$

$$= \frac{\text{Beban}}{0,8} \text{ kVA} = \frac{8,03}{0,8} \text{ kVA} = 10,0375 \text{ kVA}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka terdapat dua pilihan untuk kapasitas transformator sisipan, yaitu 20 kVA dan 50 kVA. Untuk melakukan pemilihan kapasitas transformator sisipan dengan tepat, maka diperlukan peramalan pertumbuhan beban.

TABEL 3.6 DATA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR JD267 TAHUN SEBELUMNYA

Tahun	2019	2020	2021
Beban Puncak (kVA)	73,13	82,25	88,03

TABEL 3.7 PENENTUAN PARAMETER METODE LEAST SQUARE

No	Tahun	Beban Puncak (kVA)	X	XY	X ²
1	2019	73,13	-1	-73,13	1
2	2020	82,25	0	0	0
3	2021	88,03	1	83,17	1
n = 3		ΣY = 238,64	0	ΣXY = 10,04	ΣX ² = 2

Tahapan penentuan besarnya prosentase pertumbuhan beban sebagai berikut :

1. Menghitung nilai a dan b dari persamaan 2.6 dan 2.7 sebagai berikut:

$$a = \frac{\Sigma Y}{n} = \frac{238,64}{3} = 79,5467$$

$$b = \frac{\Sigma XY}{\Sigma X^2} = \frac{10,04}{2} = 5,02$$

2. Membuat persamaan *Least Square* pada 2.5 sebagai berikut:

$$Y_n = a + bx = 79,5467 + 5,02x$$

3. Hasil nilai Y_n pada tahun 2021, dengan nilai x=2

$$Y_n = a + bx = 79,5467 + (5,02 \times 2) = 89,59$$

4. Menghitung persentase pertumbuhan beban

$$\% = \frac{\%Beban_{2021} - \%Beban_{2020}}{\%Beban_{2020}} \times 100$$

$$\% = \frac{89,59\% - 88,03\%}{88,03\%} \times 100 = 1,77\%$$

TABEL 3.8 DATA PERBANDINGAN PERHITUNGAN PERKIRAAN BEBAN BERDASARKAN KAPASITAS PENYISIPAN UNTUK TRAFU 20 kVA DAN 50 kVA

Kapasitas Penyisipan (kVA)	X	Tahun	Perkiraan Beban (kVA)	Pertumbuhan Beban (%)	Pembebanan JD267 Sebelum Penyisipan (%)	Pembebanan JD267 Setelah Penyisipan (%)	Pembebanan teralihkan (%)
20 kVA	2	2022	89,59	1,77	90	74,66	14,93
	3	2023	94,6	5,59	95	78,83	15,77
	4	2024	99,62	5,31	100	83,02	16,6
	5	2025	104,64	5,04	105	87,20	17,44
	6	2026	109,66	4,80	110	91,38	18,28
	50 kVA	2	2022	89,59	1,77	90	59,73
3		2023	94,6	5,59	95	63,07	31,53
4		2024	99,62	5,31	100	66,41	33,21
5		2025	104,64	5,04	105	69,76	34,88
6		2026	109,66	4,80	110	73,11	36,55

Dari hasil perhitungan di atas dan tabel 4.8 maka dapat diketahui bahwa transformator sisipan yang paling tepat adalah transformator dengan kapasitas 50 kVA dibandingkan 20 kVA karena mempunyai % pembebanan yang masih dibawah ketentuan (80%) pada tahun 2026.

3.4 Analisa Pembebanan JD267 Setelah Penyisipan

Setelah dilaksanakan proses penyisipan trafo maka dilaksanakan pengukuran tegangan dan arus yang dilaksanakan pada tanggal 20 Juli 2022 antara pukul 11.00-13.00 (LWBP) dan 17.00-20.00 (WBP).

