

Analisis Dampak Rencana Pemasangan Transformator Sisipan untuk Mengatasi Beban Lebih dan Drop Tegangan pada Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) ULP Wamena Kota

Onny Paku Sadewa¹ dan Munaf Ismail²

^{1,2}Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

e-mail: onnysadewa@gmail.com

Abstrak— Pada ULP Wamena Kota, terdapat Penyulang Kaonak dengan dua trafo yang kelebihan beban. Trafo WMN 121 dan WMN 069, masing-masing berkapasitas 100 kVA, menanggung beban 85% dan 95%. Sesuai SE DIR PT PLN (Persero) No.0017/2014, kondisi ini tidak ideal. Selain itu, terjadi penurunan tegangan di pelanggan terjauh yaitu penurunan tegangan sebesar 16,6% untuk trafo WMN 121 dan 13,7% untuk WMN 069, melebihi batas toleransi SPLN No. 1 Tahun 1995 (+5% hingga -10%). Solusi yang dianggap paling efektif adalah dengan melakukan pemasangan trafo sisipan. Dalam merencanakan pemasangan ini, perlu dilakukan peramalan beban, penentuan kapasitas trafo sisip, pembagian jalur untuk pelanggan terjauh, penentuan lokasi pemasangan, serta pemilihan aksesoris gardu distribusi yang tepat. Untuk WMN 121, trafo sisip 50 kVA dipasang 723 meter dari trafo utama dengan beban awal 30%. Untuk WMN 069, trafo sisip 50 kVA dipasang 602 meter dari trafo utama dengan beban awal 50%. Setelah pemasangan, beban trafo WMN 121 turun menjadi 54,8% dan tegangan di ujung menjadi 221,9 V (+ 0,8%). Beban trafo WMN 069 turun menjadi 45% dengan tegangan ujung 220,9 V (+ 0,4%). Hasilnya, kinerja trafo membaik dan pelanggan menikmati kontinuitas penyaluran tenaga listrik dengan kualitas yang lebih baik.

Kata kunci: Penurunan tegangan, beban lebih, trafo sisip

Abstract— At ULP Wamena Kota, the Kaonak Feeder has two overloaded transformers: WMN121 and WMN069, each with a 100 kVA capacity, operating at 85% and 95% load. According to PLN regulation SE DIR No.0017/2014, this is not ideal. There's also a significant voltage drop at the farthest customers—16.6% for WMN 121 and 13.7% for WMN 069—exceeding the allowable limit of +5% to -10% set by SPLN No.1 of 1995. To solve this, insert transformers were installed. The plan involved load forecasting, determining the new transformer capacity, rerouting customer lines, choosing installation sites, and selecting appropriate substation accessories. A 50 kVA insert transformer was added 723 meters from WMN 121 with a starting load of 30%, and another 50 kVA unit was placed 602 meters from WMN 069 with a 50% initial load. After installation, WMN 121's load dropped to 54.8% with voltage improved to 221.9 V (only 0.8% drop), while WMN 069's load dropped to 45% with voltage at 220.9 V (0.4% drop). These improvements led to better transformer performance and more stable power for customers.

Keywords: Drop voltage, overload, insert transformer

I. PENDAHULUAN

PLN adalah perusahaan milik negara yang menyediakan dan menyalurkan listrik di Indonesia. Untuk memastikan listrik tetap stabil dan andal, PLN menggunakan transformator distribusi yang menurunkan tegangan dari 20 kV ke 400 V agar bisa digunakan oleh rumah tangga, industri, dan bisnis.

Beban listrik yang meningkat dapat menyebabkan transformator kelebihan beban (*overload*), yang berisiko merusak isolasi dan menurunkan tegangan. Sesuai aturan PLN, beban transformator tidak boleh melebihi 80%

kapasitasnya, dengan batas penurunan tegangan maksimal -10%.

Pada PT PLN ULP Wamena Kota, beban listrik meningkat pesat, terutama di Penyulang Kaonak. Beberapa transformator, seperti WMN 121 dan WMN 069, sudah melebihi kapasitas, dengan beban masing-masing 85% dan 95%. Karena keterbatasan material untuk mengganti trafo lebih besar, solusi terbaik adalah menambahkan transformator sisipan untuk mengurangi beban dan memperbaiki tegangan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas transformator sisipan dalam mencegah overload dan

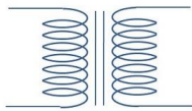
meningkatkan kualitas listrik. Hasilnya diharapkan membantu PLN dalam menjaga pasokan listrik tetap stabil dan sesuai standar.

