

ANALISIS PENAMBAHAN TRAF0 SISIP PADA JARINGAN 20 KV DALAM MENINGKATKAN MUTU TEGANGAN

ANALYSIS OF ADDITIONING INSERT TRANSFORMERS IN 20 KV NETWORKS IN IMPROVING VOLTAGE QUALITY

Eka Rahma Daniati¹, Zuraidah Tharo², Siti Anisah³

^{1,2,3} Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi

Email: ekarahmadaniati@gmail.com,

zuraidahtharo@dosen.pancabudi.ac.id, sitianisah@dosen.pancabudi.ac.id

ABSTRACT

Drop Voltage is one of the problems in electricity distribution which often occurs due to the length of the conductor in low voltage distribution lines. If the drop voltage exceeds standard limits, it can cause harm to both the public and PLN itself. For this reason, this research aims to provide a solution to the voltage drop that occurs in the 20 KV distribution network by adding an insert transformer. Insert transformers are devices used in electrical networks to increase capacity or overcome excessive loading that occurs on the main transformer. Based on the results of the measurements that have been carried out, it is found that the low voltage value in the Nangka Hamlet area is 170 Volts from a single phase source voltage to neutral (226 V) and occurs at peak load times or in other words a voltage drop occurs. According to SPLN 1:1995, the service line (SP) voltage tolerance is +5% of the standard low voltage voltage at the base side and -10% at the end side. With the above conditions, it is necessary to make improvements, namely the construction of an insert transformer in the area. With direct measurements, a voltage drop occurs at the end of the distribution system network, namely 295.2V or a drop voltage of 32.8%. After adding an insert transformer and uprating the 3x70mm² + 1x50mm² HUTR TIC with a length of 788m with a capacity of 160 kVA to have a good impact on the quality of the electrical energy distribution voltage. The percentage of end drop voltage is 3.3%.

Keywords : *Transformer, Insert, Drop_Voltage*

ABSTRAK

Drop Voltage/Jatuh tegangan merupakan salah satu permasalahan dalam sistem distribusi tenaga listrik yang sering terjadi akibat panjang penghantar pada saluran distribusi tegangan. Apabila jatuh tegangan melebihi batas standar maka dapat merugikan masyarakat maupun PLN. Untuk itu penelitian ini bertujuan memberikan solusi untuk menurunkan tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi 20 KV dengan menambahkan trafo insertion/sisip. Trafo plug-in merupakan perangkat yang digunakan pada jaringan listrik untuk meningkatkan kapasitas atau mengatasi beban berlebih yang terjadi pada trafo utama. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, ternyata nilai tegangan rendah di wilayah Desa Nangka adalah 170 Volt dari sumber tegangan satu fasa ke netral (226 V) dan terjadi pada jam beban puncak atau pada periode tegangan rendah lainnya, terjadi penurunan tegangan. Menurut SPLN 1:1995, toleransi tegangan saluran pelayanan (SP) adalah +5% dari tegangan standar tegangan rendah pada sisi dasar dan -10% pada sisi ujung. Dengan kondisi di atas maka diperlukan perbaikan antara lain dengan pembangunan trafo sisipan di kawasan tersebut. Pada pengukuran langsung, penurunan tegangan terjadi pada ujung jaringan distribusi, yaitu penurunan tegangan 295,2V atau 32,8%. Setelah dilakukan penambahan trafo insertion dan penambahan kaliber HUTR TIC 3x70mm² + 1x50mm² dengan panjang 788m dan kapasitas 160 kVA berdampak baik terhadap kualitas tegangan distribusi tenaga listrik. Tingkat penurunan tekanan akhir adalah 3,3%.