TABEL 3.9 DATA PENGUKURAN TRANSFORMATOR JD267 SETELAH PENYISIPAN

Nomor Gardu		JD267		
Fasa		R-N	S-N	T-N
LWBP	Tegangan Sumber (V)	238,3	231,6	231,4
	Tegangan Ujung (V)	232,6	230,4	220,8
	Arus Induk (A)	40,33	37,6	42,3
WBP	Tegangan Sumber (V)	238,9	228,1	233
	Tegangan Ujung (V)	237	227	231,3
	Arus Induk (A)	92,3	88,3	84

TABEL 3.10 DATA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR JD267 SETELAH PENYISIPAN

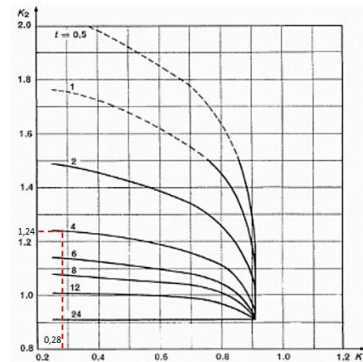
Fasa	WBP			LWBP			
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (VA)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (VA)	
R	238,9	92,3	22050,47	238,3	40,33	9610,64	
S	228,1	88,3	20141,23	231,6	37,6	8708,16	
T	233	84	19572	231,4	42,3	9788,22	
Total			61763,7	Total			28107,02
%Pembebanan			61,76%	%Pembebanan			28,11%

- a. Perhitungan nilai K₁ berdasarkan persamaan (2-2)

$$K_1 = \frac{28107,02 VA}{100000 VA} = 0,28$$

- b. Perhitungan nilai K₂ berdasarkan persamaan (2-3)

$$K_2 = \frac{61763,7VA}{100000 VA} = 0,62$$



GAMBAR 3.2 KURVA PEMBEBANAN MAKSIMUM TRANSFORMATOR JD267 SETELAH PENYISIPAN

Dari data perhitungan di atas didapatkan nilai K₁ = 0,38 dan nilai K₂ sama dengan 0,88. Jika data-data tersebut dimasukkan dalam grafik pembebanan transformator maka didapatkan kurva pembebanan seperti Gambar 3.2. Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa dengan nilai K₁ = 0,28 maka nilai K₂ maksimal yang diizinkan adalah sebesar 1,24 (124% dari daya nominal transformator) dengan waktu operasi selama 4 jam. Jadi dapat disimpulkan bahwa pembebanan saat WBP (K₂) sebesar 0,62 masih memenuhi standar SPLN 17: 1979 yaitu sebesar 1,5.

3.5 Analisa Pembebanan Transformator Sisipan JD451

Pada transformator sisipan JD451 dilaksanakan pengukuran tegangan dan arus dilakukan pada tanggal 20 Juli 2022 antara pukul 11.00-13.00 dan 17.00-20.00.

TABEL 3.11 DATA HASIL PENGUKURAN PADA TRANSFORMATOR SISIPAN JD451

Nomor Gardu		JD451		
Fasa		R-N	S-N	T-N
LWBP	Tegangan Sumber (V)	231,0	233,7	237,9
	Tegangan Ujung (V)	230,5	233,1	237
	Arus Induk (A)	19,3	17,7	11
WBP	Tegangan Sumber (V)	231,3	227	237
	Tegangan Ujung (V)	231	225,7	236
	Arus Induk (A)	41,3	39,3	40

TABEL 3.12 DATA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR SISIPAN JD451

Fasa	WBP			LWBP			
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (VA)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (VA)	
R	231,3	41,3	9552,69	231	19,3	4458,3	
S	227	39,3	8921,1	233,7	17,7	4136,49	
T	237	40	9480	237,9	11	2616,9	
Total			27953,79	Total			11211,69
%Pembebanan			55,91%	%Pembebanan			22,42%

