

Studi Manajemen Trafo PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Sungguminasa

Ashar AR¹⁾, Muhammad Thahir²⁾ Musfira Tahir³⁾

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro/Politeknik Negeri Ujung Pandang
 ashar_ar@poliupg.ac.id¹⁾, Musfiraaa31@gmail.com³⁾

Abstrak

Listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan dasar manusia, sehingga penggunaan listrik semakin meningkat. Jika tidak diimbangi dengan sistem distribusi tenaga listrik yang handal maka akan menyebabkan jatuh tegangan pada ujung JTR berdasarkan SPLN No. 1 tahun 1995 bahwa variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum +5 minimum -10%. Penulis melakukan analisa pada gardu distribusi GT.SRI024 dengan kapasitas 200 kVA dengan dua jurusan pada Penyulang Pajalau dengan beban masyarakat umum yang mengalami jatuh tegangan pada ujung JTR sebesar 21,5% dan terjadi beban *overload* sebesar 83,7%. Manajemen trafo dilakukan dengan metode pemasangan trafo sisipan pada jarak 450 m dari trafo sebelumnya dengan pertimbangan nilai pembebanan pada jurusan A antara trafo GT. SRI024 dan GT. SPJ001 tidak jauh berbeda. Dilakukan pula simulasi menggunakan ETAP untuk mengatasi nilai *drop* tegangan didapatkan nilai *drop* tegangan berkurang menjadi 6,04%. Dari hasil simulasi hasil persentase jatuh tegangan sebelum pemasangan transformator sisipan sebesar 24,9. Beban sudah kembali normal sebesar 60,2%. Hasil simulasi dengan melakukan *uprating* trafo nilai *drop* tegangan sebesar 17,1%.

Pemasangan trafo sisipan lebih handal dibandingkan dengan *uprating* trafo karena mengatasi dua permasalahan sekaligus yakni *drop* tegangan dan *overload*. Sedangkan dari segi ekonomis, penggunaan *uprating* trafo lebih membutuhkan biaya yang sedikit dibandingkan pemasangan trafo sisipan karena hanya mengganti trafo ke kapasitas yang lebih besar dari sebelumnya.

Keywords: Gardu sisip, jatuh tegangan, upaya mengatasi jatuh tegangan, perbandingan kehandalan trafo

I. PENDAHULUAN

Sering terjadi permasalahan yang timbul pada pendistribusian ketenagalistrikan. Salah satunya adalah pembebanan trafo distribusi yang sudah melebihi kapasitas atau dapat dikatakan transformator *overload* jika kapasitas pembebanannya lebih dari 80% (SPLN 17 :1979).

Hal itulah yang terjadi pada transformator distribusi GT. SRI024 dengan kapasitas 200 kVA yang mengalami beban lebih sebesar 83,7% melebihi 80% pembebanan trafo. Dikarenakan panjangnya penghantar pada sisi JTR sebesar 800 m mengakibatkan terjadinya *drop* tegangan di ujung sisi pelanggan. Pada gardu distribusi GT.SRI024 terjadi *drop* tegangan pada jurusan A yakni melebihi batas toleransi yaitu $\pm 5\%$ 10% dari tegangan nominal (SPLN No.1 1995), terjadi jatuh tegangan terbesar pada tegangan ujung JTR fasa R sebesar 21,5%. Untuk itulah dibuat sebuah solusi pemasangan transformator sisipan dan atau *uprating* transformator yang nantinya akan mengurangi beban lebih dan dapat memperbaiki nilai *drop* tegangan di ujung pelanggan pada transformator. Transformator ini terdiri dari dua jurusan dan terletak di KP. Bonto Cinde, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.

II. KAJIAN LITERATUR

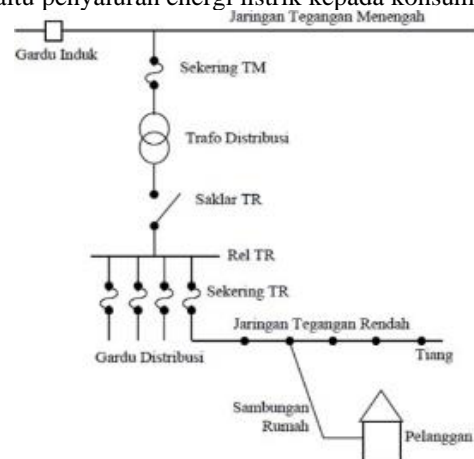
A. Sistem Tenaga Listrik

Struktur tenaga listrik atau sistem tenaga listrik sangat besar dan kompleks karena terdiri atas komponen peralatan atau mesin listrik seperti generator, transformator, beban, dan alat-alat pengaman dan pengaturan yang saling dihubungkan membentuk suatu sistem yang digunakan untuk membangkitkan, menyalurkan, dan menggunakan energi listrik. Namun

secara mendasar sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan atas 3 bagian utama, yaitu :