Kata Kunci : Transformator, Sisip, Drop_Voltage

Pendahuluan

Keandalan Sistem Tenaga Listrik merupakan kemampuan dari suatu sistem untuk melakukan pekerjaan berdasarkan fungsinya selama kurun waktu tertentu.(Harahap et al., 2022) Kebutuhan energi listrik menjadi salah satu kebutuhan yang sangat penting

untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di seluruh penjuru dunia baik kebutuhan rumah tangga, kebutuhan industri, maupun kebutuhan lainnya.(Imran, 2019) Penyaluran energi listrik harus disalurkan dengan baik sampai ke masyarakat tanpa mengalami drop tegangan, konsumen mengharapkan sistem pelayanan tenaga listrik yang

kontiniu dan dengan mutu yang baik. Salah satu persyaratan keandalan sistem penyaluran tenaga listrik adalah kualitas tegangan yang baik dan stabil. (Hontong et al., 2015) Gardu distribusi merupakan sarana penyaluran tenaga listrik dari PLN ke Pelanggan. Dengan tegangan primer 20 KV lalu diubah oleh trafo menjadi tegangan sekunder 400 V (antar phase) atau 231 V (phase to netral). (Tharo et al., 2018) Drop tegangan merupakan selisih tegangan pada sisi kirim dengan tegangan pada sisi terima. Menurut SPLN 1:1995, toleransi tegangan Saluran Pelayanan (SP) adalah +5% dari tegangan standar tegangan rendah pada sisi pangkal dan -10% pada sisi ujung. (PT. Perusahaan Listrik Negara & (Persero), 1995) Pada kenyataannya permasalahan drop tegangan sering terjadi seperti kasus pada Trafo PR 072 di Wilayah kerja PT. PLN (Persero) UP3 Lubuk Pakam ULP Perbaungan. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh nilai tegangan rendah di daerah Dusun Nangka yaitu 170 Volt terhadap tegangan sumber satu fasa ke netral (226 V) dan terjadi di saat beban puncak, sehingga pada saat itu, konsumen tidak dapat menyalakan alat elektronik seperti pompa air, kulkas, AC dan lainnya. Untuk itu solusi yang diberikan dengan membangun transformator sisip (trafo sisip) pada wilayah kerja tersebut.

Transformator sisip, juga dikenal sebagai transformator tambahan atau transformator penambah, merupakan perangkat yang digunakan dalam jaringan listrik untuk meningkatkan kapasitas atau mengatasi pembebanan berlebih yang terjadi pada transformator utama. (Seniari et al., 2020) Trafo sisip dipasang dihubungkan ke sistem distribusi untuk membagi beban listrik menjadi dua bagian dari trafo utama, dengan memperhatikan tegangan pada titik awal dan titik akhir jaringan. Fungsi utama dari trafo sisip adalah untuk memperluas kapasitas jaringan listrik dengan menambahkan daya yang tersedia. Ketika beban listrik melebihi kapasitas yang dapat ditangani

oleh trafo utama, trafo sisip diaktifkan untuk membantu mendistribusikan beban secara merata antara trafo utama dan trafo sisip. (Ardhianto et al., 2020)

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen, jadi fungsi sistem distribusi tenaga listrik adalah:

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan (konsumen). (Suhadi, 2008)

Sistem distribusi melibatkan penggunaan Pemutus Tenaga (PMT) di Gardu Induk dan Alat Pengukur dan Pembatas (APP) di beban (konsumen). Fungsinya adalah menyampaikan dan membagikan energi listrik dari gardu induk ke pusat beban, baik secara langsung maupun melalui gardu distribusi. (Suhadi, 2008) Sedangkan transformator adalah sebuah perangkat listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, atau sebaliknya, dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik tanpa mengubah frekuensi. (Arismunandar, 2004)

Gardu distribusi merupakan bangunan peralatan listrik yang terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk mensuply kebutuhan energi listrik bagi konsumen Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Peralatan ini harus berkontribusi untuk mencapai distribusi energi listrik yang baik, memastikan layanan yang berkesinambungan dan berkualitas tinggi serta menjamin keselamatan manusia. (Zuhail, 1995) Fungsi gardu distribusi adalah sebagai berikut:

1. Mendistribusikan energi listrik tegangan menengah ke pelanggan tegangan rendah.
2. Menurunkan tegangan menengah ke tegangan rendah kemudian didistribusikan pada pelanggan tegangan rendah.