II. STUDI PUSTAKA

2.1 Prinsip Kerja Transformator

Transformator memiliki peran yang sangat vital dalam proses penyaluran energi listrik. Alat ini berfungsi untuk meningkatkan tegangan listrik dari pembangkit PLN hingga mencapai ratusan kilo Volt (kV) agar dapat didistribusikan secara efisien, kemudian transformator lain akan menurunkan kembali tegangan tersebut agar sesuai dengan kebutuhan listrik rumah tangga dan perkantoran, yaitu sekitar 220/380 Volt AC.

Secara umum, transformator sederhana terdiri atas dua lilitan kawat berisolasi, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Umumnya, kedua kumparan ini dililitkan pada sebuah inti besi (core) yang berfungsi sebagai media penguat medan magnet.



Gambar 1 Simbol Transformator

2.2 Pembebanan Transformator

Transformator adalah peralatan listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain, dengan tetap mempertahankan frekuensi yang sama. Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, sesuai dengan hukum ampere dan induksi Faraday, di mana perubahan arus dalam medan listrik dapat menghasilkan medan magnet, sementara perubahan medan magnet atau fluks magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.

2.3 Beban Lebih (Overload)

Gangguan akibat beban lebih (*overload*) bukanlah gangguan murni, tetapi merupakan kondisi abnormal yang, jika dibiarkan terus-menerus, dapat merusak berbagai peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Ketika overload terjadi, arus listrik yang mengalir melebihi kapasitas peralatan dan sistem proteksi yang telah terpasang sebelumnya.

2.4 Penyebab Beban Lebih (Overload)

Transformator distribusi merupakan komponen vital dalam sistem distribusi tegangan menengah, namun tidak jarang mengalami gangguan, salah satunya adalah *overload*, hal ini terjadi ketika beban yang terhubung ke transformator melebihi kapasitas maksimumnya.

Beberapa faktor penyebab overload antara lain:

- Peningkatan beban secara bertahap seiring waktu.
- Perubahan atau manuver aliran beban akibat gangguan di jaringan listrik.

2.5 Dampak Beban Lebih (Overload)

Overload pada transformator dapat menyebabkan kerugian, terutama bagi PLN. Dampak utama *overload* antara lain:

- Penurunan Keandalan Sistem.

Beban lebih dapat mengganggu keandalan sistem distribusi. Keandalan sistem berarti sistem beroperasi dengan baik, tegangan stabil, dan tidak melebihi batas yang ditetapkan oleh SPLN No. 72 Tahun 1987, yaitu -10% dari tegangan nominal.

- Kerusakan Peralatan Distribusi

Overload dapat mempercepat kerusakan berbagai peralatan distribusi, termasuk transformator, kabel listrik, dan komponen distribusi lainnya. Hal ini berpotensi meningkatkan biaya perawatan dan penggantian peralatan bagi perusahaan.

Adapun solusi untuk mengatasi permasalahan kelebihan beban pada transformator distribusi antara lain :

1. Melakukan mutasi transformator
2. Melakukan penambahan gardu sisip
3. Melakukan *uprating* transformator

2.6 Letak transformator sisipan

Transformator yang letaknya terlalu jauh dengan beban yang dilayaninya menyebabkan rugi tegangan yang besar. Sehingga perlu diperhatikan jarak maksimum dari transformator distribusi tersebut terhadap pelanggan. Penentuan letak transformator sisipan dari transformator utama sebagai berikut:

$$L = \frac{10\% \times V_{vive}}{I_{wbp} \times R} \quad (1)$$

Keterangan:

L = Jarak penempatan (km)

R = Tahanan penghantar (Ω)

I = Arus yang mengalir penghantar (A)

V_{vive} = Tegangan fasa-fasa pada sekunder trafo (V)

10 % = Drop Tegangan pada penghantar yang diizinkan (V)

2.7 Metode Least Square

Least square merupakan sebuah metode yang paling banyak digunakan untuk menentukan persamaan dari trend data. Metode kuadrat paling kecil yang terbagi menjadi dua kasus, yaitu kasus data genap dan data ganjil. Persamaan penentuan parameter metode *least square* sebagai berikut :

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

Keterangan :

a dan b = koefisien

Y = diasumsikan jumlah beban (kVA)

n = banyak tahun

x = waktu tertentu dalam bentuk kode

Dalam menentukan nilai x seringkali digunakan teknik alternatif dengan memberikan skor atau kode. Dalam hal ini dilakukan pembagian data menjadi dua kelompok, yaitu:

- Data genap, maka skor x nya:, -5, -3, -1, 1, 3, 5,
- Data ganjil, maka skor x nya:, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, ...

