

Evaluasi Uprating Transformator Distribusi 20 KV pada Penyulang Kelinci di PT. PLN (Persero) ULP Rumbai

Usaha Situmeang¹, Aji Pangestu^{1*}, Monice¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

E-mail: ajipangestu3797@gmail.com*

Abstract

The need for electrical energy affects the loading of the transformer which can result in overloading of more than 80%. PLN Standard No. 50 of 1997 states that a transformer is said to be overloaded if the load is more than 80%. This research aims to determine the effect of loading on transformer efficiency and voltage drop on distribution transformers. For loading on transformers before uprating, the results were 92.143%. The voltage drop percentage value obtained for each phase R, S, T is 11.121%, voltage drop percentage on the R phase, 10.973% voltage drop percentage on the S phase, 10.167% voltage drop percentage on the T phase. Uprating was carried out on the transformer to reduce overloading. After the uprating was carried out, the loading results were 55.568 % , which was in accordance with the permitted loading standards. The voltage drop percentage value obtained for each phase R, S, T is 10.973%, voltage drop percentage on the R phase, 10.524 % voltage drop percentage on the S phase, 9.637 % voltage drop percentage on the T phase.

Keywords: Uprating, Overload Transformer

Abstrak

Kebutuhan energi listrik berpengaruh terhadap pembebanan transformator yang dapat mengakibatkan terjadinya pembebanan berlebih (Overload) dari 80 %. Standar PLN No 50 tahun 1997 bahwa transformator dikatakan overload jika pembebanannya lebih dari 80 %. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembebanan terhadap efisiensi transformator dan jatuh tegangan pada transformator distribusi, untuk pembebanan pada transformator sebelum dilakukan uprating didapatkan hasil sebesar 92,143 %. Nilai persentase jatuh tegangan didapatkan pada masing-masing fasa R, S, T sebesar persentase drop tegangan pada fasa R 11,121 %, persentase drop tegangan pada fasa S 10,973%, persentase drop tegangan pada fasa T 10,167 %. Dilakukan uprating pada transformator untuk mengurangi kelebihan beban, setelah dilakukan uprating didapatkan hasil pembebanan sebesar 55,568 % telah sesuai standar pembebanan yang diizinkan. Nilai persentase jatuh tegangan didapatkan pada masing-masing fasa R, S, T sebesar persentase drop tegangan pada fasa R 10,973 %, persentase drop tegangan pada fasa S 10,524 %, persentase drop tegangan pada fasa T 9,637 %.

Kata Kunci: Uprating, Beban Lebih Transformator

1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya teknologi maka kebutuhan terhadap energi listrik akan semakin banyak diperlukan dalam kebutuhan sehari-hari baik dalam rumah tangga, industri dll. Semakin bertambahnya kebutuhan energi listrik maka banyak permasalahan yang terjadi salah satu masalah yang terjadi yaitu terhadap pembebanan. Jika pembebanan yang diberikan terhadap suatu transformator melebihi kapasitasnya atau dapat dikatakan transformator mengalami beban berlebih.

Untuk mengatasi permasalahan terhadap overload tersebut adalah dengan cara meng-uprating transformator. Maka dari itu penelitian ini membahas tentang sebelum dan sesudah dilakukannya uprating transformator. dalam ruang lingkup kerjanya, PT PLN (Persero) Distribusi beberapa penyulang Transformator dikatakan overload jika kapasitas pembebanannya lebih dari 80% [1]. Apabila hal ini terjadi

dalam waktu yang lama, isolasi pada transformator mengalami kerusakan karena panas yang berlebihan yang berujung pada rusaknya transformator. Terdapat dua metode alternatif untuk mengatasi permasalahan transformator overload, yaitu dengan metode pemasangan transformator sisipan dan uprating transformator distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Rumbai, yaitu Trafo Distribusi Penyulang Kelinci.

Penyulang Kelinci memiliki beban sebesar 92,143 % dimana beban terbesar adalah perumahan yang sedang berkembang. Beban listrik pada perumahan dilayani oleh gardu distribusi berkapasitas 100 kVA. Pembebanan suatu transformator maksimal 80% dari kapasitas (rating), maka transformator pada Gardu Distribusi dalam kondisi Overload.