3. Mendistribusikan energi listrik tegangan menengah ke gardu distribusi yang lain juga ke gardu hubung. (Arismunandar, 2004)

Gardu sisipan merupakan gardu tambahan yang dipasang oleh PLN untuk menanggulangi berbagai kerugian yang ditimbulkan oleh transformator pada gardu sebelumnya. (Seniari et al., 2020) Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan PT PLN (Persero) untuk melakukan penambahan trafo atau penyisipan gardu induk adalah:

1. Trafo sebelumnya sudah kelebihan beban terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum (80% dari kapasitas) yang mampu ditopang trafo, dimana arus beban melebihi arus beban penuh trafo. Tunjukkan bahwa persentase beban transformator harus berada dalam 80% dari kapasitas pengenal transformator untuk mencapai efisiensi maksimum. Kelebihan beban akan menyebabkan trafo menjadi panas, penghantar tidak mampu lagi memikul beban sehingga menimbulkan panas sehingga meningkatkan suhu kumparan. Peningkatan ini merusak isolasi belitan pada belitan trafo.
2. Besarnya jatuh/rugi-rugi tegangan pada JTR. Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan pada ujung pemancar dengan tegangan pada ujung penerima energi listrik. (Ulp et al., 2023)

Penyebab timbulnya jatuh tegangan adalah:

1. Arus (ampere)
2. Resistansi saluran (ohm/km)
3. Panjang saluran (km) (Anisah, 2018)

Di sini yang dimaksud dengan jatuh tegangan adalah jatuh tegangan pada ujung jaringan tegangan rendah (JTR), khususnya jatuh tegangan pada saluran JTR yang menyebabkan jatuh tegangan pada ujung saluran konsumen. (Anisah, 2018). (Sesuai SPLN No. 72 Tahun 1987) tentang pengaturan tegangan dan jatuh tegangan, jatuh tegangan yang diijinkan pada transformator distribusi dapat mencapai 3% dari tegangan operasi. Penurunan tegangan pada STR diperbolehkan sampai 4% dari tegangan operasi. dan penurunan tegangan pada SR dapat mencapai 1% dari tegangan

pengenal (PT. PLN (Persero), 1987)

Menurut Arismunandar. A, DR, M.A.Sc, Kuwahara. S, DR, 1993 Untuk menghitung jatuh tegangan, harus diperhitungkan reaktansi serta faktor daya yang tidak sama dengan 1, maka cara perhitungannya akan dijelaskan di bawah ini. Untuk menyederhanakan perhitungan, asumsikan bahwa beban tersebut adalah beban fasa tiga seimbang dengan faktor daya ($\cos \phi$) adalah 0,6 s/d 0,85. Tegangan penerima dapat dihitung berdasarkan pendekatan relasional berikut:

$$(V_r) = (\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos \phi) : A \dots (1)$$

Dimana:

I = Arus pada beban (Ampere)

ρ = Tahanan jenis kawat (Ohm/m)

A = Luas Penampang Penghantar (m)

ϕ = Faktor Daya

L = Panjang Saluran (m). (Arismunandar, 2004)

Drop tegangan/jatuh tegangan (ΔV) adalah perbedaan tegangan sisi pengirim (V_s) dengan tegangan sisi penerima (V_r), maka besar drop tegangan dapat didefinisikan sebagai:

$$\Delta V = (V_s) - (V_r) \dots \dots \dots (2)$$

(Kushadiyono.MT ,Drs, 2003).