DAN SESUDAH PENYISIPAN

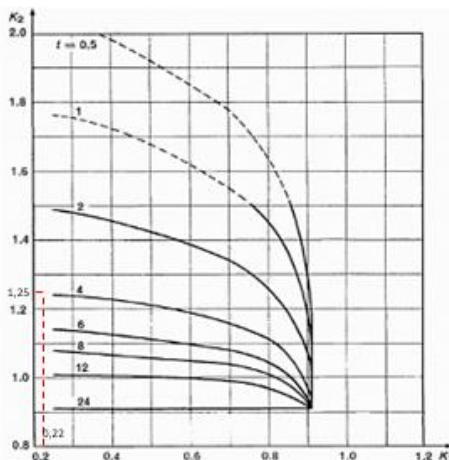
Dari Gambar 2.1 dapat diketahui bahwa adanya penurunan % pembebanan setelah dilaksanakan proses penyisipan pada transformator JD267. Sebelum dilaksanakan penyisipan maka pembebanan pada transformator JD267 saat WBP sebesar 88,03 dan setelah dilaksanakan proses penyisipan maka % pembebanannya menjadi 61,76%. Sedangkan pada transformator JD451 yang merupakan transformator sisip sebesar nilai % pembebanan pada waktu beban puncak sebesar 55,91%. Dari semua data tersebut di atas maka semua nilai yang ada masih di bawah dari standar yang ada (SE No 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset yang menyatakan bahwa besar pembebanan maksimal yang diizinkan pada transformator adalah sebesar 80%).

a. Perhitungan nilai K_1 berdasarkan persamaan (2-2)

$$K_1 = \frac{11211,69}{50000} = 0,22$$

b. Perhitungan nilai K_2 berdasarkan persamaan (2-3)

$$K_2 = \frac{27953,79}{50000} = 0,56$$

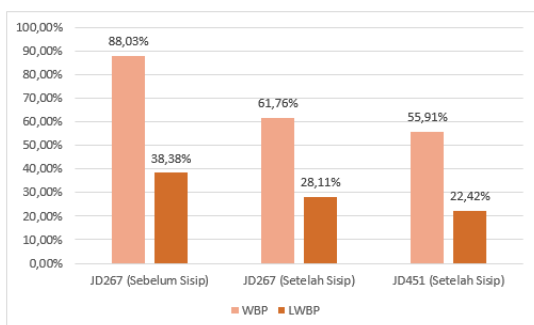


GAMBAR 3.3 KURVA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR JD451 (SPLN 17: 1979)

Dari perhitungan di atas maka dapat diketahui bahwa nilai $K_1 = 0,22$ dan nilai $K_2 = 0,56$. Jika data-data tersebut dimasukkan dalam grafik pembebanan transformator maka dapat diketahui bahwa dengan nilai $K_1 = 0,22$ maka nilai K_2 maksimal yang diizinkan adalah sebesar 1,25 (125% dari daya nominal transformator) dengan waktu operasi selama 4 jam. Jadi pembebanan saat WBP (K_2) sebesar 0,56 masih memenuhi standar SPLN 17: 1979 yaitu sebesar 1,5.

3.6 Analisa Perbandingan dari Pembebanan Saat Sebelum dan Sesudah Penyisipan

Dari analisa di atas maka dapat diperoleh rekapitulasi akhir kondisi pembebanan transformator pada Gambar 4.4 sebagai berikut:



GAMBAR 3.4 GRAFIK PERSENTASE PEMBEBANAN TRANSFORMATOR SEBELUM

3.7 Rugi Tegangan

Analisa perhitungan rugi tegangan menggunakan data pengukuran ke-4 dikarenakan rugi tegangan tertinggi terjadi saat pengukuran ke-4; sebagai berikut:

