

# **SIMULASI PENEMPATAN TRANSFORMATOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI BERDASARKAN JATUH TEGANGAN MENGGUNAKAN ETAP *POWER STATION* 12.6.0**

**Fajar Dwi Safitri<sup>1</sup>, Henry Ananta<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang  
email : fajardwisafitri98@gmail.com

## ***ABSTRACT***

*Channeling electrical energy from the power plant to the load experiences a voltage drop. This happens because the number of PLN consumers are increasing every year that gives impact on increasing network length and the burden that must be supplied. This study aims to analyze the voltage drop on the KLS06 feeder. To do these calculations ETAP Power Station12.6.0 software is used using the Newton-Raphson method. The KLS 06 Feeder distribution network is included in the working area of PT PLN (Persero) UP3 Semarang. In the 3 phase 50 kV distribution transformer with KLS06-110 number, the load exceeds the standard limits. So that the Bus24 experienced a voltage drop of 3.75%. Based on SPLN 72: 1987 the maximum allowable voltage drop in JTR is 4%.. To maintain the quality of the voltage and anticipate the occurrence of falling voltage is greater due to the burden of load, it is necessary to perform the insert of a connected transformer with the transformer KLS06-110. From the analysis of the result after the transformer is obtained the value of falling voltage at Bus24 is reduced by 1.75% so the value becomes 2%.*

**Keywords:** *Distribution Network, Transformer, Voltage Drop*

## **ABSTRAK**

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban mengalami jatuh tegangan. Hal ini terjadi karena jumlah konsumen PLN tiap tahunnya meningkat sehingga mengakibatkan jaringan bertambah panjang dan beban yang harus disuplai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jatuh tegangan pada Penyulang KLS06. Untuk melakukan perhitungan tersebut digunakan *software* ETAP *Power Station*12.6.0 dengan menggunakan metode *Newton-Raphson*. Jaringan distribusi Penyulang KLS 06 termasuk wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Semarang. Pada transformator distribusi 3 fasa 50 kV Penyulang KLS06-110 mengalami pembebanan yang melebihi batas standar. Sehingga pada Bus24 mengalami jatuh tegangan sebesar 3,75%. Berdasarkan SPLN 72: 1987 batas maksimum jatuh tegangan yang diijinkan pada JTR yaitu 4%. Untuk mempertahankan kualitas tegangan dan mengantisipasi terjadinya jatuh tegangan yang lebih besar akibat penambahan beban, maka perlu dilakukan sisip transformator secara paralel dengan transformator KLS06-110. Dari hasil analisis setelah dilakukan sisip transformator didapat nilai jatuh tegangan pada Bus24 berkurang 1,75% sehingga nilainya menjadi 2%.

**Kata kunci:** Jaringan Distribusi, Transformator, Jatuh Tegangan

## **PENDAHULUAN**

Pertumbuhan penduduk dan pembangunan industri-industri di Indonesia semakin pesat. Begitu pula dengan kebutuhan akan energi listrik yang tiap tahunnya ikut meningkat. Supaya energi listrik yang dibangkitkan bisa sampai ke pelanggan, maka

perlu disalurkan melalui sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari pusat pembangkitan, saluran transmisi, dan saluran distribusi. Pada penyalurannya dari pusat pembangkitan menuju ke beban melalui suatu jaringan yang sangat jauh. Seiring dengan bertambahnya waktu dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia, jumlah konsumen yang

tersambung ke jaringan PLN juga semakin bertambah. Sehingga kondisi jaringan listrik yang terpasang pun juga turut berubah menjadi lebih panjang. Jarak dari transformator distribusi menuju ke beban jadi lebih jauh. Sehingga penempatan transformator sudah tidak tepat lagi.

Kasus jatuh tegangan sering sekali terjadi pada sistem jaringan listrik di berbagai daerah karena terjadinya penambahan beban yang tersambung. Untuk memberikan pelayanan yang baik dan agar tidak menimbulkan kerugian pada konsumen, Perusahaan Listrik Negara (PLN) harus menjaga kualitas tegangan pada jaringan. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya-upaya agar jaringan distribusi selalu dalam kondisi baik.

Adapun upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki profil tegangan pada jaringan distribusi yaitu pemasangan transformator baru (sisip transformator). Pada penelitian ini dilakukan perhitungan dan analisis jatuh tegangan serta analisis efektifitas penempatan transformator pada penyulang Kalisari (KLS) 06 sebagai upaya untuk perbaikan jatuh tegangan pada jaringan. Selain itu dalam penelitian ini juga disimulasikan menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0 untuk memastikan tingkat efektifitas dari perencanaan perbaikan tegangan tersebut.

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Pada jaringan distribusi terbagi dalam dua bagian yaitu Jaringan Tegangan Menengah dan Jaringan Tegangan Rendah. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menyuplai konsumen pada daerah industri berukuran menengah, daerah perumahan kota besar dan daerah pedesaan dari trafo gardu induk, sedangkan tegangan rendah biasanya dipergunakan untuk mensuplai perumahan dan daerah industri ringan di kota-kota dan pedesaan dari trafo-trafo distribusi (Daryanto, 2002: 26).