Resistansi pada penghantar menyebabkan tegangan yang sampai ke konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan yang dikirim (V_s), sehingga jatuh tegangan (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending end) dan tegangan pada ujung penerimaan (receiving end). Drop Tegangan Relatif dinamakan regulasi tegangan VR (Voltage Regulation) diberikan dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

V_s = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan (Ulp et al., 2023)

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk memindahkan daya atau energi listrik dari suatu bagian ke rangkaian lain secara induksi dengan tegangan dan arus yang berubah-ubah serta frekuensi yang tetap (melalui kopleng magnet dan prinsip elektromagnetik). (Arismunandar, 2004) Dalam bidang energi listrik, trafo diklasifikasikan menurut strukturnya yang terdiri dari dua kumparan,

primer dan sekunder. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC maka akan timbul arus bolak-balik pada kumparan primer, kemudian fluks magnet ini akan mengalir ke inti trafo, selanjutnya fluks magnet ini akan mempengaruhi kumparan hilir yang muncul pada sisi sekunder, sehingga timbul tegangan pada sisi sekunder. (Zuhal, 1995)

Beban adalah rangkaian penggunaan akhir jaringan listrik, yaitu tempat terjadinya aliran energi dari energi listrik ke energi lain, seperti cahaya, panas, gerak, magnet, dan lain-lain. (Abendanon Siagian et al., 2023)

Beban adalah rangkaian penggunaan akhir jaringan listrik, yang harus disuplai oleh sumber energi listrik untuk diubah menjadi bentuk energi lain. Oleh karena itu, penyaluran tenaga listrik secara kontinyu ke beban harus terjamin untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Untuk mencapai keadaan andal tersebut, sistem catu daya harus mampu mengatasi segala gangguan yang terjadi tanpa menyebabkan hilangnya daya pada beban. (Notatema Waruwu & Zuraidah Tharo, 2023)

Upaya dilakukan untuk memastikan bahwa trafo distribusi tidak memikul beban lebih dari 80% atau kurang dari 40%. Jika nilai ini terlampaui atau di bawah, trafo mungkin kelebihan beban. Upaya dilakukan untuk memastikan bahwa beban transformator berada dalam kisaran ini. (PT. PLN (Persero), 1987) Apabila beban trafo terlalu besar maka trafo diganti atau trafo dipasang/sisip atau trafo diputus. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan kapasitas trafo distribusi:

$$kVA = (I_R \times V_{R-N}) + (I_S \times V_{S-N}) + (I_T \times V_{T-N}) \dots\dots\dots(4)$$

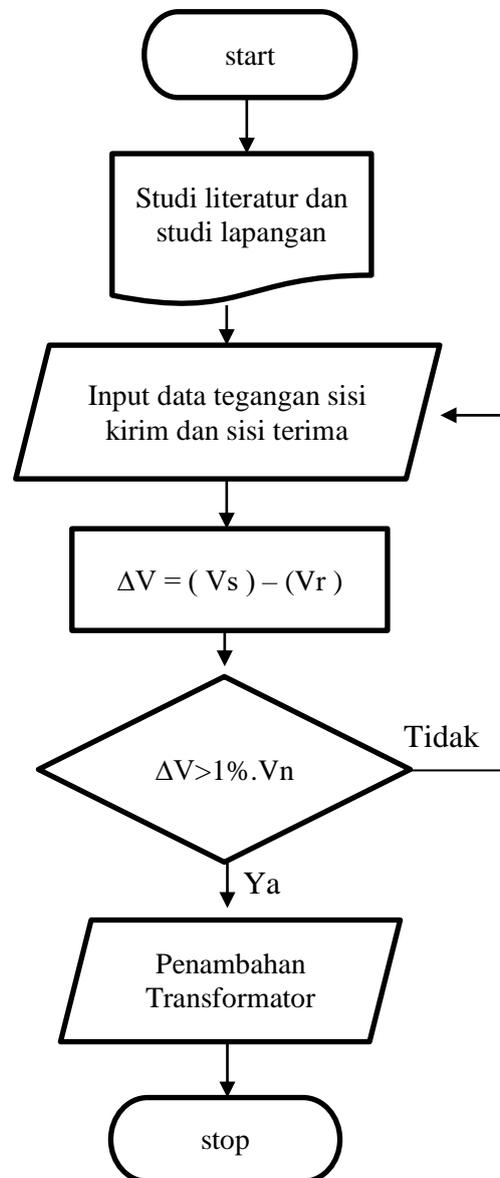
$$\% \text{ Persentase beban transformator} = \frac{KVA \text{ beban}}{KVA \text{ trafo}} \times 100 \% \dots\dots\dots(5)$$