1. Sistem Pembangkitan : Pusat pembangkit tenaga listrik biasanya terletak jauh dari pusat-pusat beban dimana energi listrik digunakan.
2. Sistem Transmisi : Energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit listrik yang jauh disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi menuju Gardu Induk (GI).
3. Sistem Distribusi : Energi listrik dari gardu-gardu induk akan disalurkan oleh sistem distribusi sampai kepada konsumen.

Ketika bagian utama (pembangkitan, transmisi, dan distribusi) tersebut menjadi bagian dan harus saling mendukung untuk mencapai tujuan utama sistem tenaga listrik yaitu penyaluran energi listrik kepada konsumen.

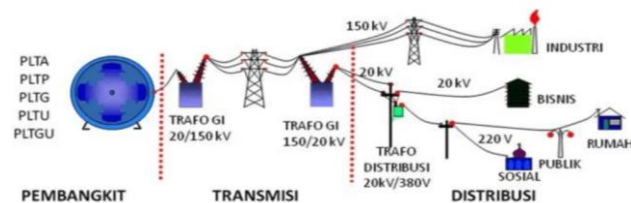


Gambar 1 Hubungan TM ke TR dan Konsumen (Sumber : Buku PLN 4)

B. Proses Penyaluran Tenaga Listrik

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat listrik (*power station*), seperti PLTA, PLTU, PLTP, dan PLTG. Pusat-pusat pembangkit listrik tersebut umumnya jauh dari daerah-daerah dimana energi listrik itu digunakan yang disebut sebagai pusat-pusat beban (*load centres*). Kemudian disalurkan melalui saluran transmisi, setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan yang berada di pusat listrik. Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan di gardu induk (GI), dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah misalnya dari 500 kV ke 150 kV, atau dari 150 kV ke 70 kV, dan sebagainya. Kemudian penurunan kedua dilakukan di gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20 kV. Tegangan 20 kV ini disebut tegangan distribusi primer. Jaringan setelah keluar dari gardu induk biasa disebut jaringan distribusi, sedangkan jaringan antara pusat listrik dan gardu induk biasa disebut dengan jaringan transmisi, baik saluran transmisi atau pun saluran distribusi ada yang berupa saluran udara dan ada yang berupa kabel tanah.

Setelah melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah atau jaringan distribusi sekunder dengan tegangan 380 V atau 220 V. Melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) melalui sambungan rumah hingga ke alat pengukur dan pembatas dirumah-rumah pelanggan atau bisa disebut kWh Meter.



Gambar 2 Bagan Sistem Penyaluran Energi Listrik (Sumber : Buku Rangkaian Listrik Arus Searah)

C. Gardu Distribusi

Salah satu komponen dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen dalam mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun tegangan rendah (Luase, 2015). Pada buku 4 PLN, dicantumkan macam-macam gardu distribusi, antara lain:

1. Gardu Beton

Gardu distribusi jenis beton dibangun permanen pada lokasi yang telah ditentukan. Umumnya gardu beton dibangun untuk konsumen atau daerah perkotaan yang sudah mantap plan analoginya. “Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.” (Buku PLN 4)

2. Gardu Kios

Bangunan terbuat dari konstruksi baja atau fiberglass atau kombinasinya, dimana gardu ini dapat dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun

gardu beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas trafo yang terpasang terbatas, berdasarkan (PLN Buku 4).

3. Gardu Portal

Gardu portal adalah gardu trafo secara keseluruhan instalasinya dipasang pada dua buah tiang atau lebih. Pengaman gardu portal adalah Fuse Cut Out (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dan Lightning Arrester (LA) sebagai sarana pencegahan naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir (PLN Buku 4).



Gambar 3 Gardu Portal

4. Gardu Cantol

Pada gardu distribusi tipe ini, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya kurang lebih 100 kVA fasa 3 atau fasa 1, lebih kecil di bandingkan dengan dengan gardu lainnya. Namun kelebihan transformator sudah dilengkapi peralatan switching dan proteksi jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yang terpasang dalam tangki transformator (PLN Buku 4).

D. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik. Melalui jaringan distribusi ini disalurkan tenaga listrik kepada para pemanfaat/pelanggan listrik. JTR berfungsi menyalurkan tegangan listrik dari gardu distribusi kekonsumen pada tegangan rendah 230 V dan 400 V yang digunakan PLN. Umumnya dari setiap gardu distribusi keluar empat jurusan jaringan sekunder secara radial, dimana setiap jurusan terdiri empat kawat, tiga kawat fasa dan satu kawat netral.

E. Transformator Distribusi

Transformator merupakan salah satu peralatan tegangan yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dan menurunkan tegangan keluaran pada sistem pendistribusian energi listrik. Untuk mengatasi hal tersebut, maka peralatan yang digunakan adalah transformator yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu: transformator step-up yang dapat menaikkan tegangan dan Transformator *step down* untuk menurunkan tegangan. (Okdiansyah, 2017) Tujuan dari transformator distribusi adalah untuk menaikkan dan menurunkan tegangan utama dari sistem distribusi listrik untuk tegangan pemanfaatan penggunaan konsumen. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step-down* 20kV/400V.

F. Manajemen Transformator

Manajemen trafo adalah cara pengelolaan trafo distribusi yang bertujuan untuk meningkatkan kehandalan dan kualitas suatu jaringan distribusi. Ada beberapa cara dalam melakukan Manajemen Trafo antara lain:

1. Menukar transformator atau mutasi transformator (*change*) antar transformator yang mengalami *overload* dan pembebanan rendah yang sudah terpasang.
2. Mengalihkan sebagian beban (daya terpasang) yang dipikul Transformator yang telah mengalami *overblast* ke Transformator terdekat yang masih memungkinkan untuk dapat memikul beban tambahan.
3. Menyisipkan transformator baru diantara transformator yang telah mengalami *overblast/overload* dengan beban yang paling ujung (sisi pelanggan) atau dengan kata lain menambahkan transformator sisipan.
4. Mengganti transformator yang mengalami *overload/overblast* dengan menaikkan kapasitas transformator (*uprating*).

G. Transformator Sisipan

Membantu transformator distribusi yang sudah ada, yang mengalami pembebanan berlebih atau untuk memperbaiki keadaan dimana jaringan mengalami jatuh tegangan yang tinggi. Hal ini dengan cara memindahkan beban dari satu saluran kepada satu saluran yang berbeda dari transformator yang sudah ada ke transformator sisipan.

Beberapa faktor yang dipertimbangkan oleh PT.PLN untuk menambah transformator atau gardu sisipan adalah :

- Trafo sebelumnya sudah *overload*

Overload terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul trafo dimana arus beban melebihi arus beban penuh (full load) dari trafo. *Overload* akan menyebabkan trafo menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang menyebabkan besarnya jatuh tegangan pada JTR.

- Besarnya jatuh tegangan pada JTR

Menurut SPLN No.1 tahun 1995 bahwa jatuh tegangan minimum - 10% terhadap tegangan nominal

H. Uprating Transformator

Dalam pendistribusian sistem tenaga listrik, transformator sering mengalami beban lebih. Beban lebih (*overload*) terjadi karena kebutuhan dalam masyarakat yang semakin meningkat atau karena adanya gangguan beban dalam penyaluran yang mengakibatkan transformator menjadi panas atau terjadi hubung singkat. Dengan adanya peningkatan beban yang terjadi, maka perlu adanya penambahan kapasitas daya pada transformator distribusi tersebut guna memenuhi kualitas dan kapasitas pelayanan sesuai kebutuhan pelanggan atau konsumen.

I. Drop Tegangan Jaringan Tegangan Rendah

Besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. *Drop* tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran

dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya drop tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Tegangan *drop* secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar drop tegangan di ujung diterima 10%.

$$\Delta V = (V_s - V_r) / V_r \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

V_s = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan

Drop tegangan merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Sehingga terdapat tiga komponen utama yang mempengaruhi besarnya drop tegangan antara lain :

- a. Beban yang mengalir pada saluran.
- b. Tahanan (R) dan Reaktansi (L X) pada saluran.
- c. Panjang Saluran
- d. Faktor daya

1. Beban

Semakin besar arus yang mengalir pada saluran maka akan semakin besar pula drop tegangannya, sehingga tegangan pada ujung penerimaan akan menjadi rendah. Besarnya arus/beban tergantung dari pembebanan sistem distribusi. Karena pemakaian dari beban ini tidak bersamaan dalam penggunaannya sehingga mengakibatkan beban di setiap fasanya tidak seimbang, ketidakseimbangan beban setiap fasanya mengakibatkan penghantar netral yang dipasok dari transformator distribusi dengan sistem 3 fasa 4 kawat mengalir arus dan hal ini sangat merugikan pada pasokan tenaga listrik.