Transformator yaitu suatu alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Menurut Salman (2017), kriteria-kriteria transformator distribusi yang sering digunakan, yaitu transformator distribusi umumnya digunakan adalah transformator *Step Down* 20 KV/400. Tegangan fasa ke fasa jaringan rendah adalah 380 V. Karena terjadi *drop* tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat menjadi 400 V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 V. Transformator distribusi dapat berfasa tunggal atau tiga fasa dan kapasitasnya kira-kira 5 kVA. Impedansi transformator distribusi pada umumnya sangat rendah, kira-kira 2% untuk unit-unit yang kurang dari 50kVA dan sampai 4% untuk unit-unit yang lebih besar dari 100 KVA.

Salah satu komponen utama dalam saluran distribusi yaitu penghantar. Jenis penghantar yang digunakan dalam sistem distribusi yaitu kawat dan kabel. Jenis penghantar kawat yang sering digunakan yaitu *All Aluminium Conductor* (AAC) dan *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC). Sedangkan penghantar kabel yang sering dipakai dalam jaringan distribusi PLN yaitu kabel AAAC-S dan XLPE.

Tabel 1. Konstanta Jaringan Kawat Penghantar AAAC Menurut SPLN 64 Tahun 1985

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Impedansi (Ohm/Kms)	KHA (A)
AAAC 240	0,1344 + j0,3158	585
AAAC 150	0,2162 + j0,3305	425
AAAC 70	0,4608 + j0,3572	155
AAAC 50	0,6452 + j0,3678	210

Daya yang dibangkitkan sebuah perangkat listrik sebanding dengan besarnya arus yang mengalir melewatinya. Daya juga sebanding dengan tegangan yang menggerakkan arus tersebut. Semakin besar arus dan semakin besar gaya gerak listriknya, semakin besar pulalah daya yang dihasilkan. Daya listrik dibedakan menjadi tiga yaitu: 1)

Daya Semu (S), merupakan daya keseluruhan yang dikeluarkan, dan juga kapasitor generator. Satuannya yaitu kVA (kilovolt ampere) atau MVA (megavolt ampere), 2) Daya Nyata (P) yang digunakan untuk menggerakkan atau menyalakan peralatan-peralatan listrik seperti setrika, motor listrik, kulkas, dan lain-lain, 3) Daya Reaktif, merupakan daya yang tidak bisa digunakan akibat pengaruh harga reaktansi dan beban. Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu.

Nilai faktor daya dalam suatu saluran mempengaruhi besarnya arus yang mengalir pada saluran tersebut. Nilainya yaitu antara 0 sampai dengan 1. Terlalu rendah nilai faktor daya dapat mengakibatkan rugi yang sangat besar pada saluran.

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik. Salah satu penyebab terjadinya jatuh tegangan yaitu bertambahnya beban atau konsumen yang tersambung.

Menurut Abrar Tanjung (2014:164), terdapat dua komponen yang mempengaruhi terjadinya penurunan tegangan yaitu:

- $I \times R_s$ , yaitu rugi-rugi tegangan yang diakibatkan oleh tahanan saluran
- $I \times X_l$  yaitu rugi-rugi tegangan yang diakibatkan oleh reaktansi induktif saluran.

Sehingga besarnya jatuh tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta V = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi$$

$$\Delta V = I \times Z$$

Untuk menghitung besarnya hambatan (R) digunakan rumus:

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

Keterangan:

- $\Delta V$  : Jatuh tegangan (volt)
- I : Arus yang mengalir (ampere)
- R : Tahanan saluran (ohm)
- X : Reaktansi (Ohm)
- $\varphi$  : Sudut dari faktor daya beban

Z : Impedansi saluran

$\rho$  : tahanan jenis penghantar ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )

Berdasarkan SPLN 72: 1987 batas maksimum *drop* tegangan yang diijinkan adalah sebagai berikut:

- Drop* tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah = 5%
- Drop* tegangan pada trafo = 3%
- Drop* tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah = 4%
- Drop* tegangan pada Saluran Pelayanan = 1%

Untuk menghitung presentase jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan digunakan rumus:

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

Keterangan:

$V_s$  = tegangan pada pangkal pengiriman

$V_r$  = tegangan pada ujung penerimaan

ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak (*software*) yang mendukung sistem tenaga listrik. Aplikasi ini dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi, sistem harmonisa dan lain sebagainya (Hayusman, Hidayat & Saleh, 2017: 8).

Software ETAP Power Station dilengkapi dengan fasilitas *Library* yang data-datanya dapat diubah sesuai dengan yang sebenarnya pada komponen-komponen yang digunakan. Selain itu untuk mendukung dalam pembuatan simulasi aplikasi ini dilengkapi dengan banyak *tool* yang melambangkan suatu komponen yang digunakan dalam jaringan yang akan dianalisa.

Analisis aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya jatuh tegangan di sisi

beban (Multa & Aridani, 2013). Menurut Sulasno (1993), terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk perhitungan aliran daya yaitu Metode *Gauss-Seidel* dan Metode *Newton-Raphson*. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kelemahan.

Kelebihan yang dimiliki dari metode *Gauss-Seidel* yaitu:

- Pemrograman dan perhitungannya relative lebih mudah.
- Hanya butuh sedikit nilai masukan.
- Waktu tiap iterasi singkat.
- Metode ini cocok digunakan pada sistem tenaga listrik yang jaringannya sedikit.

Sedangkan kelemahan dari metode *Gauss-Seidel* ini yaitu:

- Kecepatan perhitungannya sedikit lebih lambat
- Tidak cocok untuk sistem radial karena tidak dapat mencapai konvergen.
- Semakin banyak simpul maka akan semakin banyak pula iterasi yang diperlukan. Jumlah iterasi juga akan berubah ketika bus referensinya diganti dengan bus lain.
- Tidak cocok untuk sistem jaringan yang banyak.