2. Metodologi

2.1 Pembebanan Transformator

Menurut PT. PLN tahun 1997 yang tertuang dalam SPLN No. 50, transformator distribusi diusahakan tidak dibebani lebih dari 80 % atau dibawah 40%. Jika melebihi atau kurang dari nilai tersebut transformator bisa dikatakan overload atau underload. Diusahakan agar transformator tidak dibebani keluar dari range tersebut. Perhitungan kVA beban dan persentase beban transformator adalah sebagai berikut [2].

$$I_{Rata-rata} = (I_r + I_s + I_t)/3 \tag{1}$$

Perhitungan arus beban penuh

$$I_{FL} = \frac{\text{Kapasitas transformator}}{V\sqrt{3}} \tag{2}$$

$$\% \text{ beban Transformator} = \frac{kVA \text{ Beban}}{kVA \text{ Trafo}} \times 100 \% \tag{3}$$

2.2 Uprating Transformator

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 [3].

Tabel 1.

Perbandingan Uprating dan penyisipan transformator	
Uprating transformator	Trasformator sisipan
Kelebihan	Kelebihan
a. Peningkatan	a. Pengurangan jatuh tegangan
b. Efisiensi	b. Pengurangan beban
c. Pengurangan biaya	
Kekurangan	Kekurangan
a. Batasan kapasitas	a. Biaya
b. Resiko kerusakan	b. Lahan

2.3 Overload Transformator

PT. PLN menyatakan bahwa transformator distribusi tidak boleh terbebani lebih dari 80% atau dibawah 40%. Transformator dikatakan mengalami *overload* atau *underload* apabila terbebani melebihi atau kurang dari range tersebut. Transformtor yang mengalami overload harus ditangani dengan melakukan mutasi transformator, penyisipan transformator atau pergantian transformator.

Overload yang terjadi dapat mengakibatkan transformator berubah menjadi panas hingga kawat tidak mampu bekerja secara maksimal dalam menahan beban. Hal ini dapat berakibat naiknya suhu lilitan pada transformator dan menyebabkan kerusakan transformator, material dan isolasi. Kerusakan lain yang disebabkan oleh adanya *overload* tersebut berpengaruh pada *drop* tegangan pada ujung jaringan, kualitas daya transformator dan menyusutnya umur pada transformator [4].

2.4 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu peralatan. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besar jatuh tegangan dapat

dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. PT. PLN (Persero) mengatur standar jatuh tegangan yang diperbolehkan dalam SPLN No 72 Tahun 1987 yaitu kurang 5% dan lebih 10% pada jaringan tegangan rendah (JTR) sedangkan pada jaringan tegangan menengah (JTM) adalah kurang 5% dan lebih 5% [5].

Perhitungan jatuh tegangan

$$\Delta V = I \times Z \tag{4}$$

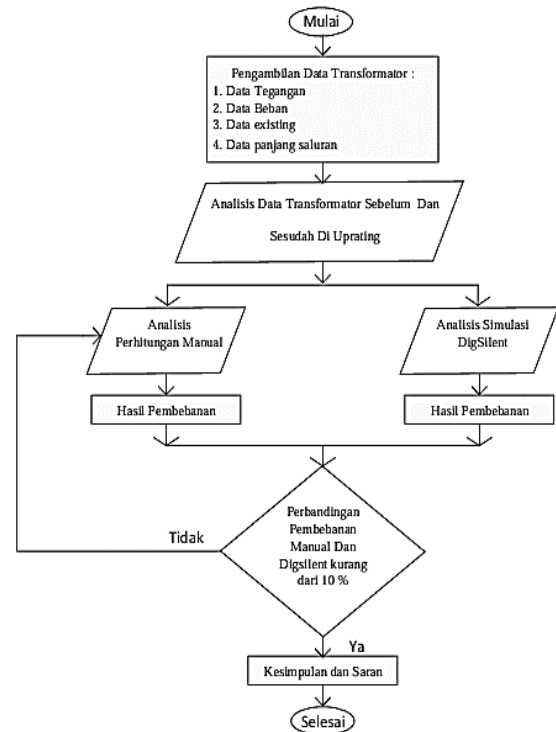
Untuk mengetahui *drop* tegangan pada setiap phasa sisi sekunder di kurangi *drop* tegangan