2. Tahanan (R) dan Nilai Reaktansi (L X)

Besarnya nilai tahanan dari suatu penghantar / saluran dapat dilihat dari rumus berikut :

$$R = \rho L / A \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

R = Resistansi (ohm)

ρ = Koefisien jenis penghantar

A = Luas penampang penghantar (mm²)

L = Panjang penghantar (m)

3. Panjang Saluran

Dalam sistem jaringan distribusi tenaga listrik, *drop* tegangan secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran. Semakin besar panjang saluran, maka semakin besar pula nilai drop tegangan. Hal ini disebabkan dalam saluran terdapat tahanan yang dapat menghambat arus yang mengalir ke beban.

4. Faktor Daya

Hal yang penting dalam jaringan distribusi, pada kondisi faktor daya rendah, arus yang mengalir akan meningkat. Sehingga, drop tegangan pada penghantar akan menjadi lebih besar. Pengaruh dari drop tegangan akan mengakibatkan buruknya nilai regulasi tegangan pada sistem.

Ketika faktor daya bernilai rendah, drop tegangan akan menjadi besar, sehingga nilai tegangan di ujung pelanggan menjadi kecil bila dibandingkan dengan nilai tegangan di sisi pengirim ketika pada kondisi tanpa beban, dimana arus tidak ada yang mengalir.

5. Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots (3)$$

Di mana:

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (V)

I = Arus (A)

Sehingga , untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan persamaan :

$$IFL = S / (V \cdot \sqrt{3}) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

IFL= Arus beban Penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (V)

Menurut Frank D. Petruzella, dalam menghitung persentase pembebanan suatu transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{beban} = (I_{rata-rata} / IFL) \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Rumus untuk menghitung Irata-rata adalah :

$$I_{rata-rata} = (I_r + I_s + I_t) / 3 \dots \dots \dots (6)$$

dimana :

Irata-rata = rata-rata arus beban (A)

IFL= arus beban penuh (A)

Ir= arus fasa R (A)

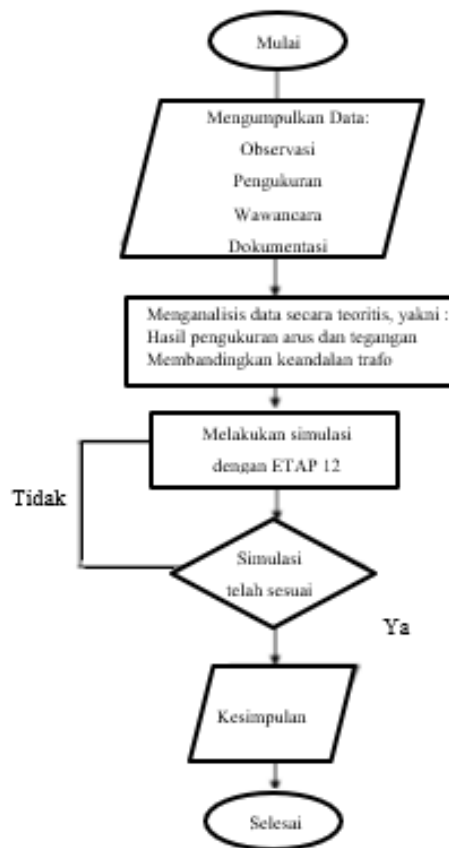
Is= arus fasa S (A)

It= arus fasa T (A)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas tentang perbedaan penggunaan transformator sisipan dan *uprating* transformator dalam mengatasi jatuh tegangan pada transformator sisipan pada jaringan tegangan rendah gardu distribusi GT. SRI024 penyulang Pajalau. Namun untuk mencapai tujuan penelitian ini, maka pembahasan hanya dibatasi pada perhitungan persentase jatuh tegangan pada gardu distribusi GT. SRI024 penyulang Pajalau setelah dilakukan pemasangan transformator sisipan, perbandingan keandalan dan biaya ekonomis pada pemasangan transformator sisipan atau *uprating* transformator, serta kondisi transformator jika dilakukan *uprating* transformator dengan mensimulasikannya menggunakan program ETAP.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan manajemen trafo dengan metode pemasangan trafo sisipan pada jarak 450 m dari trafo sebelumnya dengan pertimbangan nilai pembebanan pada jurusan A antara trafo GT. SRI024 dan GT. SPJ001 tidak jauh berbeda yang telah dianalisa dari hasil metode pengukuran. Selain itu, dilakukan pula simulasi menggunakan ETAP untuk mengatasi nilai *drop* tegangan.