Metode *Newton-Raphson* (N-R) merupakan hasil perkembangan dari metode *Gauss-Seidel* yang lebih disempurnakan. Metode N-R dianggap lebih efektif dan menguntungkan untuk sistem jaringan yang lebih besar. Selain itu juga dapat menutup kelemahan dari metode *Gauss-Seidel* yaitu tingkat ketelitiannya lebih baik, kemudian membutuhkan jumlah iterasi yang lebih sedikit dan mampu menghitung dengan waktu yang lebih cepat. Menurut Martínez-Molina dan Ledezma (2016), metode N-R telah berhasil membuktikan dalam sebagian besar kasus bahwa memiliki karakteristik konvergensi yang kuat.

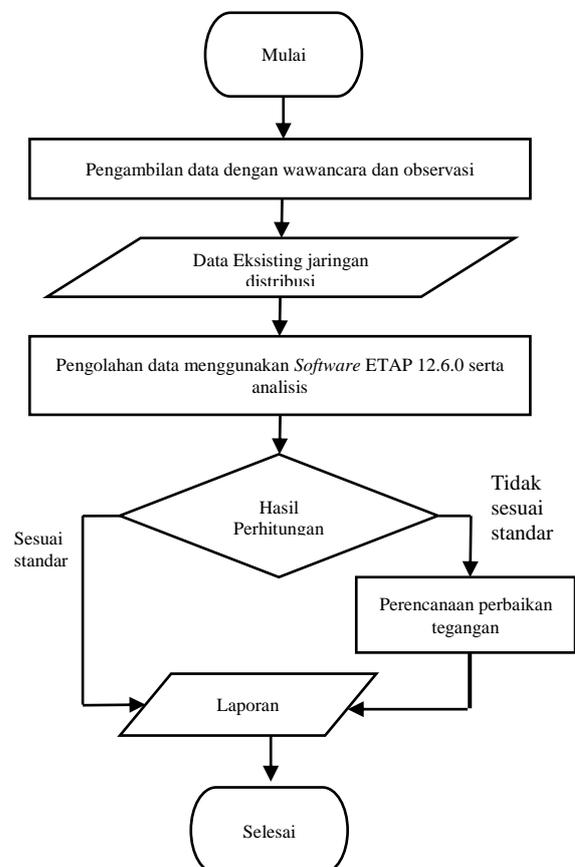
Selain dua metode di atas, dalam ETAP untuk melakukan kalkulasi aliran daya ada satu

lagi metode tambahan yaitu metode *Fast Decoupled*. Kelebihan serta kelemahan dari metode ini yaitu baik untuk sistem jaringan radial dan jaringan yang panjang serta cepat dalam penghitungan akan tetapi memiliki tingkat presisi yang kurang.

## METODE

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu statistik deskriptif. Teknik ini digunakan untuk menganalisis data yang telah terkumpul tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum.

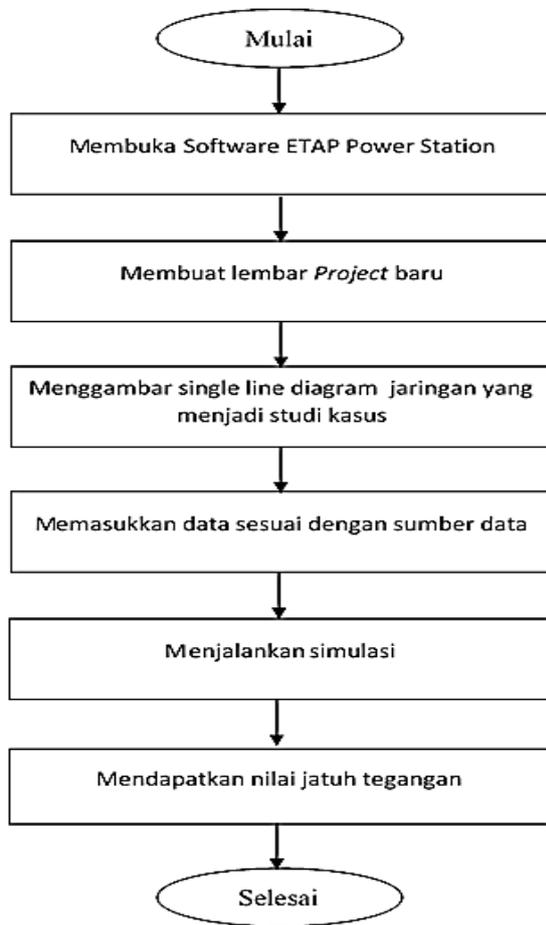
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2019 di PT PLN (Persero) UP3 Semarang. Obyek penelitian ini yaitu Penyulang Kalisari (KLS) 06. Supaya tujuan penelitian dapat tercapai sesuai dengan yang diharapkan, diperlukan perencanaan prosedur penelitian terlebih dahulu. Berikut ini adalah *flowchart* prosedur penelitian.