$$V_r = V_s - \Delta V \tag{5}$$

Presentase jatuh tegangan juga dapat di hitung dengan persamaan

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \tag{6}$$

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kuantitatif. Teknik ini digunakan untuk menganalisis data yang telah terkumpul tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Supaya tujuan penelitian dapat tercapai sesuai dengan yang diharapkan, diperlukan perencanaan prosedur penelitian terlebih dahulu. Flowchart prosedur penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada PT. PLN (Persero) ULP Rumbai terdapat satu penyulang yang akan di lakukan penelitian yakni penyulang kelinci, penyulang Kelinci tersebut di suplai melalui New Gardu Induk Garuda Sakti. Transformator distribusi yang digunakan pada ULP Rumbai Di Peyulang Kelinci ini mempunyai kapasitas Transformator 100 kVA hingga 200 kVA untuk di

distribusi ke penyulang Kelinci. Dengan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2.
Klasifikasi Kabel penghantar

Sebelum di <i>uprating</i>			Setelah di <i>uprating</i>		
Jenis	Luas Penampang	Panjang Saluran	Jenis	Luas Penampang	Panjang Saluran
NFA2 X	70 mm ²	850 m	NFA2 X	70 mm ²	850 m
R			jX		
0,2658			0,1243		

Tabel 3.

Data Pengukuran Beban Transformator Sebelum di *uprating* RB 188

Data Transformator		Hasil Pengukuran Arus (Ampere)		
Kapasitas (kVA)	Primer/ Sekunder	R	S	T
100 kVA	20 kV / 400 V	138 A	135 A	126 A

Tabel 4.

Data Pengukuran Tegangan Transformator sebelum di *uprating* RB 188

Tegangan 3 fasa			Tegangan 1 fasa		
R-S	S-T	R-T	R-N	S-N	T-N
375 V	374 V	378 V	223 V	221V	226 V

Tabel 5.

Data Pengukuran Beban Transformator Sesudah di *uprating* RB 188

DATA TRANSFORMATOR		Hasil Pengukuran Arus (Ampere)		
Kapasitas (kVA)	Primer/ Sekunder	R	S	T
160 kVA	20 kV / 400 V	135 A	130 A	120 A

Tabel 6.

Data Pengukuran Tegangan Transformator Sesudah di *uprating* RB 188

Tegangan 3 fasa			Tegangan 1 fasa		
R-S	S-T	R-T	R-N	S-N	T-N
386 V	388 V	390 V	231 V	230V	226 V

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Pembebanan Transformator Sebelum Di *Uprating*

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 3 didapat hasil pembebanan dengan menggunakan persamaan (1).

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{138 + 135 + 126}{3} = \frac{399}{3} = 133 \text{ Amp}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) menggunakan persamaan (2).

$$I_{FL} = \frac{\text{kapasitas transformator}}{V \sqrt{3}} = \frac{100.000 \text{ VA}}{400 \sqrt{3}}$$

$$= 144,337 \text{ Amp}$$

Kemudian di masukan kedua nilai perhitungan $I_{rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya, sehingga dapat di ketahui persentase beban transformator tersebut pada Persamaan (3).

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{kVA \text{ Beban}}{kVA \text{ Transformator}} \times 100\% = \frac{133}{144,337} \times 100\% = 92,145 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada transformator dan hasilnya menunjukan bahwa transformator mengalami *overload* karena total persentase pembebanan transformator yakni 92,145 % sebuah transformator di katakan *overload* apabila melebihi pembebanan 80 % dari kapasitasnya.