Kemudian untuk mengetahui koefisien a dan b dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum Y}{n}$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2}$$

III. METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

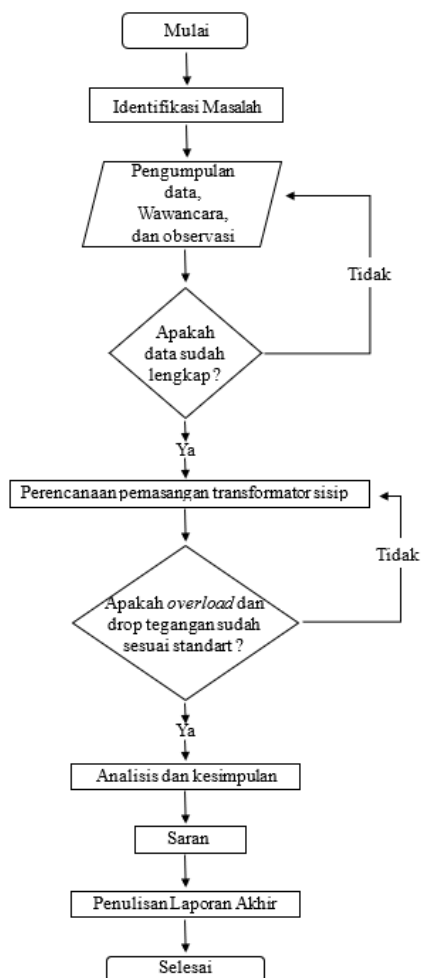
Untuk analisis data yang penulis gunakan sebagai tempat penelitian sekaligus tempat pengambilan data yaitu berasal dari PT. PLN (Persero) ULP Wamena Kota. Untuk waktu penelitian yaitu dimulai pada tahun 2022 sampai 2024..

B. Jenis Data Penelitian

Jenis data yang diambil untuk penelitian ini yaitu meliputi data-data sebagai berikut:

1. *Single line diagram* Penyulang Kaonak PT PLN (Persero) ULP Wamena Kota
2. Data pengukuran tegangan dan beban pada transformator di Penyulang Kaonak PT PLN (Persero) ULP Wamena Kota
3. Spesifikasi transformator, kapasitas daya, lokasi
4. Pengukuran tegangan pelanggan terjauh dari transformator WMN 121 dan WMN 069
4. Data daya pelanggan
5. Data panjang penghantar TM dan TR dan jenis penghantar yang digunakan .

C. Tahapan Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah penjelasan dari diagram alir pembuatan tugas akhir :

- a. Pengerjaan tugas akhir dimulai dengan melakukan konsultasi dengan beberapa pihak seperti dosen, narasumber dan lainnya yang akan diangkat sebagai bahasan tugas akhir.
- b. Mengidentifikasi masalah yang ada di PT PLN (Persero) ULP Wamena Kota. Permasalahan yang akan dianalisis adalah mengenai keandalan penyaluran energi listrik dari pembangkitan hingga ke pelanggan. Dari hal tersebut, juga dapat menganalisis pembebanan transformator distribusi.
- c. Untuk mengumpulkan data, diperlukan observasi dan wawancara terkait transformator sisipan berdasarkan literatur yang telah dipelajari. Data yang dikumpulkan harus valid dan sesuai dengan tugas akhir yang dibuat ini.
- d. Setelah mendapat data data yang diperlukan, maka harus dilakukan pengecekan kembali data data tersebut apakah sudah lengkap dan tepat. Apabila data yang telah diperoleh belum lengkap maka kembali ke langkah 3 yaitu melengkapi data yang ada. Jika data yang telah diperoleh sudah lengkap maka bisa lanjut ke tahap selanjutnya.
- e. Melakukan perencanaan pemasangan transformator sisipan
- f. Meninjau kembali rekomendasi perencanaan secara perhitungan dalam penambahan transformator sisipan, apakah sudah benar atau belum. Pengecekan dilakukan untuk mengetahui apakah pembebanan dan jatuh tegangan sudah sesuai standar yang ditentukan. Jika sudah maka dapat melanjutkan langkah berikutnya, jika belum lengkap maka mengulang kembali ke langkah sebelumnya agar memperoleh hasil perencanaan yang benar.
- g. Membuat analisis dan kesimpulan dari perencanaan yang telah dilakukan
- h. Memberi dan membuat saran untuk tugas akhir
- i. Melakukan penulisan tugas akhir
- j. Selesai