(Imran, 2019)

METODE

Penelitian ini dilakukan pada wilayah kerja PT. PLN (Persero) UP3 Lubuk Pakam ULP Perbaungan dengan subjek yang diangkat adalah trafo distribusi PR 072. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi drop tegangan agar

mutu tegangan meningkat dengan metode penambahan trafo sisip. Adapun prosedur atau langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada diagram alir (flowchart) berikut:



Gambar 1. Flowchart Penelitian Tahapan penelitian lebih dahulu dengan melakukan observasi lapangan dan studi literatur terkait masalah yang akan diteliti. Selanjutnya mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam perhitungan drop tegangan. Data-data tersebut kemudian dianalisis dengan melakukan perhitungan secara matematis untuk memperoleh berapa besar drop tegangan yang terjadi, lalu disesuaikan dengan kondisi transformator yang ada dan dilakukan penambahan trafo sisip jika diperlukan. Berikut data-data yang diperoleh saat

penelitian:

Rating Trafo Distribusi dengan kapasitas 160 KVA (PR 072)

Spesifikasi Jaringan Tegangan Rendah dengan jenis konduktor LVTC dan ukuran 3x35 + 1x25 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Penghantar Tegangan Rendah

| No | Titik | Panjang Saluran |
|----|-------|-----------------|
| 1 | A-C | 145 |
| 2 | C-E | 91 |
| 3 | E-H | 133 |
| 4 | H-J | 92 |
| 5 | J-L | 92 |
| 6 | L-O | 139 |
| 7 | O-Q | 96 |

Data beban jaringan tegangan rendah terukur seperti tertera pada tabel berikut:

Tabel 2. Beban Pada Trafo PR 072

| No | Titik | Arus (Amper) | | |
|----|-------|--------------|----|----|
| | | R | S | T |
| 1 | A-C | 20 | 16 | 18 |
| 2 | C-E | 18 | 18 | 18 |
| 3 | E-H | 20 | 20 | 19 |
| 4 | H-J | 18 | 18 | 16 |
| 5 | J-L | 21 | 20 | 19 |
| 6 | L-O | 25 | 20 | 20 |
| 7 | O-Q | 19 | 16 | 18 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil pengukuran besar tegangan pada ujung sisi tegangan rendah adalah seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. Tegangan Ujung Sisi Tegangan Rendah

| No | Arus (A) | | | Tegangan (V) | | |
|----|----------|----|----|--------------|-----|-----|
| | R | S | T | R-N | S-N | T-N |
| 1 | 14 | 13 | 16 | 180 | 179 | 180 |
| 2 | 15 | 15 | 12 | 180 | 179 | 180 |
| 3 | 19 | 16 | 17 | 179 | 178 | 179 |

Dari tabel di atas, diperoleh rata-rata arus dan tegangan ujung sebagai berikut:

$$\text{Arus rata-rata (R)} = \frac{14+15+19}{3} = 16 \text{ A}$$

$$\text{Arus rata-rata (S)} = \frac{13+15+16}{3} = 14,66 \text{ A}$$

$$\text{Arus rata-rata (T)} = \frac{16+12+17}{3} = 15 \text{ A}$$

Sedangkan nilai rata-rata tegangan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Tegangan rata-rata (R-N)} \\ = \frac{180+180+179}{3} = 179,66 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan rata-rata (S-N)} \\ = \frac{179+179+178}{3} = 178,66 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan rata-rata (T-N)} \\ = \frac{180+180+179}{3} = 179,66 \text{ V} \end{aligned}$$