Gambar 4. Flowchart penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Transformator Distribusi GT SRI024

Dalam penelitian ini, mengambil data pada transformator distribusi GT. SRI024 yang merupakan salah satu transformator distribusi yang ada pada Penyulang Pajalau di PT. PLN (Persero) ULP Sungguminasa, UP3 Makassar Selatan. Gardu ini merupakan tipe gardu portal yang melayani konsumen umum.

B. Data Teknis dan Pengukuran Gardu

Data Pengukuran Gardu Sebelum Sisip Gardu

Tabel 1. Data pengukuran arus gardu GT.SRI024 sebelum sisip gardu

Data Trafo			Penampang	Hasil pengukuran Beban (A)			
KVA	Vp/Vs	Jur		R	S	T	N
200	20/0.4 kV	A	NFGbY 4 x 70 mm ²	194	183	190	86
		B	NFGbY 4 x 70 mm ²	38	50	71	54
		Total		232	233	261	

Tabel 2. Data pengukuran tegangan gardu GT.SRI024 sebelum sisip gardu

JURUSAN	TEGANGAN PANGKAL (V)				TEGANGAN UJUNG (V)			
	R	S	T	F-F	R	S	T	F-F
A	226	227	226	390	186	187	188	375
B	226	227	226	390	219	217	215	383

Tabel 3. Data pengukuran arus gardu GT.SRI024 setelah sisip gardu

Data Trafo			Penampang	Hasil pengukuran Beban (A)			
KVA	Vp/Vs	Jur		R	S	T	N
200	20/0.4 kV	A	NFGbY 4 x 70 mm ²	120	15	125	23
		B	NFGbY 4 x 70 mm ²	39	51	72	26
		Total			159	166	197

Tabel 4. Data pengukuran tegangan gardu GT.SRI024 setelah sisip gardu

JURUSAN	TEGANGAN PANGKAL 6(V)				TEGANGAN UJUNG (V)			
	R	S	T	F-F	R	S	T	F-F
A	228	227	228	394	215	214	214	393
B	228	227	228	394	220	219	220	395

Hasil Perhitungan

a. Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan Sebelum Sisip Gardu

Persentase jatuh tegangan pada transformator distribusi GT.SRI024 digunakan persamaan (1):

$$\Delta V(R) = (V_s - V_r) / V_r \times 100\%$$

$$\Delta V(R) = (226 - 186) / 186 \times 100\% = 21.5\%$$

Untuk mengetahui persentase jatuh tegangan untuk masing-masing fasa tiap jurusan maka digunakan rumus di atas. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jatuh tegangan GT.SRI024 sebelum sisip gardu

Jurusan	Jatuh tegangan (%)			
	R	S	T	Rata-rata(%)
A	21.5	21.3	20.2	21
B	3.1	4.6	5.1	4.2

b. Pembebanan Trafo GT,SRI024 Sebelum Sisip Gardu

Untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut, dapat menggunakan persamaan 4.

$$I_{rata-rata} = (232 + 233 + 261) / 3 = 242 \text{ A}$$

Adapun untuk menghitung arus beban penuh (*I Full Load*) dapat menggunakan persamaan 4, yaitu:

$$IFL = (200.000 \text{ VA}) / (400 \cdot \sqrt{3}) = 289 \text{ A}$$

Dengan hasil perhitungan di atas, maka diketahui persentase beban transformator GT. SRI024 dengan menggunakan persamaan 7, yaitu:

$$\% \text{beban GT. SRI024} = (242 \text{ A}) / (289 \text{ A}) \cdot 100\% = 83.7\%$$

Dari hasil perhitungan didapatkan persentase pembebanan transformator GT. SRI024 mengalami beban lebih/overload yang melebihi 80% yaitu sebesar 83.7% sehingga perlu dilakukan pemasangan trafo sisipan atau dengan uprating transformator yang akan disimulasikan dengan menggunakan ETAP 12.6.