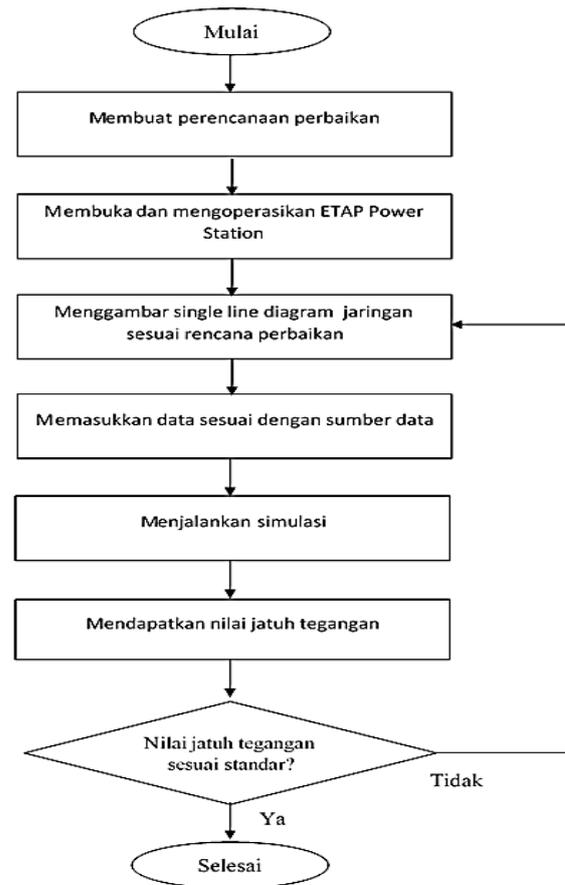
Gambar 1. *Flowchart* Prosedur Penelitian

Aplikasi yang digunakan untuk menghitung dan menganalisis data-data yang sebelumnya telah terkumpul yaitu dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk mengetahui jatuh tegangan yang terjadi pada sepanjang jaringan masih memenuhi standar toleransi atau tidak.

Perencanaan perbaikan tegangan dilakukan ketika dalam jaringan tersebut terjadi jatuh tegangan melebihi standar yang diijinkan. Untuk mengurangi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi tersebut dilakukan penggeseran transformator distribusi.



Gambar 2. Flowchart Simulasi ETAP Power Station



Gambar 3. Flowchart Perencanaan Perbaikan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menganalisis tata letak transformator, perlu diketahui besarnya nilai jatuh tegangan yang terjadi pada saluran distribusi pada penyulang KLS 06. Untuk melakukan analisis tersebut diperlukan data-data sebagai masukannya diantaranya yaitu: data transformator utama, data trafo utama, kapasitas dan beban trafo, luas penampang dan panjang kabel yang digunakan, serta *Single Line Diagram* Penyulang Kalisari 06 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Transformator

Gardu Induk	Data Transformator			
	Unit	Daya (MVA)	Teg. Sec (kV)	In (A)
Kalisari	I	60	20	1732

Pada Sistem Distribusi 20 kV Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Semarang Barat terdapat dua trafo utama yang dipakai yaitu Trafo merk Xian dengan kapasitas 60 MVA yang digunakan untuk menyuplai 12 *feeder*. Untuk *Feeder* (Penyulang) Kalisari 06 disuplai oleh transformator 1.

Penghantar yang digunakan pada saluran distribusi Pengulang Kalisari 06 yaitu AAAC dengan luas penampang 240 mm<sup>2</sup> dan 150 mm<sup>2</sup> dengan impedansi sebesar  $R_1= 0,1344$  ohm/km,  $jX_1= 0,3158$  ohm/km,  $R_0= 0,3631$  ohm/km dan  $jX_0= 1,6180$ . Data saluran antar gardu distribusi tiga fasa yang digunakan pada Penyulang Kalisari 06 dan data beban yang tersambung ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Data Saluran Penyulang Kalisari 06

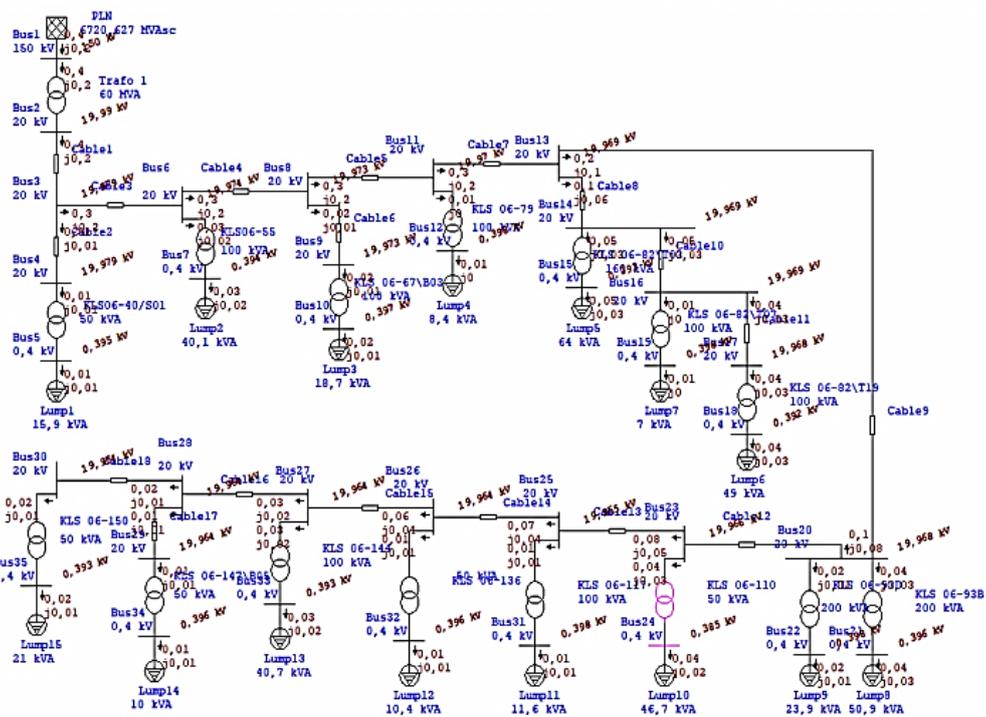
No	ID	Jarak (km)
1	Cable1	2,00
2	Cable2	0,05
3	Cable3	0,75
4	Cable4	0,65
5	Cable5	0,60
6	Cable6	0,15
7	Cable7	0,15
8	Cable8	0,15
9	Cable9	0,55
10	Cable10	0,20
11	Cable11	0,60
12	Cable12	0,85
13	Cable13	0,35
14	Cable14	0,95
15	Cable15	0,40
16	Cable16	0,15
17	Cable17	0,25
18	Cable18	0,15