Perhitungan Drop Tegangan

Dari data yang diperoleh dan dengan menggunakan persamaan (2), maka drop tegangan dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} \Delta V &= (V_s) - (V_r) \\ &= 220 - 179,66 \\ &= 40,34 \text{ V (R-N)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= (V_s) - (V_r) \\ &= 220 - 178,66 \\ &= 41,34 \text{ V (S-N)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= (V_s) - (V_r) \\ &= 220 - 179,66 \\ &= 40,34 \text{ V} \end{aligned}$$

maka persentase drop tegangan terjadi pada kondisi di atas adalah:

$$\begin{aligned} \text{Untuk fasa R-N} &= \frac{40,34}{220} \times 100 \% = 18,33 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk fasa S-N} &= \frac{41,34}{220} \times 100 \% = 18,79 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk fasa T-N} &= \frac{40,34}{220} \times 100 \% = 18,33 \% \end{aligned}$$

Sedangkan untuk persen regulasi tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \\ &= \frac{220 - 179,66}{179,66} \times 100 \% \\ &= 22,45 \% \text{ untuk fasa (R-N)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \\ &= \frac{220 - 178,66}{178,66} \times 100 \% \\ &= 23,13 \% \text{ untuk fasa (S-N)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{220-179,66}{179,66} \times 100 \%$$

$$= 22,45 \%$$

untuk fasa (T-N)

Rata-rata persentase drop tegangan sebesar:

$$= \frac{22,45+23,13+22,45}{3}$$

$$= 22,67 \%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa rasio jatuh tegangan tidak sesuai dengan ketentuan Peraturan Tegangan Standar PLN yang ditentukan dalam SPLN 1:1995 yang dengan jelas menyatakan bahwa batas tegangan standar maksimum dan minimum adalah +5% atau - 10%. Oleh karena itu, pada kondisi seperti ini, penambahan trafo plug-in adalah tepat.

Perhitungan Pembebanan Pada Trafo

Untuk menghitung beban pada Trafo PR 072 terlebih dahulu diambil data dari Gardu Distribusi yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Pengukuran Gardu Trafo Distribusi PR 072

| No | Arus (A) | | | Tegangan (V) | | |
|----|----------|-----|-----|--------------|-----|-----|
| | R | S | T | R-N | S-N | T-N |
| 1 | 195 | 183 | 194 | 226 | 227 | 224 |
| 2 | 197 | 190 | 195 | 225 | 227 | 222 |
| 3 | 205 | 190 | 210 | 222 | 224 | 223 |

Dari data ini dapat diambil arus dan tegangan rata-rata dari ketiga fasa sebagai berikut:

$$\text{Arus rata-rata (R)} = \frac{195+197+205}{3} = 199 \text{ A}$$

$$\text{Arus rata-rata (S)} = \frac{183+190+190}{3} = 188 \text{ A}$$

$$\text{Arus rata-rata (T)} = \frac{194+195+210}{3} = 200 \text{ A}$$

Sedangkan nilai rata-rata tegangan pada setiap fasa adalah:

$$\text{Tegangan rata-rata (R-N)}$$

$$= \frac{226+225+222}{3} = 224,33 \text{ V}$$

$$\text{Tegangan rata-rata (S-N)}$$

$$= \frac{227+227+224}{3} = 226 \text{ V}$$

$$\text{Tegangan rata-rata (T-N)}$$

$$= \frac{224+222+223}{3} = 223 \text{ V}$$

Untuk mencari persentase pembebanan pada trafo maka dihitung terlebih dahulu arus total rata-rata yaitu:

$$\text{Irata-rata} = \frac{\text{IR+IS+IT}}{3}$$

$$= \frac{199+188+200}{3} = 196 \text{ A}$$

Dengan tegangan nominal 400 V, maka persentase pembebanan pada trafo adalah:

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{\sqrt{3}.V.I}{\text{kapasitas trafo}}$$

$$= \frac{\sqrt{3}.(400)(196)}{160 \times 1000} \times 100 \%$$

$$= 84,8 \%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa beban trafo pada stasiun distribusi PR 072 melebihi batas standar beban maksimal trafo sebesar 80%. Oleh karena itu, perlu dipasang trafo tambahan.