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Sebelum Pemasangan Transformator Sisip

Pada Penyulang Kaonak saat ini memiliki 3 buah trafo yang mengalami beban lebih atau *overload*. Untuk mengatasi masalah ini, maka dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain adalah *uprating* trafo, melakukan pecah beban JTR, dan penambahan trafo sisip. Pada kondisi di ULP Wamena Kota, melakukan penambahan trafo sisip merupakan metode yang paling sesuai dikarenakan jarak antar gardu pasang luar yang lain masih cukup jauh.

Pada laporan pelanggan ULP Wamena Kota terdapat kejadian tegangan drop pada pelanggan gardu WMN 121 yang mencapai 190V dan pada pelanggan gardu WMN 069 tegangan pelanggan ujung mencapai 192 V.

Berdasarkan kondisi beban lebih dan jatuh tegangan yang terjadi maka pada Penyulang Kaonak tepatnya pada gardu WMN 121 dan WMN 069 akan dilakukan penambahan trafo sisip dan selanjutnya akan dilaksanakan analisis terhadap pemasangan trafo sisip tersebut.

4.2 Kondisi Pembebanan dan Tegangan ujung

A. WMN 121

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa beban transformator pada tahun 2022 sebesar 69 %, tahun 2023 sebesar 78 % dan pada tahun 2024 sebesar 84,7 %. Sesuai dengan SE DIR PT. PLN (Persero) NO 17 tahun 2014, dapat dikatakan bahwa pembebanan transformator WMN 121 pada tahun 2024 berada dalam posisi kurang.

Berdasarkan pengukuran tegangan pada kWh meter pelanggan terjauh didapat hasil pada saat beban puncak (WBP) nilai dari tegangan sebesar 190 V. Sebelum dilaksanakan pengecekan tegangan, terlebih dahulu telah dilakukan inspeksi pada kabel jaringan tegangan rendah dan juga kondisi pada transformator WMN 121. Hasil inspeksi tersebut menunjukkan hasil yang baik melalui inspeksi tier 1 maupun tier 2. Berdasarkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu pada SPLN 1 tahun 1995, dimana jatuh tegangan hanya memiliki batas toleransi maksimal – 10 % dari tegangan pelayanan

$$\begin{aligned} \text{Jatuh Tegangan} &= \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100 \% \\ &= \frac{228 - 190}{228} \times 100 \% \\ &= 16,6 \% \end{aligned}$$

B. WMN 069

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa beban transformator pada tahun 2022 sebesar 72 %, tahun 2023 sebesar 85 % dan pada tahun 2024 sebesar 95 %. Sesuai dengan SE DIR PT. PLN (Persero) NO 17 tahun 2014, dapat dikatakan bahwa pembebanan transformator WMN 069 berada pada posisi kurang.

Berdasarkan pengukuran tegangan pada kWh meter pelanggan terjauh didapat hasil pada saat beban puncak (WBP) nilai dari tegangan sebesar 192,4 V. Sebelum dilaksanakan pengecekan tegangan, terlebih dahulu telah dilakukan inspeksi pada kabel jaringan tegangan rendah dan juga kondisi pada transformator WMN 121. Hasil inspeksi tersebut menunjukkan hasil yang baik melalui inspeksi tier 1 maupun tier 2. Berdasarkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu pada SPLN 1 tahun 1995, dimana jatuh tegangan hanya memiliki batas toleransi maksimal – 10 % dari tegangan pelayanan

$$\begin{aligned} \text{Jatuh Tegangan} &= \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100 \% \\ &= \frac{223 - 192,4}{223} \times 100 \% \\ &= 13,7 \% \end{aligned}$$

4.3 Peramalan Beban

A. WMN 121

Dalam penentuan kenaikan jumlah beban setiap tahun, maka digunakan metode peramalan beban dengan metode *Least Square*. Adapun perhitungan peramalan beban pada transformator WMN 121 adalah sebagai berikut :