Berdasarkan hasil penelitian maka *drop* tegangan antar fasa sebelum di *uprating* dapat dihitung dengan menggunakan data pada Tabel 3 dan Tabel 2 menggunakan Persamaan (4).

$$\Delta V = I_R \times Z = 138 \times (0,2658 + j0,1243) = 138 \angle 0^\circ \times 0,293 \angle 25,062^\circ = 40,434 \angle 25,062^\circ = 40,434 \text{ Volt}$$

Untuk menghitung *drop* tegangan pada setiap fasa maka menggunakan persamaan (5).

Drop tegangan pada fasa R, sisi sekunder di kurangi *drop* tegangan nilai pendekatan.

$$V_r = v_s - \Delta V = 400 - 40,434 = 359,566 \text{ Volt}$$

$$\Delta V = I_S \times Z = 135 \times (0,2658 + j0,1243) = 135 \angle 0^\circ \times 0,293 \angle 25,062^\circ = 39,555 \angle 25,062^\circ = 39,555 \text{ Volt}$$

Drop tegangan pada fasa S, sisi sekunder di kurangi *drop* tegangan nilai pendekatan (5).

$$V_r = v_s - \Delta V = 400 - 39,555 = 360,445 \text{ Volt}$$

$$\Delta V = I_T \times Z = 126 \times (0,2658 + j0,1243) = 126 \angle 0^\circ \times 0,293 \angle 25,062^\circ = 36,918 \angle 25,062^\circ = 36,918 \text{ Volt}$$

Drop tegangan pada fasa T, sisi sekunder di kurangi *drop* tegangan nilai pendekatan (5).

$$V_r = v_s - \Delta V = 400 - 36,918 = 363,082 \text{ Volt}$$

Perhitungan presentase *Drop* tegangan sebelum di *uprating* dapat dihitung dengan tegangan pada pangkal penerima dan ujung penerima tenaga listrik tegangan jatuh relative dengan V_r , menggunakan persamaan (6) Perhitungan presentase *drop* tegangan pada fasa R dengan nilai $V_s = 400$ Volt dan nilai $V_r = 359,566$ Volt

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{400 - 359,966}{359,966} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = 11,245 \%$$

Perhitungan presentase *drop* tegangan pada fasa R dengan nilai $V_s = 400$ Volt dan nilai $V_r = 360,445$ Volt

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{400 - 360,445}{360,445} \times 100\%$$

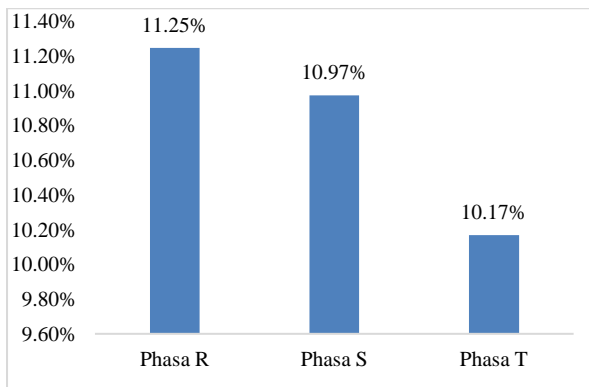
$$\% \Delta V = 10,973 \%$$

Perhitungan presentase *drop* tegangan pada fasa R dengan nilai $V_s = 400$ Volt dan nilai $V_r = 363,082$ Volt

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{400 - 363,082}{363,082} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = 10,167 \%$$



Gambar 2. Persentase *Drop* Tegangan Sebelum Di *Uprating*

Pada Gambar 2 Dari hasil perhitungan maka di dapat *drop* tegangan transformator sebelum di *uprating* pada tegangan tiga fasa yang diantaranya:

- Pada fasa R di dapatkan tegangan sebesar 359,966 Volt dan persentase tegangan sebesar 11,121 %
- Pada fasa S di dapatkan tegangan sebesar 360,445 Volt dan persentase tegangan sebesar 10,973 %
- Pada fasa T di dapatkan tegangan sebesar 363,082 Volt dan persentase tegangan sebesar 10,167 %