Memilih kapasitas Trafo Sisip

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam memilih kapasitas/rating kapasitas trafo plug-in, yaitu :

1. Lokasi sekitar stasiun trafo distribusi masih mempunyai lahan yang cukup untuk pertumbuhan penduduk sehingga kapasitas plug-in yang dipilih trafo harus mampu beradaptasi terhadap perubahan beban dimasa yang akan datang.
2. Beban yang harus dipikul trafo insertion harus memenuhi standar PLN, dimana persentase beban maksimalnya adalah 80%. Oleh karena itu, kapasitas trafo penyisipan terhadap beban harus kurang dari 80%.

Perhitungan Sesudah Pemasangan Trafo Sisip

Hasil pengukuran yang dilakukan setelah penambahan Trafo Sisip terlihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Pengukuran Tegangan Sesudah Pemasangan Trafo Sisip

| No | Tegangan Pengirim (Vs) [Volt] | Tegangan Penerima (Vr) [Volt] |
|----|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 393,3 | 387,4 |
| 2 | 387,4 | 385,1 |
| 3 | 385,1 | 383,6 |

Dari tabel di atas diperoleh besar drop tegangan sebagai berikut:

$$\Delta V = (Vs) - (Vr)$$

$$= 393,3 - 387,4$$

$$= 5,9 \text{ V}$$

$$\Delta V = (Vs) - (Vr)$$

$$= 387,4 \text{ V} - 385,1$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,3 \text{ V} \\
 \Delta V &= (V_s) - (V_r) \\
 &= 385,1 \text{ V} - 383,6 \\
 &= 1,5 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Persentase drop tegangan yang terjadi setelah penambahan Trafo Sisip adalah:

$$\begin{aligned}
 \% \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \\
 &= \frac{393,3 - 387,4}{387,4} \times 100 \% \\
 &= 1,52 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \\
 &= \frac{387,4 - 385,1}{385,1} \times 100 \% \\
 &= 0,59 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \\
 &= \frac{385,1 - 383,6}{383,6} \times 100 \% \\
 &= 0,39 \%
 \end{aligned}$$

Rata-rata drop tegangan adalah:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,52 + 0,59 + 0,39}{3} \\
 &= 0,83 \%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang dilakukan drop tegangan yang terjadi sesudah penambahan Trafo Sisip masih di dalam batas yang diizinkan, sesuai SPLN 1:1995.

Selanjutnya diukur arus untuk mengetahui pembebanan pada trafo, dan hasilnya sebagai berikut:

Arus pada fasa R = 59 A

Arus pada fasa S = 52 A

Arus pada fasa T = 55 A

Maka rata-rata arus sebesar:

$$\text{Arus rata-rata} = \frac{59 + 52 + 55}{3} = 55,33 \text{ A}$$

Selanjutnya persentase pembebanan dengan tegangan nominal 400 V adalah:

$$\begin{aligned}
 \% \text{Pembebanan} &= \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I}{\text{kapasitas trafo}} \times 100 \% \\
 &= \frac{\sqrt{3} \cdot (400) \cdot (55,33)}{160 \times 1000} \times 100 \% \\
 &= 23,95 \%
 \end{aligned}$$

Hasil analisis dan perhitungan memperlihatkan perubahan drop tegangan sesudah penambahan Trafo Sisip yang masih dalam batas standart ketentuan yang berlaku, sehingga untuk kondisi seperti ini

pemasangan Trafo Sisip menjadi solusi terbaik dalam meningkatkan mutu tegangan.

SIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa drop tegangan terjadi karena pembebanan yang berlebih pada trafo, sehingga tegangan sisi penerima (V_r) jauh lebih kecil dibandingkan tegangan sisi kirimnya (V_s). Sistem Trafo Sisip merupakan solusi dari turunnya tegangan yang diterima pelanggan dalam upaya meningkatkan mutu tegangan, sebelum pemasangan Trafo sisip terlebih dahulu dipelajari dan dianalisis kondisi yang ada di lapangan. Pada kondisi ini persentase drop tegangan sebelum penambahan trafo sisip sebesar 22,67 %, dan persentase pembebanan sebesar 84,8 %. Sementara sesudah penambahan Trafo Sisip persentase drop tegangan menjadi 0,83 % dan persentase pembebanan sebesar 23,95 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Abendanon Siagian, Zulkarnain, Muhammad Erpandi Dalimunthe, & Zuraidah Tharo. (2023). Analisis Keandalan Sistem Konfigurasi Jaringan Penyulang 20 Kv di PT. PLN (Persero) ULP Pakam Kota Berbasis Matlab. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 5(1), 18–31. <https://doi.org/10.36706/jres.v5i1.89>
- Anisah, S. (2018). Analisis Perbaikan Tegangan Ujung Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Express Trienggadeng Daerah Kerja PT PLN (Persero) Area Sigli Rayon Meureudu Dengan Simulasi E-Tap. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 2(1), 2–7. <https://doi.org/10.31289/jesce.v2i1.1916>
- Ardhianto, D., Utama, B., & Arsyad, M. (2020). Penyeimbangan Beban Trafo Distribusi 3 Fasa pada Jaringan Tegangan Rendah (Studi Kasus PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota). *Jmte*, 01(01), 31–43.
- Arismunandar, A. (2004). Teknik tenaga. In *Saluran Transmisi*.
- Harahap, R., Siregar, S. A., Hardi, S., & HS,

- S. (2022). Analisis Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang SB.02 Pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota Menggunakan Metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA). *Journal of Electrical Technology*, 7(2), 87–95.
- Hontong, N. J., Tuegeh, M., & Patras, L. S. (2015). Analisa Rugi Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN Palu. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 4(1), 64–71.
- Imran, M. (2019). ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK UNTUK WILAYAH KOTA LHOKSEUMAWE DI PT. PLN (PERSERO) RAYON KOTA LHOKSEUMAWE. *Jurnal Energi Elektrik*, 8(1).
- Kushadiyono.MT ,Drs. (2003). *Dasar Teknik Elektro*.
- Notatema Waruwu, & Zuraidah Tharo. (2023). Analisis Sistem Jaringan Tegangan Rendah di PT. PLN ULP Binjai Timur Dengan Metode Failure Mode and Effect. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 5(1), 32–38. <https://doi.org/10.36706/jres.v5i1.91>
- PT. Perusahaan Listrik Negara, & (Persero). (1995). *SPLN - Tegangan Rendah 1995*. <http://slidepdf.com/reader/full/spln-1-1995-tegangan-standar>
- PT. PLN (Persero). (1987). Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). *Lampiran Surat Keputusan Direksi PLN No.060/DIR/87*, 22. <http://www.pln-litbang.co.id/perpustakaan>
- 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. <https://doi.org/10.29303/dielektrika.v7i1.226>
- Suhadi, dkk. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Tharo, Z., Tarigan, A. D., & Pulungan, R. (2018). Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 10–15. <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.2256>
- Ulp, P., Kota, M., Wabes, W. A., Wartana, I. M., & S, I. B. (2023). *DISTRIBUSI MNK 008 PENYULANG KASUARI DI PT. PLN. 07*, 288–293.
- Zuhal. (1995). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. PT. Gramedia Jakarta.