<u>Tahun</u>	<u>Beban Puncak (kVA)</u>	<u>X</u>	<u>XY</u>	<u>X²</u>
2022	68	-1	-68	1
2023	78	0	0	0
2024	85	1	85	1
n = 3	$\sum Y = 231$	0	$\sum XY = 17$	$\sum X^2 = 2$

- Menghitung nilai a dan b

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sum Y}{n} = \frac{231}{3} = 77 \\ b &= \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{17}{2} = 8,5 \end{aligned}$$

- Membuat persamaan *Least Square*

$$Y_n = a + bx = 77 + 8,5x$$

Hasil nilai Y_n pada tahun 2025, dengan nilai $x=2$

$$\begin{aligned} Y_n &= a + bx \\ Y_n &= 77 + 8,5x \\ Y_n &= 94 \end{aligned}$$

- Persentase beban pada tahun 2025

$$\begin{aligned} \text{Persentase Beban (\%)} &= \frac{Y_n}{\text{kVA Transformator}} \times 100\% \\ &= \frac{94 \text{ kVA}}{100 \text{ kVA}} \times 100\% \\ &= 94 \% \end{aligned}$$

- Persentase pertumbuhan beban

$$\begin{aligned} \text{Pertumbuhan beban (\%)} &= \frac{\% \text{Beban 2025} - \% \text{Beban 2024}}{\% \text{Beban 2024}} \times 100\% \\ &= \frac{94 \% - 85 \%}{85 \%} \times 100\% \\ &= 9 \% \end{aligned}$$

Apabila Transformator sisipan gardu WMN 121 menggunakan transformator 100 kVA, maka asumsi pembebanan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Beban asumsi (\%)} &= \frac{94}{100 \text{ kVA} + 100 \text{ kVA}} \times 100\% \\ \text{Beban asumsi (\%)} &= 47 \% \text{ (tahun 2025)} \\ \text{Beban teralihkan (\%)} &= 94 \% - 47 \% \\ \text{Beban teralihkan (\%)} &= 47 \% \end{aligned}$$

<u>Kapasitas Trafo Sisipan</u>	<u>Tahun</u>	<u>Perkiraan Beban (kVA)</u>	<u>Pertumbuhan beban (%)</u>	<u>Pembebanan WMN 121</u>	
				<u>Sebelum Sisip</u>	<u>Sesudah Sisip</u>
100 kVA	2025	94	9	94,00	47
	2026	102,5	9,0	102,5	51,25
	2027	111	8,3	111	55,5
	2028	119,5	7,7	119,5	59,75
	2029	128	7,1	128	64
50 kVA	2025	94	9	94,00	62,67
	2026	102,5	9,0	102,5	68,33
	2027	111	8,3	111	74
	2028	119,5	7,7	119,5	79,67
	2029	128	7,1	128	85,33

B. WMN 069

Dalam penentuan kenaikan jumlah beban setiap tahun, maka digunakan metode peramalan beban dengan metode *Least Square*. Adapun perhitungan peramalan beban pada transformator WMN 069 adalah sebagai berikut :

<u>Tahun</u>	<u>Beban Puncak (kVA)</u>	<u>X</u>	<u>XY</u>	<u>X²</u>
2022	81	-1	-81	1
2023	85	0	0	0
2024	95	1	95	1
n = 3	$\sum Y = 261$	0	$\sum XY = 14$	$\sum X^2 = 2$

- Menghitung nilai a dan b

$$a = \frac{\sum Y}{n} = \frac{261}{3} = 87$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{14}{2} = 7$$

- Membuat persamaan *Least Square*

$$Y_n = a + bx = 87 + 7x$$

Hasil nilai Y_n pada tahun 2025, dengan nilai $x=2$

$$Y_n = a + bx$$

$$= 87 + 7 \times 2$$

$$= 101$$

- Persentase beban pada tahun 2025

$$\text{Persentase Beban (\%)} = \frac{Y_n}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\%$$

$$= \frac{101 \text{ kVA}}{100 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$= 101 \%$$