Sebelum melakukan perhitungan jatuh tegangan pada jaringan distribusi Kalisari 06 hal pertama yang harus dilakukan yaitu menggambar *Single Line Diagram* (SLD). Metode yang digunakan dalam simulasi ini yaitu metode *Newton Raphson* karena jika dibandingkan dengan metode *Gauss-Siedel* tingkat ketelitiannya lebih baik, kemudian membutuhkan jumlah iterasi yang lebih sedikit dan mampu menghitung dengan waktu yang lebih cepat.

Pada hasil simulasi menggunakan ETAP *Power Station* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 terdapat komponen yang berwarna merah, ungu, dan hitam. Arti dari masing-masing warna yaitu merah menunjukkan tegangan pada komponen tersebut dalam kondisi kritis yang menandakan harus dilakukan evaluasi, komponen berwarna ungu artinya tegangan pada komponen tersebut dalam kondisi *marginal* yaitu melebihi kapasitas akan tetapi masih dalam batas toleransi. Sedangkan untuk komponen yang berwarna hitam artinya tegangan pada komponen tersebut masih dalam kategori aman atau sesuai standar.

Tabel 3. Data Beban di Penyulang Kalisari 06

No	Nomor Gardu	Kapasitas Daya (KVA)	R	S	T	Beban Riil (kVA)	Presentase Pembebanan (%)
1	KLS 06-40\S01	50	28	16,9	27,4	15,9	31,8
2	KLS 06-55	100	72,8	59,1	50,2	40,1	40,1
3	KLS 06-67\B03	100	21.1	21.5	42.4	18,7	18,7
4	KLS 06-79	100	6.3	18.9	13.2	8,45	8.45
5	KLS 06-82\T03	160	108	73	110	64,02	40,01
6	KLS 06-82\T07	100	4.5	17.2	10.3	7,04	7.04
7	KLS 06-82\T19	100	58,8	127,7	36,2	48,99	48,99
8	KLS 06-93B	200	73.1	100	58,1	50,86	25,43
9	KLS 06-93D	200	18.2	51.4	39	23,89	11.95
10	KLS 06-110	50	75,4	69,1	67,7	46,7	93,4
11	KLS 06-117	100	19.1	26.7	6.7	11,55	11,55
12	KLS 06-136	50	20.3	11.1	15.8	10,38	20,76
13	KLS 06-144	100	30	65.6	89.3	40,68	40.68
14	KLS 06-147\B05	50	6.1	23.1	16.3	10,01	20,02
15	KLS 06-150	50	25,6	54,9	14,8	20,97	41,94



Gambar 4. Hasil Simulasi Jaringan Eksisting Kalisari 06 Menggunakan ETAP Power Station

Perhitungan jatuh tegangan berikut ini merupakan perhitungan presentase tegangan kirim dan tegangan yang diterima. Besarnya tegangan kirim diasumsikan sebesar 20 kV dan 400 Volt. Kemudian tegangan terima didapat dari hasil simulasi setelah membuat SLD, memasukkan data-data yang diperoleh dari observasi, dan melakukan *running*. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung presentase jatuh tegangan pada jaringan yaitu:

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

Perhitungan jatuh tegangan pada Bus1:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{150 - 150}{150} \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Perhitungan jatuh tegangan pada Bus2:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{20 - 19,99}{20} \\ &= 0,05\% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus di atas maka diperoleh hasil presentase jatuh tegangan yang terjadi seperti yang ditampilkakan pada tabel 4.

Tabel 4. Tegangan Hasil Simulasi ETAP Power Station dan Presentase Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah Penyulang KLS 06

No	Nama	Tegangan (kV)	Jatuh Tegangan (kV)	Tegangan Setelah Jatuh Tegangan (Kv)	Presentase Jatuh Tegangan (%)
1	Bus1	150	0	150	0
2	Bus2	20	0,01	19,99	0,05
3	Bus3	20	0,021	19,979	0,105
4	Bus4	20	0,021	19,979	0,105
5	Bus6	20	0,026	19,974	0,13
6	Bus8	20	0,027	19,973	0,135
7	Bus9	20	0,027	19,973	0,135
8	Bus11	20	0,03	19,97	0,15
9	Bus13	20	0,031	19,969	0,155
10	Bus14	20	0,031	19,969	0,155
11	Bus16	20	0,031	19,969	0,155
12	Bus17	20	0,032	19,968	0,16
13	Bus20	20	0,032	19,968	0,16
14	Bus23	20	0,034	19,966	0,17
15	Bus25	20	0,035	19,965	0,175
16	Bus26	20	0,036	19,964	0,18
17	Bus27	20	0,036	19,964	0,18
18	Bus28	20	0,036	19,964	0,18
19	Bus29	20	0,036	19,964	0,18
20	Bus30	20	0,036	19,964	0,18