3.2 Perhitungan Pembebanan Transformator Sesudah Dilakukan Uprating

Berdasarkan hasil penelitian pada tabel 5 didapat hasil pembebanan dengan menggunakan persamaan (1)

$$\begin{aligned} I_{rata-rata} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{135 + 130 + 120}{3} \\ &= \frac{385}{3} \\ &= 128,333 \text{ Amp} \end{aligned}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) menggunakan persamaan (2).

$$\begin{aligned} I_{FL} &= \frac{\text{kapasitas transformator}}{V \sqrt{3}} \\ &= \frac{160.000 \text{ VA}}{400 \sqrt{3}} \\ &= 230,94 \text{ Amp} \end{aligned}$$

Kemudian di masukan kedua nilai perhitungan $I_{Rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya, sehingga dapat di ketahui persentase beban transformator tersebut pada Persamaan (3).

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan} &= \frac{\text{kVA Beban}}{\text{kVA Transformator}} \times 100\% \\ &= \frac{128,333}{230,94} \times 100\% \\ &= 55,568 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil penelitian maka *drop* tegangan antar fasa sesudah di *uprating* dapat dihitung dengan menggunakan data pada Tabel 5 dan Tabel 2 menggunakan Persamaan (4).

$$\begin{aligned} \Delta V &= I_R \times Z \\ &= 135 \times (0,2658 + j0,1243) \\ &= 135 \angle 0^\circ \times 0,293 \angle 25,062^\circ \\ &= 39,555 \angle 25,062^\circ \\ &= 39,555 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Untuk menghitung *drop* tegangan pada setiap fasa maka menggunakan persamaan (5).

Drop tegangan pada fasa R, sisi sekunder di kurangi *drop* tegangan nilai pendekatan (5).

$$\begin{aligned} V_r &= V_s - \Delta V \\ &= 400 - 39,555 \\ &= 360,445 \text{ Volt} \\ \Delta V &= I_S \times Z \\ &= 130 \times (0,2658 + j0,1243) \\ &= 130 \angle 25^\circ \times 0,293 \angle 25,062^\circ \\ &= 38,09 \angle 25,062^\circ \\ &= 38,09 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Drop tegangan pada fasa S, sisi sekunder di kurangi *drop* tegangan nilai pendekatan (5).

$$\begin{aligned} V_r &= V_s - \Delta V \\ &= 400 - 38,09 \\ &= 361,91 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= I_T \times Z \\ &= 120 \times (0,2658 + j0,1243) \\ &= 120 \angle 0^\circ \times 0,293 \angle 25,062^\circ \end{aligned}$$

$$= 35,16 \angle 25,062^\circ$$

$$= 35,16 \text{ Volt}$$

Drop tegangan pada fasa T, sisi sekunder di kurangi drop tegangan nilai pendekatan (5).

$$V_r = V_s - \Delta V$$

$$= 400 - 35,16$$

$$= 364,84 \text{ Volt}$$

Perhitungan presentase drop tegangan sesudah di *uprating* dapat dihitung dengan tegangan pada pangkal penerima dan ujung penerima tenaga listrik tegangan jatuh relative dengan V_r , menggunakan persamaan (6) Perhitungan presentase drop tegangan pada fasa R dengan nilai $V_s = 400$ Volt dan nilai $V_r = 360,445$ Volt

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{400 - 360,445}{360,445} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = 10,973 \%$$

Perhitungan presentase drop tegangan pada fasa R dengan nilai $V_s = 400$ Volt dan nilai $V_r = 361,91$ Volt

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{400 - 361,91}{361,91} \times 100\%$$

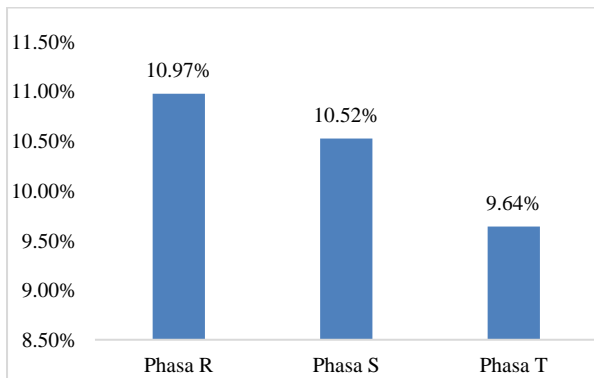
$$\% \Delta V = 10,524 \%$$

Perhitungan presentase drop tegangan pada fasa R dengan nilai $V_s = 400$ Volt dan nilai $V_r = 364,84$ Volt

$$\% \Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{400 - 364,84}{364,84} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = 9,637 \%$$