- Persentase pertumbuhan beban

$$\text{Pertumbuhan beban (\%)} = \frac{\% \text{Beban 2025} - \% \text{Beban 2024}}{\% \text{Beban 2024}} \times 100\%$$

$$= \frac{101 \% - 95 \%}{95 \%} \times 100\%$$

$$= 6 \%$$

Apabila Transformator sisipan gardu WMN 069 menggunakan transformator 100 kVA, maka asumsi pembebanan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Beban asumsi (\%)} = \frac{101}{100 \text{ kVA} + 100 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\text{Beban asumsi (\%)} = 50,5 \% \text{ (tahun 2025)}$$

$$\text{Beban teralihkan (\%)} = 101 \% - 50,5 \%$$

$$\text{Beban teralihkan (\%)} = 50,5 \%$$

<u>Kapasitas Trafo Sisipan</u>	<u>Tahun</u>	<u>Perkiraan Beban (kVA)</u>	<u>Pertumbuhan beban (%)</u>	<u>Pembebanan WMN 069</u>	
				<u>Sebelum Sisip</u>	<u>Sesudah Sisip</u>
100 kVA	2025	101	6	101	50,5
	2026	108	6,9	108	54
	2027	115	6,5	115	57,5
	2028	122	6,1	122	61
	2029	129	5,7	129	64,5
50 kVA	2025	101	6	101,00	67,33
	2026	108	6,9	108	72,00
	2027	115	6,5	115	77
	2028	122	6,1	122	81,33
	2029	129	5,7	129	86,00

4.4 Lokasi Penempatan Transformator Sisip

A. WMN 121

Dalam pemasangan transformator sisip, penentuan lokasi menjadi satu hal yang sangat penting. Pemilihan lokasi transformator sisipan sangat berpengaruh untuk perbaikan tegangan ujung pelanggan dan penurunan beban pada transformator WMN 121. Maka dari itu, perlu diketahui dahulu berapa arus beban puncak dan nilai resistansi penghantar untuk perhitungan. Adapun perhitungan arus beban puncak sebagai berikut :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$= \frac{92,5 + 142,7 + 131,9}{3}$$

$$= 122,37 \text{ A}$$

Dalam menentukan resistansi dari penghantar JTR NYAF2X 3 x 70 mm² + 70 mm² dengan panjang 1120 meter dapat menggunakan rumus berikut.

Diketahui,

$$A = 70 \text{ mm}^2 = 138.146,7 \text{ Cm}$$

$$L = 1120 \text{ m} = 3675 \text{ ft}$$

Sehingga,

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$= 17 \frac{3675}{138.146,7}$$

$$= 0,452 \Omega$$

Dimana :

$$\rho = 17 \text{ Cm}\Omega/\text{ft} \text{ (Hambatan Jenis Aluminium)}$$

$$L = \text{Panjang penghantar (ft)}$$

$$A = \text{Luas Penampang (Cm)}$$

Setelah perhitungan arus beban dan resistansi, maka selanjutnya hasil tersebut dimasukan ke dalam rumus berikut ini.

$$L = \frac{400 \times 10\%}{122,37 \times 0,452}$$

$$= 0,723 \text{ km}$$

B. WMN 069

Dalam pemasangan transformator sisip, penentuan lokasi menjadi satu hal yang sangat penting. Pemilihan lokasi transformator sisipan sangat berpengaruh untuk perbaikan tegangan ujung pelanggan dan penurunan beban pada transformator WMN 069. Maka dari itu, perlu diketahui berapa arus beban puncak dan nilai resistansi penghantar untuk perhitungan. Adapun perhitungan arus beban puncak sebagai berikut :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$= \frac{129,2 + 137 + 145}{3}$$

$$= 137,06 \text{ A}$$

Dalam menentukan resistansi dari penghantar JTR NFA2X 3 x 70 mm² + 70 mm² dengan panjang 1200 meter dapat menggunakan rumus berikut.

Diketahui,

$$A = 70 \text{ mm}^2 = 138.146,7 \text{ Cm}$$

$$L = 1200 \text{ m} = 3937 \text{ ft}$$

Sehingga,

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$= 17 \frac{3937}{138.146,7}$$

$$= 0,484 \Omega$$

Dimana :

$$\rho = 17 \text{ Cm}\Omega/\text{ft} \text{ (Hambatan Jenis Aluminium)}$$

$$L = \text{Panjang penghantar (ft)}$$

$$A = \text{Luas Penampang (Cm)}$$

Setelah perhitungan arus beban dan resistansi, maka selanjutnya hasil tersebut dimasukan ke dalam rumus berikut ini.

$$L = \frac{400 \times 10\%}{137,06 \times 0,484}$$

$$= 0,602 \text{ km}$$

4.5 Kondisi Pembebanan Setelah Dilakukan Transformator Sisip

Pemasangan transformator sisip untuk WMN 121 memiliki jarak kurang lebih 723 meter dari gardu, sedangkan untuk WMN 069 rencana pemasangan transformator sisip memiliki jarak kurang lebih 602 meter dari gardu. Kedua lokasi tersebut menjadi titik pemasangan transformator sisip pada simulasi Etap 12.6