Berdasarkan tabel di atas, jatuh tegangan tertinggi yang terjadi pada Jaringan Tegangan Menengah KLS 06 yaitu pada Bus27, Bus28, Bus29, dan Bus30. Keempat bus tersebut paling jauh diantara bus-bus lainnya. Hal ini

membuktikan bahwa semakin jauh penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit mengakibatkan terjadinya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

Tabel 5. Tegangan Hasil Simulasi ETAP Power Station dan Presentase Jatuh Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah Penyulang KLS 06

No	Nama	Tegangan (kV)	Jatuh Tegangan (kV)	Tegangan Setelah Jatuh Tegangan (Kv)	Presentase Jatuh Tegangan (%)
1	Bus5	0,4	0,005	0,395	1,25
2	Bus7	0,4	0,006	0,394	1,5
3	Bus10	0,4	0,003	0,397	0,75
4	Bus12	0,4	0,002	0,398	0,5
5	Bus15	0,4	0,007	0,393	1,75
6	Bus18	0,4	0,008	0,392	2
7	Bus19	0,4	0,002	0,398	0,5
8	Bus21	0,4	0,004	0,396	1
9	Bus22	0,4	0,002	0,398	0,5
10	Bus24	0,4	0,015	0,385	3,75
11	Bus31	0,4	0,002	0,398	0,5
12	Bus32	0,4	0,004	0,396	1
13	Bus33	0,4	0,007	0,393	1,75
14	Bus34	0,4	0,004	0,396	1
15	Bus35	0,4	0,007	0,393	1,75

Tabel 5 menjelaskan bahwa bus yang mengalami jatuh tegangan paling tinggi yaitu Bus24 dengan nilai jatuh tegangan sebesar 3,75%. Sedangkan bus dengan jatuh tegangan paling rendah terjadi pada Bus12, Bus19, Bus22 dan Bus31 sebesar 0,5%.

Menurut SPLN 72: 1987 batas maksimum *drop* tegangan yang diijinkan pada Jaringan Tegangan Menengah yaitu 5% dan pada jaringan Tegangan Rendah batas yang diijinkan yaitu 4%. Jika melebihi dari batas tersebut maka perlu dilakukan perbaikan tegangan.

Dari hasil yang diperoleh pada Tabel 4 diketahui bahwa pada Jaringan Tegangan Menengah di Penyulang KLS 06 terjadi jatuh tegangan akan tetapi masih dalam kondisi aman. Jatuh tegangan yang terjadi masih jauh dari batas maksimal yang diijinkan. Sedangkan

tabel 5 menunjukkan profil tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah. Dari tabel tersebut diketahui ada jatuh tegangan pada bus yang mendekati batas yang diijinkan yaitu pada Bus24. Jatuh tegangan yang terjadi pada bus ini sebesar 3,75%. Bus24 merupakan jaringan dengan tegangan rendah yang memiliki batas maksimal jatuh tegangan yang diijinkan sebesar 4%. Salah satu penyebab dari besarnya nilai jatuh tegangan yang terjadi yaitu karena besarnya beban yang harus disuplai oleh trafo.

Menurut Narottama *et al.* (2014: 126), pembebanan ideal pada transformator distribusi yaitu <80%. Sedangkan pada Tabel IV, trafo dengan nomor gardu KLS06-110 menunjukkan beban yang harus disuplai yaitu sebesar 93,4% dari kapasitasnya. Sehingga pembebanan pada trafo tersebut dapat dikatakan melebihi bata standar. Dampak yang diberikan akibat beban

berlebih pada trafo selain jatuh tegangan yaitu kerusakan trafo tersebut.

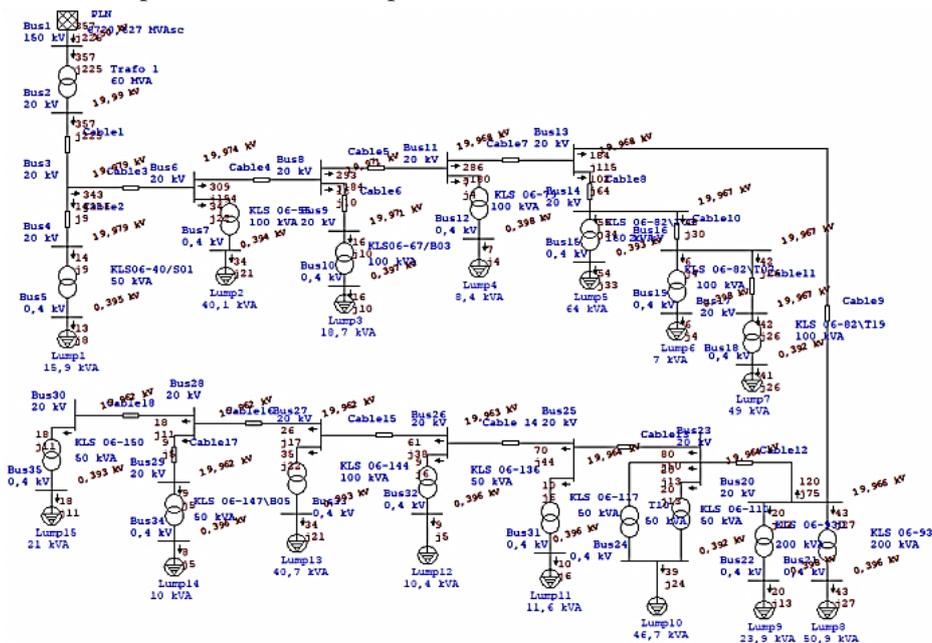
Ditinjau dari jumlah pelanggan PLN tiap tahunnya yang mengalami peningkatan, untuk mempertahankan kualitas tegangan yang diterima oleh pelanggan agar tetap baik perlu dilakukan perencanaan ulang. Upaya ini dilakukan agar beban pada setiap trafo tidak mengalami *overload*. Salah satu cara untuk memperkecil nilai jatuh tegangan yaitu dengan memasang transformator sisip.