Gambar 3. Persentase Drop Tegangan Sesudah Di *Uprating*

Pada Gambar 3 Dari hasil perhitungan maka di dapat drop tegangan transformator sebelum di *uprating* pada tegangan tiga fasa yang diantaranya:

- a. Pada fasa R di dapatkan tegangan sebesar 360,445 Volt dan persentase tegangan sebesar 10,973 %

- b. Pada fasa S di dapatkan tegangan sebesar 361,91 Volt dan persentase tegangan sebesar 10,524 %
- c. Pada fasa T di dapatkan tegangan sebesar 364,84 Volt dan persentase tegangan sebesar 9,637 %

Tabel 7.
Perbandingan Pembebanan Pada Transformator Sebelum dan Sesudah Di *Uprating*

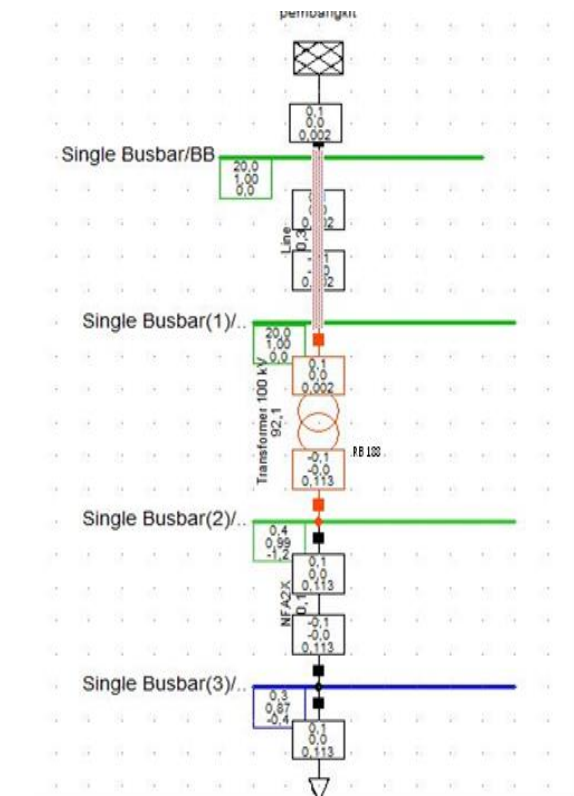
Transformator Sebelum Di <i>Uprating</i> (100 kVA)	Transformator Sesudah Di <i>Uprating</i> (160 kVA)
92,143 %	55,568 %

Tabel 8.
Perbandingan Drop Tegangan Pada Transformator Sebelum dan Sesudah Di *Uprating* Sebelum Di *Uprating*

R	S	T
40,434 V	39,555 V	36,918 V
Sesudah Di <i>Uprating</i>		
R	S	T
39,555 V	38,09 V	35,16 V

3.3 Hasil Simulasi *Digsilent Power Factory 15.1.7* Sebelum Di *Uprating*

Berikut ini adalah hasil simulasi *Digsilent* dari rangkaian *single line* sistem kelistrikan di Penyulang Kelinci pada transformator RB 188 sebelum di *Uprating* seperti pada Gambar 4.