Setelah dilakukan simulasi Etap 12.6 didapatkan hasil pembebanan Transformator WMN 121 setelah sisip transformator adalah sebesar 54 % dari kapasitas transformator. Hal ini tentunya setelah pelaksanaan sisip maka transformator WMN 121 mengalami penurunan pembebanan sejumlah 30 % yang berpindah ke transformator sisip. Sedangkan untuk transformator WMN 069 setelah dilakukan sisip transformator, untuk pembebanan menjadi 45 % dari kapasitas daya terpasang. WMN 069 mengalami penurunan pembebanan sejumlah kurang lebih 45 % yang berpindah ke transformator sisipan.

4.6 Kondisi Tegangan Ujung Setelah Dilakukan Transformator Sisip

Jarak pelanggan terjauh WMN 121 dan 069 adalah 1,12 kms dan 1,2 kms dari transformator. Kedua titik pelanggan terjauh tersebut mengalami jatuh tegangan yang melebihi

standar yang sudah ditetapkan oleh PLN, dimana jatuh tegangan tidak boleh melebihi 10 % dari tegangan pelayanan.

Pelanggan terjauh dari Transformator WMN 121 yaitu Jalur Bagian A memiliki perubahan jatuh tegangan dari 16,69% menjadi 2,6%. Untuk Transformator WMN 069 memiliki perubahan jatuh tegangan pada jalur terjauh yaitu jalur A dari 13,85% menjadi +1,8 % dari tegangan panel PHB TR pada gardu. Berdasarkan SPLN 1, 1995, seluruh hasil tegangan ujung sesudah pemasangan transformator sisipan sudah sesuai yaitu tidak lebih dari 5% dan kurang dari 10%.

4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Simulasi ETAP

A. Perbandingan Persentase Pembebanan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dan simulasi ETAP, diperoleh data sebagai berikut:

1 Transformator WMN 069

- Hasil Perhitungan: 94,85%
- Hasil Simulasi ETAP: 94%

2 Transformator WMN 121

- Hasil Perhitungan: 84,7%
- Hasil Simulasi ETAP: 83%

B. Perbandingan Tegangan Ujung Pelanggan

1 Pelanggan WMN 069

- Nilai pada kondisi sebenarnya: 192,4 V
- Hasil Simulasi ETAP: 192,12 V

2 Pelanggan WMN 121

- Nilai pada kondisi sebenarnya: 190 V
- Hasil Simulasi ETAP: 189,95 V

C. Melakukan Simulasi Pecah Beban Pada ETAP Berdasarkan Nilai Jarak Penempatan Transformator Sisip

Berdasarkan perhitungan jarak penempatan transformator sisip, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Transformator Sisip WMN 121: 723 meter dari lokasi WMN 121
- Transformator Sisip WMN 069: 602 meter dari lokasi WMN 069

Setelah menerapkan hasil perhitungan jarak penempatan transformator sisip ke dalam simulasi ETAP, diperoleh distribusi pembebanan sebagai berikut:

- Transformator WMN 069 menampung beban sebesar 44,9%, sedangkan transformator sisipannya menampung beban 51,2%.
- Transformator WMN 121 menampung beban sebesar 55,8%, sedangkan transformator sisipannya menampung beban 30,3%.