a. Perhitungan persentase rugi tegangan pada fasa JD267

Fasa R

$$\% \Delta V = \frac{238,3 - 233}{238,3} \times 100\% = 2,39\%$$

Fasa S

$$\% \Delta V = \frac{231,6 - 230}{231,6} \times 100\% = 0,52\%$$

Fasa T

$$\% \Delta V = \frac{231,4 - 221}{231,4} \times 100 = 4,58\%$$

TABEL 3.13 DATA RUGI TEGANGAN PADA TRANSFORMATOR JD267 SETELAH SISIPAN

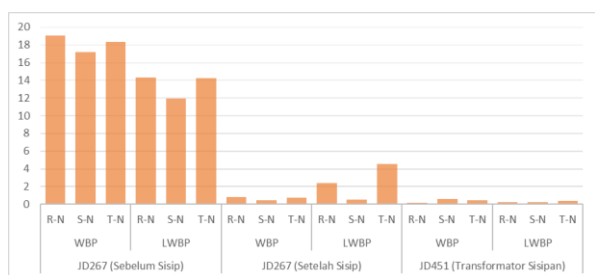
Nomor Gardu	Waktu	Tegangan Sumber (V)	Fasa	Tegangan Ujung (V)	ΔV (V)	$\% \Delta V$
JD267	WBP	238,9	R-N	237,0	1,9	0,80
		228,1	S-N	227,0	1,1	0,48
		233,0	T-N	231,3	1,7	0,73
	LWBP	238,3	R-N	233	5,7	2,39
		231,6	S-N	230	1,2	0,52
		231,4	T-N	221	11	4,58

TABEL 3.14 DATA RUGI TEGANGAN PADA TRANSFORMATOR SISIPAN JD451

Nomor Gardu	Waktu	Tegangan Sumber (V)	Fasa	Tegangan Ujung (V)	ΔV (V)	$\% \Delta V$
JD451	WBP	231,3	R-N	231,0	0,3	0,13
		227,0	S-N	225,7	1,3	0,57
		237,0	T-N	236,0	1,0	0,42
	LWBP	231	R-N	231	0,5	0,22
		233,7	S-N	233	0,6	0,26
		237,9	T-N	237	0,9	0,38

3.8 Perbandingan Rugi Tegangan Sebelum dan Sesudah Penyisipan

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat diketahui perbandingan tegangan ujung dari hasil pengukuran antara transformator distribusi JD267 pada kondisi sebelum dan setelah ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut ini:



GAMBAR 3.5 GRAFIK RUGI TEGANGAN SEBELUM DAN SESUDAH PENYISIPAN

Dari gambar 4.5 dapat diketahui terjadi penurunan rugi tegangan setelah dilaksanakan proses penyisipan transformator. Sebelum penyisipan besarnya persentase rugi tegangan transformator JD267 saat WBP pada fasa R sebesar 19,05%, fasa S sebesar 17,08%, dan fasa T sebesar 18,33% dan melebihi ketentuan dari SPLN 72 tahun 1987 bahwa rugi tegangan yang diperbolehkan +5% dan -10%. Hal yang sama juga terjadi saat LWBP dimana semua rugi tegangan transformator JD267 saat LWBP sebelum penyisipan menunjukkan bahwa rugi tegangan tersebut telah melampaui batas toleransi regulasi tegangan terendah PLN yaitu -10%.

Setelah dilakukannya penyisipan transformator JD451, maka permasalahan rugi tegangan yang besar tersebut dapat diatasi karena semua data rugi tegangan pada transformator JD267 dan JD451 sudah sesuai dengan SPLN 72 tahun 1987 yaitu rugi tegangan yang diperbolehkan sebesar +5% dan -10%.