c. Perhitungan Persentase Jatuh Tegangan Setelah Sisip Gardu

Nilai persentase jatuh tegangan pada transformator distribusi GT.SRI024 setelah pemasangan transformator sisipan digunakan persamaan (5).

$$\Delta V(R) = (228 - 215) / 215 \times 100\% = 6.04\%$$

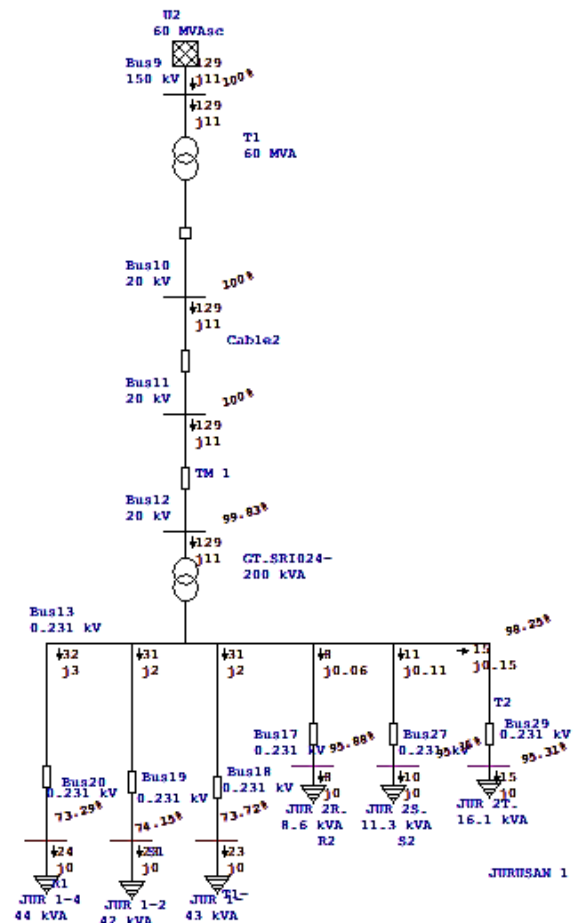
Sehingga hasil perhitungan jatuh tegangan setiap jurusan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Jatuh tegangan setelah sisip gardu

JURUSAN	JATUH TEGANGAN (%)			
	R	S	T	Rata-rata
A	6.04	6.07	6.5	6.2
B	3.63	3.65	3.63	3.63

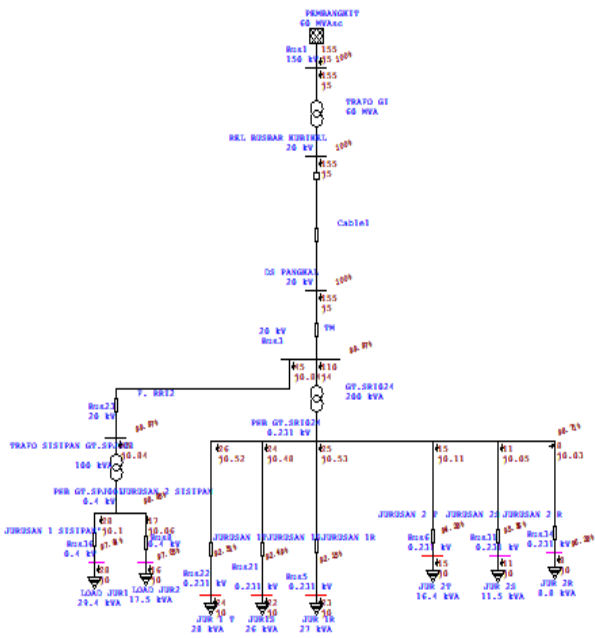
Hasil Simulasi Gardu Distribusi GT.SRI024

a. Hasil simulasi ETAP 12.6 sebelum sisip gardu



Gambar 5. Hasil simulasi ETAP sebelum sisip gardu

b. Hasil simulasi ETAP 12.6 setelah sisip gardu



Gambar 6. Hasil simulasi ETAP setelah sisip gardu

c. Hasil simulasi ETAP setelah *uprating* trafo

Perbandingan persentase jatuh tegangan sebelum dan setelah sisip gardu

Dengan data-data yang didapatkan pada pengukuran yang menunjukkan bahwa terjadi drop tegangan pada jurusan A gardu distribusi GT. SRI024. Selanjutnya dapat dilakukan evaluasi terkait dengan jatuh tegangan dan kesesuaian dengan standar PLN nomor 1995 yaitu $\pm 5\%$ 10% . Hasil perhitungan persentase jatuh tegangan dan simulasi menggunakan software ETAP sebelum dan setelah pemasangan transformator sisipan dibandingkan, maka data dapat dilihat pada tabel 7.