Hasil simulasi ETAP menunjukkan nilai yang sangat mendekati hasil perhitungan dan kondisi yang sebenarnya di lapangan, baik dalam persentase pembebanan transformator maupun tegangan ujung pelanggan. Hal ini membuktikan bahwa simulasi ETAP dapat digunakan sebagai alat bantu yang valid dalam menentukan persentase pembebanan transformator eksisting serta transformator sisip. Selain itu, dengan menggunakan metode ini, pembagian beban antar transformator dapat dioptimalkan, sehingga sistem distribusi tenaga listrik dapat berjalan secara aman, andal dan sesuai dengan standar yang ditetapkan PLN.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perencanaan pemasangan transformator sisipan yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Transformator yang mengalami *overload* dapat mengalami peningkatan suhu, yang berpotensi memperpendek umur operasionalnya. Sementara itu, *drop voltage* pada tegangan ujung dapat menyebabkan kerusakan pada instalasi serta peralatan listrik pelanggan.
2. Hasil dari pemasangan transformator sisipan adalah :
 - A. Setelah pemasangan transformator sisipan, pembebanan pada Transformator WMN 121 berkurang dari 85% menjadi 54,8%, sesuai dengan ketentuan SE DIR PT. PLN (Persero) No.0017 Tahun 2014, yang menetapkan batas maksimal 80%. Selain itu, tegangan ujung pelanggan terjauh pada transformator WMN 121 meningkat dari 190 V (-16,7%) menjadi 221,9 V, yang telah memenuhi standar SPLN No.1 Tahun 1995, di mana tegangan pelanggan harus berada dalam rentang -10% hingga +5%.
 - B. Setelah pemasangan transformator sisipan, pembebanan pada Transformator WMN 069 berkurang dari 94,8% menjadi 45%, sesuai dengan ketentuan SE DIR PT. PLN (Persero) No.0017 Tahun 2014, yang menetapkan batas maksimal 80%. Selain itu, tegangan ujung pelanggan terjauh pada transformator WMN 069 meningkat dari 192 V (penurunan 13,85%) menjadi 220,9 V, yang telah memenuhi standar SPLN No.1 Tahun 1995, di mana tegangan pelanggan harus berada dalam rentang -10% hingga +5%.
3. Kondisi transformator sisipan WMN 121 dan WMN 069 setelah disimulasikan pada Aplikasi ETAP 12.6 yaitu :
 - A. Kondisi transformator sisipan WMN 121 memiliki pembebanan sebesar 30 %.
 - B. Kondisi transformator sisipan WMN 069 memiliki pembebanan sebesar 50 %.

Kedua transformator sisipan tersebut sudah sesuai dengan standar PLN (SE DIR PT. PLN (Persero) No.0017, 2014) yaitu dibawah 80 %

REFERENSI

- [1]. Khalifa, F.S. (2019) Fundamentals of Electrical Engineering
- [2]. Sugijono. (2018). Merangkai Transformator Hubungan Segitiga-Bintang Dan Bintang-Segitiga Pada Jam Gasal. *JITET*, 10-17..
- [3]. PT PLN (PERSERO) (2014) Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset.
- [4]. Rusdjaja, T. (2014) Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga.
- [5]. Seniari, N.M., Fadli, M.N. and Ginarsa, I.M. (2020) Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Pada Saluran Transformator Distribusi Penyulang Pagutan (Studi Kasus: Transformator Distribusi Am097di Jalan Banda Seraya, Pagesangan, Kota Mataram
- [6]. Sutawinaya, I.P., Teresna, I.W. and Setyachayana P, F. (2014) 'Studi Analisis Penambahan Transformator Sisipan Untuk Menopang Beban Lebih Dan Drop Tegangan Pada Transformator Distribusi Ka 1516 Penyulang Buduk Menggunakan Simulasi Program Etap 7.0.', *JURNAL LOGIC*, 14, pp. 133–139.
- [7]. Harahap, P., Adam, M. and Prabowo, A. (2019) 'Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 kV Mengurangi Beban Overload dan Jatuh Tegangan Pada Trafo BI 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6.0', *Jurnal Teknik Elektro*, 1.
- [8]. Ridwan, M. (2024) 'Analisa Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Metode Binary Particle Swarm Optimization (Bpso)', *REEC Journal Of Renewable Energy, Electronics And Control*, pp. 48–57.
- [9]. Rumsory, E. (2022) Analisa Beban Tidak Seimbang Pada Saluran Distribusi 220/380 V Di Kota Fak - Fak Menggunakan Software ETAP Power Station.
- [10]. Aidil Muzar, M, Syahrizal, and Syukri, M. (2018) 'Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Di Gardu Induk Lambaro', *Jurnal Online Teknik Elektro*, 3, pp. 1-8.
- [11]. Willy Armando Wabes, I. M. (2023). Perencanaan Pemasangan Gardu Sisipan Pada Gardu Distribusi Mnk 008 Penyulang Kasuari Di Pt.Pln (Persero) Ulp Manokwari Kota. *Magnetika Volume 07*, 288-293.
- [12]. Marsudi, D. (2016) Operasi Sistem Tenaga Listrik.
- [13]. Angga Setia, G. *et al.* (2022) 'Studi Penambahan Gardu Sisipan Tipe Tiang untuk Mengatasi Beban Lebih di PT PLN (PERSERO) Area Cianjur Rayon Mande