4. Kesimpulan

1. Dari analisa diketahui bahwa besarnya rugi tegangan transformator JD267 saat WBP dan LWBP sebelum penyisipan tidak sesuai dengan SPLN 72: 1987 yang menyatakan bahwa rugi tegangan yang diperbolehkan +5% dan -10%. Penyebabnya adalah jauhnya jarak antara transformator JD267 dengan pelanggan terjauh yaitu sebesar 850 m sehingga menimbulkan rugi tegangan yang besar. Hal ini digunakan sebagai salah satu dasar pemasangan transformator sisipan.
2. Peramalan pertumbuhan beban bertujuan memperkirakan kapasitas transformator sisipan dengan adanya kenaikan jumlah beban dan konsumen di masa yang akan datang. Dengan adanya tambahan trafo sisip dengan kapasitas 50 kVA maka transformator JD267 akan mengalami pembebanan sebesar 73,11% pada lima tahun ke depan dan masih memenuhi ketentuan PT PLN (Persero), pada Tabel I. SE No 0017.E/DIR/2014.
3. Terjadi penurunan persentase pembebanan setelah dilakukan penyisipan, % pembebanan pada transformator JD267 turun dari 88,03% menjadi 61,76% saat WBP. Sedangkan saat LWBP turun dari 38,38% menjadi sebesar 28,11%. Hal ini dikarenakan adanya pengalihan beban ke transformator JD451.
4. Terjadi penurunan rugi tegangan transformator JD267 saat WBP setelah penyisipan yaitu pada fasa R menjadi sebesar 0,80%, fasa S 0,48 %, dan fasa T sebesar 0,73%. Sedangkan saat LWBP setelah penyisipan pada fasa R menjadi sebesar 2,39%, fasa S 0,52%, dan fasa T 4,58%. Semua harga rugi tegangan sudah sesuai dengan SPLN 72 tahun 1987 bahwa rugi tegangan yang diperbolehkan +5% dan -10%.
5. Prosentase pembebanan dan rugi tegangan transformator sisipan JD451 saat WBP maupun LWBP masih sesuai dengan yang standar yang ada yaitu SPLN 72 tahun 1987 untuk rugi

tegangan yang diperbolehkan dan SE No 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset mengenai besar pembebanan maksimal yang diizinkan pada transformator distribusi.

Daftar Pustaka

- [1] Blume, L. F., & Boyajian, A. (1930). Transformer Connections, Including Auto-Transformer Connections. General electric.
- [2] Edaran Direksi No. 0017.E/DIR/2014. Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset.
- [3] Kadir, A. 2000. Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik. Universitas Indonesia : Jakarta.
- [4] Marsudi, D. 2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Graha Ilmu. Yogyakarta
- [5] Scholand, M., Blackburn, T., Hopkinson, P., & Sampat, M. (2013). SEAD Distribution Transformer Report Part 3: Energy Efficient Class Definitions.
- [6] SPLN 1:1995. Tegangan-Tegangan Standar. PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero).
- [7] SPLN 17:1979. Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [8] Sutjipto, R., Dasa, A., & Duanaputri, R. 2019. Studi Perencanaan Peningkatan Kinerja Transformator Distribusi dengan Relokasi Antara 2 Buah Transformator. Jurnal ELTEK, 17(02). Teknik Elektro. Politeknik Negeri Malang.
- [9] Saiful, S., Nasrun, M., Suryani, S., & Zainuddin, Z. (2023). Analisis Dampak Overload dan Penambahan Trafo Sisipan pada Penyulang Unit Layanan Pelanggan (ULP) Takalar. *Jurnal Impresi Indonesia*, 2(5), 483-497.
- [10] Musthofa, M. (2020). Sistem Monitoring Online Real Time Beban Unbalance dan Overload Trafo Distribusi di PT PLN (Persero). *Energi & Kelistrikan*, 12(2), 156-164.
- [11] Musthofa, M., & Rahman, U. N. (2021). Sistem Monitoring Beban Trafo Distribusi Secara Visual Dan Sms Gateway di PT PLN (Persero). *ENERGI & KELISTRIKAN*, 13(1), 67-74.
- [12] Mukti, H., Farizan, M. H., & Firmansyah, M. R. F. (2022). Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload dan Drop Voltage pada Penyulang Selogabus PT. PLN (Persero) ULP Bojonegoro Kota. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(3), 127-133.
- [13] Yasa, I. W. S. (2023). MENGATASI TRANSFORMATOR OVERLOAD DENGAN METODE UPRATING TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 8(2), 82-91.
- [14] Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo BI 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6. 0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 62-69.
- [15] Seniari, N. M., Fadli, M. N., & Ginarsa, I. M. (2020). Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Pada Saluran Transformator Distribusi Penyulang Pagutan (Studi Kasus: Transformator Distribusi AM097 Di Jalan Banda Seraya, Pagesangan, Kota Mataram). *DIELEKTRIKA*, 7(1), 56-63.