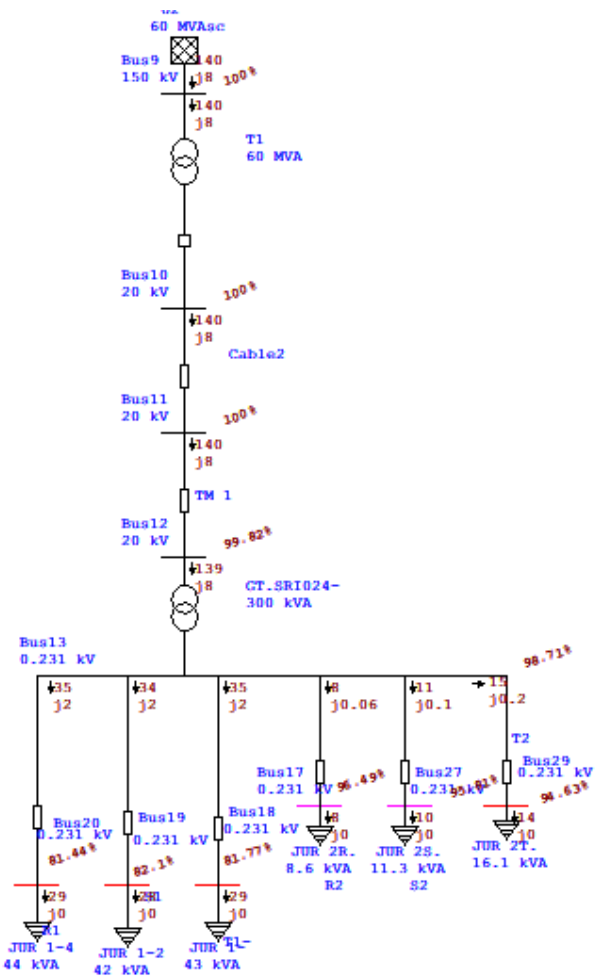
Tabel 7. Persentase jatuh tegangan sebelum dan setelah sisip gardu

Persentase Jatuh Tegangan (%)											
Sebelum Pemasangan Trafo Sisipan						Setelah Pemasangan Trafo Sisipan					
Manual			ETAP			Manual			ETAP		
R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
21,5	21,3	20,2	24,9	24,1	24,5	6,04	6,07	6,5	6,56	6,22	6,21

Perbandingan persentase jatuh tegangan setelah sisip gardu dan *uprating* trafo

Tabel 8. Persentase jatuh tegangan setelah sisip gardu dan *uprating* trafo

Jurusan	Persentase Jatuh Tegangan (%)					
	Pemasangan Trafo Sisipan (Manual)			<i>Uprating</i> Trafo (ETAP)		
	R	S	T	R	S	T
A	6,04	6,07	6,5	17,2	16,6	16,9



Gambar 7. Hasil simulasi ETAP setelah *uprating* trafo

Perbandingan kehandalan trafo sisipan dan *uprating* trafo

- a. Penggunaan Transformator Sisipan
 - Kelebihan :
 - 1) Penggunaan trafo sisipan dalam mengatasi jatuh tegangan dapat mengurangi/mengalami penurunan beban pada sisi JTR karena adanya pembagian beban ke trafo sisipan sehingga persentase pembebanan JTR tidak terjadi lagi jatuh tegangan, panjang penghantar dari JTR menjadi lebih berkurang dibandingkan panjang sebelumnya sehingga jatuh tegangan kembali dalam keadaan normal.
 - 2) Pemasangan trafo sisipan juga memiliki kelebihan dimana pada saat terjadi gangguan, pemadaman aliran listrik lebih sedikit dikarenakan telah dilakukannya pembagian beban pada trafo sisipan.
 - Kekurangan
 - Pemasangan trafo sisipan dalam mengatasi jatuh tegangan dari segi ekonomis membutuhkan biaya ekonomi yang cukup besar dikarenakan adanya pembangunan gardu baru beserta dengan aksesoris-aksesoris gardu yang lengkap.
- b. Penggunaan *Uprating* Transformator
 - Penggunaan *uprating* transformator dapat meningkatkan level tegangan. Selain itu, dengan menggunakan *uprating* transformator juga dapat menurunkan nilai faktor beban yang tadinya melebihi batas maksimum pembebanan transformator

menjadi lebih kecil. Namun penggunaan uprating transformator tidak dapat mengatasi perbaikan drop tegangan, ketika terjadi gangguan pada gardu distribusi tersebut dapat membuat pemadaman listrik yang cukup banyak saat pemeliharaan.