Jika dilihat dari tabel V dan VI jatuh tegangan tertinggi terjadi pada Bus24 besarnya jatuh tegangan tersebut hampir mencapai batas yang diijinkan. Maka untuk memperbaiki kualitas tegangan pada Bus24 sebagai upaya antisipasi ketika ada penambahan beban pada

waktu kedepannya dan agar tidak terjadi beban lebih, upaya yang harus dilakukan yaitu dengan sisip trafo yang diparalel dengan trafo KLS06-110 ke trafo baru yang disisipkan. Sisip trafo dilakukan dengan pemasangan trafo baru di gardu yang sudah ada. Berikut ini adalah data-data trafo yang disisipkan untuk memperbaiki kualitas tegangan pada jaringan:

Daya	: 50 kVA
Tegangan Primer	: 20 kV
Tegangan Sekunder	: 400 V
Frekuensi	: 50 Hz
Trafo	: 3 fasa

Gambar 5 merupakan hasil simulasi setelah dilakukan pemasangan transformator sisip.



Gambar 5. Single Line Diagram Perbaikan Jatuh Tegangan Menggunakan ETAP Power Station

Dari Tabel 6 dan 7 diketahui terjadi perubahan presentase jatuh tegangan ketika sebelum dan sesudah dilakukan sisip transformator. Sebelum dilakukan perbaikan, tegangan pada Bus24 sebesar 0,385 kV sedangkan setelah perbaikan tegangan berubah menjadi 0,392. Dari yang sebelumnya memiliki presentase jatuh tegangan sebesar 5% kemudian setelah dilakukan sisip trafo dengan kapasitas 50 kVA didapat presentase jatuh tegangan

sebesar 2%. Tegangan ujung pada Bus24 menjadi lebih baik kualitasnya.

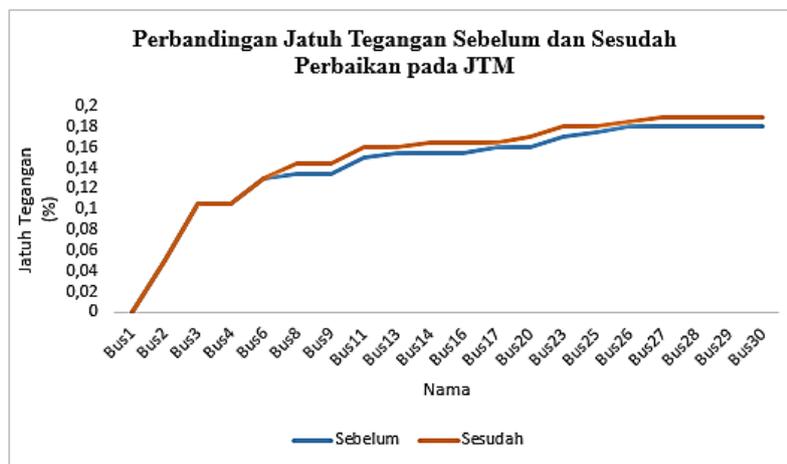
Perbandingan hasil simulasi jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi penyulang Kalisari 06 sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan dapat dilihat pada gambar 6 dan 7.

Tabel 6 Perbedaan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTM

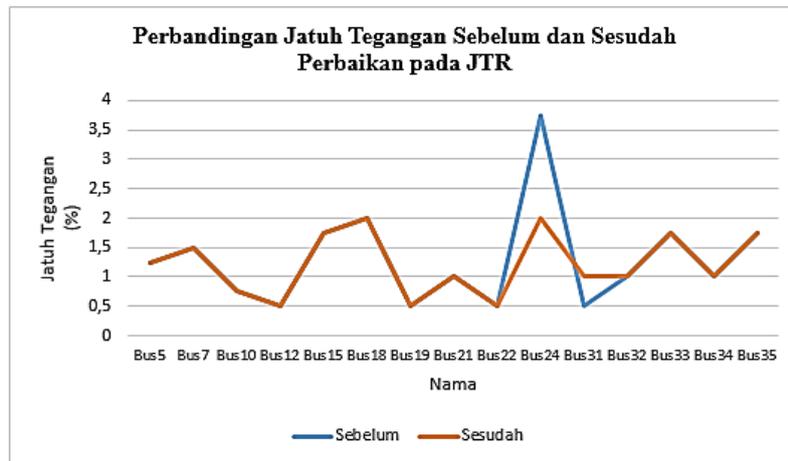
No	Nama	Jatuh Tegangan		Selisih (%)
		Sebelum (%)	Sesudah (%)	
1	Bus1	0	0	0
2	Bus2	0,05	0,05	0
3	Bus3	0,105	0,105	0
4	Bus4	0,105	0,105	0
5	Bus6	0,13	0,13	0
6	Bus8	0,135	0,145	-0,01
7	Bus9	0,135	0,145	-0,01
8	Bus11	0,15	0,16	-0,01
9	Bus13	0,155	0,16	-0,005
10	Bus14	0,155	0,165	-0,01
11	Bus16	0,155	0,165	-0,01
12	Bus17	0,16	0,165	-0,005
13	Bus20	0,16	0,17	-0,01
14	Bus23	0,17	0,18	-0,01
15	Bus25	0,175	0,18	-0,005
16	Bus26	0,18	0,185	-0,005
17	Bus27	0,18	0,19	-0,01
18	Bus28	0,18	0,19	-0,01
19	Bus29	0,18	0,19	-0,01
20	Bus30	0,18	0,19	-0,01