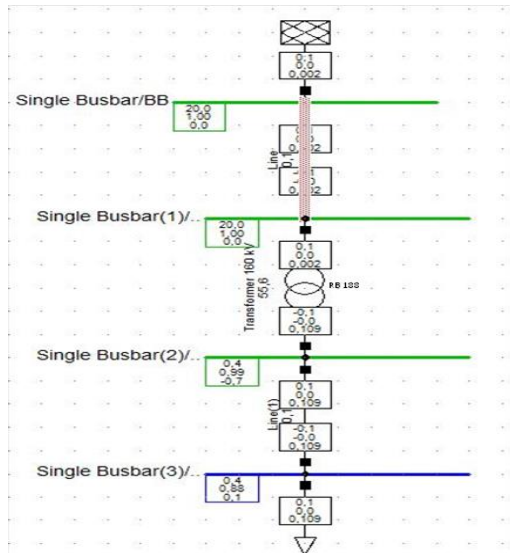
Gambar 4. Hasil Simulasi *Digsilent Power Factory 15.1.7* Sebelum Di *Uprating*

Dari Gambar 4 didapatkan bahwa besarnya pembebanan sebelum dilakukannya *uprating* pada

transformator RB 188 menggunakan aplikasi *digilent* sebesar 92,1 %.

3.4 Hasil Simulasi *Digsilent Power Factory 15.1.7* Sesudah Di *Uprating*

Berikut ini adalah hasil simulasi *Digsilent* dari rangkaian *single line* sistem kelistrikan di Penyulang Kelinci pada transformator RB 188 sesudah di *Uprating* seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Simulasi *Digsilent Power Factory 15.1.7* Sesudah Di *Uprating*

Dari Gambar 5 didapatkan bahwa besarnya pembebanan sesudah dilakukannya *uprating* pada transformator RB 188 menggunakan aplikasi *digilent* sebesar 55,6 %.

Tabel 9.

Perbandingan hasil perhitungan dan simulasi pembebanan transformator menggunakan *Digsilent*

Kapasitas Transformator	Hasil perhitungan	Hasil simulasi
Transformator 100 kVA (sebelum di <i>uprating</i>)	92,143 %	92,1 %
Transformator 160 kVA (sesudah di <i>uprating</i>)	55,568 %	55,6 %

Dari Tabel 9 untuk kapasitas transformator 100 kVA (sebelum *uprating*) didapatkan hasil perhitungan

manual sebesar 92,143 % dan hasil simulasi didapatkan sebesar 92,1 %. Dan untuk transformator 160 kVA (sesudah *uprating*) didapatkan hasil pembebanan manual sebesar 55,568 % dan untuk hasil simulasi didapatkan hasil 55,6 %.

4. Simpulan

1. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai persentase pembebanan transformator distribusi sebelum diuprating yaitu 92,143 % dan setelah di lakukan uprating pada transformator ditribusi didapatkan persentase pembebanan sebesar 55,568 %.
2. Pada saat terjadi drop tegangan pada transformator RB 188 didapatkan tegangan pada setiap fase yaitu tegangan pada fase R = 40,434 Volt, tegangan pada fase S= 39,955 Volt, tegangan pada fase T= 36,918 Volt, dan setelah di lakukan penambahan kapasitas transformator di RB 188 didapatkan tegangan pada masing-masing fase menjadi tegangan pada fase R = 39,555 Volt, tegangan pada fase S = 38,09 Volt, tegangan pada fase T = 35,16 Volt.

Daftar Pustaka

- [1] SPLN No. 50. (1997). Spesifikasi Transformator Distribusi. P.T Perusahaan Listrik Negara.
- [2] Soebagio. (2012). Transformator. ITS Press. Surabaya
- [3] Yasa, I. W. S., Pacane, I. W. D., & Suriana, I. W. (2023). Mengatasi Overload Pada Transformator Gardu Distribusi Dengan Metode Uprating. *Kajian Teknik Elektro*, 8(2), 82–91.
- [4] Samsurizal, & Hadinoto, B. (2020). Studi Analisis Dampak Overload Transformator Terhadap Kualitas Daya Di PT. PLN(Persero) Up3 Pondok Gede. *Kilat*, 9(1), 136–142. <https://doi.org/10.33322/kilat.v9i1.784>
- [5] Muchtar, H., & Sopian, Y. (2017). Studi Verifikasi Sistem Ketidakseimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Alat Phb – Sr (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) Di Wilayah Pln Area Cempaka Putih. *Elektum*, 14(1). <https://doi.org/10.24853/elektum.14.1.1-8>