Dari segi pembiayaan ekonomis bila dibandingkan dengan pemasangan trafo sisipan, penggunaan uprating transformator lebih membutuhkan biaya yang lebih sedikit dibandingkan dengan pemasangan trafo sisipan karena hanya dilakukan penggantian trafo ke daya yang kapasitasnya lebih besar dari sebelumnya.

c. Parameter Keandalan

Perbandingan segi keandalan dalam pemasangan trafo sisipan dan uprating trafo mengacu pada parameter tegangan sesuai standar SPLN No. 1 : 1995 yakni $\pm 5\%$ 10% dari tegangan nominal dan batas maksimum pembebanan trafo yakni 80%.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan secara teoritis menunjukkan nilai persentase jatuh tegangan terbesar terdapat pada jurusan A sebesar 21,5% pada fasa R dan setelah dilakukan pemasangan trafo sisipan nilai persentase tegangan membaik pada ujung JTR yakni sebesar 6,04%. Hal ini menunjukkan bahwa *drop* tegangan telah memenuhi standar batas tegangan $\pm 5\%$ 10%. Jika disimulasikan menggunakan ETAP 12.6 didapatkan jatuh tegangan sebesar 24,9% dan setelah dilakukan pemasangan trafo sisipan, nilai jatuh tegangan membaik menjadi 6,21%. Hasil perhitungan persentase jatuh tegangan dengan menggunakan perhitungan teori dan simulasi ETAP diperoleh hasil yang mendekati sama.
2. Jika dibandingkan dari segi keandalan sistem antara pemasangan trafo sisipan dan *uprating* trafo, pemasangan trafo sisipan lebih efektif dikarenakan dapat menanggulangi dua permasalahan sekaligus sedangkan *uprating* trafo hanya dapat menurunkan nilai faktor pembebanan pada trafo sedangkan dari segi ekonomis, penggunaan *uprating* trafo lebih membutuhkan biaya yang lebih sedikit jika hanya terjadi *overload* beban pada trafo dibandingkan dengan pemasangan trafo sisipan.

REFERENSI

- [1] SPLN 1: 1995. SPLN Tentang Tegangan-Tegangan Standar. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
- [2] PT PLN (Persero) 2010. Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik. Buku 4. Jakarta.
- [3] Nur Syahbani, Indah A . 2018. Perbandingan Antara Penggunaan Transformator Sisipan dan Uprating

- Transformator Dalam Mengatasi Drop Tegangan pada Gardu GT. SBR059 Penyulang Barombong. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [4] Ni Made Seniari, M. Najmul Fadli, I Made Ginarsa, 2020. Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan pada Saluran Transformator Distribusi Penyulang Pagutan. NTB : Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- [5] Azis, Muhammad. 2019. Studi Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Regresi Linier dan Koefisien Energi di Gardu Induk Kebun Jeruk. Jakarta.
- [6] Syufrijal, Readysal Monantun. 2014. Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta:Kementrian Pendidikan Dasar Menengah dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- [7] PT PLN (Pesero) 2010, Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik, Buku 3 PLN , Kelompok Kerja Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dan Pusat Kegiatan Sains dan Teknologi Universitas Indonesia. Jakarta
- [8] Politeknik Negeri Ujung Pandang. 2016. Pedoman Penulisan Proposal dan Laporan Tugas Akhir Program Diploma Tiga (D-3) Bidang Rekayasa dan Tata Niaga. Makassar.
- [9] Pabla, AS. 1994. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta:Erlangga.
- [10]Hasyim, Hardiana. 2017. Analisis Penambahan Transformator Sisipan pada Penyulang Racing di PT PLN (Persero) Rayon Makassar Selatan. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [11]Erli Pratiwi. 2020. Pemasangan Transformator Sisipan untuk Reduksi Jatuh Tegangan pada JTR Daerah Sumbarrang. Politeknik Negeri Ujung Pandang.