Tabel 7 Perbedaan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTR

No	Nama	Jatuh Tegangan		Selisih (%)
		Sebelum (%)	Sesudah (%)	
1	Bus5	1,25	1,25	0
2	Bus7	1,5	1,5	0
3	Bus10	0,75	0,75	0
4	Bus12	0,5	0,5	0
5	Bus15	1,75	1,75	0
6	Bus18	2	2	0
7	Bus19	0,5	0,5	0
8	Bus21	1	1	0
9	Bus22	0,5	0,5	0
10	Bus24	3,75	2	1,75
11	Bus31	0,5	1	-0,5
12	Bus32	1	1	0
13	Bus33	1,75	1,75	0
14	Bus34	1	1	0
15	Bus35	1,75	1,75	0



Gambar 6. Grafik Perbandingan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTM



Gambar 7. Grafik Perbandingan Jatuh Tegangan Sebelum dan Sesudah Perbaikan pada JTR

Hasil perhitungan jatuh tegangan pada penyulang Kalisari 06 menggunakan *software ETAP Power Station 12.6.0* menunjukkan kondisi jaringan masih sesuai standar. Akan tetapi pembebanan pada salah satu transformator melebihi batas yang ideal sehingga jatuh tegangan yang terjadi pada transformator tersebut lebih besar dan mendekati batas yang diijinkan.

Pada Bus24, terjadi jatuh tegangan sebesar 3,75%. Menurut SPLN 72: 1987 batas maksimal jatuh tegangan pada JTR yaitu 4%. Besar jatuh tegangan yang terjadi pada Bus24 masih dalam kategori standar. Akan tetapi untuk mengantisipasi terjadinya beban berlebih pada transformator KLS06-110 akibat bertambahnya jumlah pelanggan PLN yang memungkinkan terjadinya penambahan beban pada transformator tersebut, dilakukanlah perencanaan sisip transformator sehingga beban disuplai oleh dua transformator. Dengan penyisipan tersebut, didapat nilai jatuh tegangan pada Bus24 sebesar 2%. Nilai ini lebih kecil 1,75% daripada sebelum dilakukan sisip transformator. Dengan penyisipan transformator T10 juga mempengaruhi jatuh tegangan pada beberapa bus lainnya.

## SIMPULAN

Berdasarkan paparan pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa besar jatuh tegangan pada jaringan Penyulang Kalisari 06

masih dalam standar yang diizinkan sesuai SPLN 72: 1987. Jatuh tegangan terbesar terjadi pada Bus24 dengan nilai 3,75% mendekati batas maksimal yang diijinkan. Selanjutnya, Solusi yang digunakan untuk meminimalkan jatuh tegangan yang terjadi yaitu dengan melakukan sisip trafo distribusi 3 fasa 50 kVA dikarenakan beban pada trafo distribusi tersebut sudah melebihi batas pembebanan yang diijinkan. Hasil dari simulasi dengan menambahkan trafo menjadikan jatuh tegangan pada Bus24 berkurang menjadi 2%.

## DAFTAR RUJUKAN

- Daryanto. 2002. *Pengetahuan Teknik Listrik*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Hayusman, L. M., T. Hidayat, C. Saleh, I. M. Wartana dan T. Herbasuki. 2017. Pelatihan Software ETAP ( Electrical Transient Analyzer Program). *Industri Inovatif*. 7(1): 7–11.
- Martinez-Molina, M. A., S. N. Ladezma. 2016. Analysis of three-phase load flow problem in distribution networks with the inclusion of symmetric and asymmetric transformer connections. *IEEE*
- Multa, L. dan R. P. Aridani. 2013. *Modul Pelatihan ETAP*. Yogyakarta: Magatrika.
- Narottama, A. A. N. M., I. G. A. M. Sunaya, I. M. Purbhawa dan K. R. D. Noviyanti. 2014. Analisis Pengaruh Rekonfigurasi Jaringan Terhadap Pembebanan

- Transformator Pada Gardu Distribusi Ka 1316 Penyulang Sriwijaya. *JURNAL MATRIX* 4(3): 125–130.
- Salman, R. 2017. Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan. *JITEKH* 6(1): 17–21.
- SPLN 72-1987. *Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta
- SPLN 64-1985. *Petunjuk Pemilihan dan Peenggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta
- Tanjung, A. 2014. Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya dan Drop Tegangan. *Sains, Teknologi, dan Industri* 11(2): 160–166.