



JURNAL SUTET

Volume 7 - Nomor 2

Juni - Desember 2017

ISSN : 2356-1505

PENGARUH RUGI-RUGI SALURAN PADA JARINGAN TRANSMISI TEGANGAN MENENGAH
PENYULANG E2 GARDU INDUK EMBALUT TENGGARONG

Juara Mangapul Tambunan; DjokoSusanto; Rima Isyana Restuwangi

FIRE SENSING SYSTEM

Aas Wasri Hasanah; Rinna Hariyati; Oktaria Handayani

PERANCANGAN RANGKAIAN PENGUAT DAYA DENGAN TRANSISTOR

Tasdik Darmana; Tony Koerniawan

STUDI PERAMALAN BEBAN RATA-RATA JANGKA PENDEK MENGGUNAKAN METODA
AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (ARIMA)

Adri Senen; Titi Ratnasari

PERANCANGAN SISTEM KONTROL GLYCOL REGENERATION UNIT DENGAN DCS DeltaV
DI ONSHORE GAS PLANT

Muhamad Syahrudin; Rummi Santi Rama Sirait

RANCANG BANGUN RUANG PINTAR MINIMALIS TENAGA SURYA DENGAN SISTEM KONTROL
BERBASIS ARDUINO

Dwi Anggraini; Miftahul Fikri; Hendrianto Husada

PERANCANGAN KENDALI GARASI RUMAH BERBASIS WEB VIA WIRELESS LAN

Akhmad Syahrani; Eka Purwa Laksana; Nifty Fath

ANALISA PROTEKSI HILANG EKSITASI PADA GENERATOR SINKRON DI PLTGU MUARA TAWAR
GT UNIT 1.3

Ibnu Hajar; Usman Fadillah



9 772356 150005

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

JURNAL SUTET

VOL. 7

NO. 2

HAL.69-132

JUNI - DESEMBER 2017

ISSN : 2356-1505

PENGARUH RUGI-RUGI SALURAN PADA JARINGAN TRANSMISI TEGANGAN MENENGAH PENYULANG E2 GARDU INDUK EMBALUT TENGGARONG

Juara Mangapul Tambunan¹⁾, DjokoSusanto²⁾, Rima Isyana Restuwangi³⁾

Teknik Elektro STT PLN

Juaramangapult_stmsi@yahoo.com¹⁾

rimaisyana95@gmail.com³⁾

Abstract : *A good electric power system must have a voltage value that does not exceed the tolerance limit and small power losses. The tolerable limit for a voltage value (+ 5%; - 10%) of its nominal value. A constant voltage value will optimize the performance of the electrical equipment used by the consumer. While the small power losses will keep the power supply in accordance with the needs of consumers, and can reduce financial losses that occur during the transmission and distribution process. In this thesis will be a study to improve the quality of stress on the distribution network by reconfiguring the network. The process of repair is done on medium voltage network by opening or closing Fuse Cut Out, Load Break Switch, Disconnecting Switch, adding substation insertion, and change the position of Process Tap Changer to provide the most optimum repair value. Improved voltage on this thesis is simulated using ETAP 12.6.0 software. From the simulation results will be obtained the most optimal voltage improvement is in the case study 1 on the most bus end of the Bus GRA 706 with a voltage of 16.12 kV, case study 2 voltage rose to 19.66 kV and case study 3 voltage to 19,661 kV.*

Keywords: *Voltage drop, Network Reconfiguration and Optimal Transformer loading*

Abstrak : *Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan (+5% ; -10%) dari nilai nominalnya. Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi. Pada skripsi ini akan dilakukan studi untuk perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi dengan merekonfigurasi jaringan. Proses perbaikan yang dilakukan pada jaringan tegangan menengah dengan membuka atau menutup Fuse Cut Out, Load Break Switch, Disconnecting Switch, menambah gardu sisipan, dan merubah posisi Tap Changer Proses agar memberikan nilai perbaikan yang paling optimal. Perbaikan tegangan pada skripsi ini disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan perbaikan tegangan yang paling optimal yaitu pada studi kasus 1 pada bus yang paling ujung yaitu Bus GRA 706 dengan tegangan 16,12 kV, studi kasus 2 tegangan naik menjadi 19,66 kV dan studi kasus 3 tegangannya menjadi 19,661 Kv.*

Kata kunci : *Jatuh Tegangan, Rekonfigurasi Jaringan dan Pembebanan Transformator yang Optimal*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik sangat bermanfaat dan sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia, dan seiring dengan kebutuhan listrik yang terus bertambah menyebabkan perlunya pengembangan sistem ketena-

galistrikan yang ada. Pengembangan sistem ketenagalistrikan tidak lepas dari pengembangan sistem distribusi dan dalam pengembangan sistem distribusi tenaga listrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah

karakteristik beban pada jaringan distribusi tenaga listrik.

Rendahnya kualitas tegangan akan sangat merugikan konsumen dan penyediaan listrik itu sendiri. Di sisi konsumen tegangan yang tidak sesuai dengan batasan nominalnya. Sedangkan di sisi penyedia tenaga listrik jatuh tegangan disamping membuat citra perusahaan buruk, secara teknik juga menyebabkan kerugian. Penyaluran sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian yaitu pembangkitan tenaga listrik, saluran transmisi dan sistem distribusi. Tegangan yang tidak sesuai biasanya terdapat pada sistem distribusi.

Pada sistem distribusi, efisiensi dapat dilakukan yaitu dengan meminimalisir jatuh tegangan pada saluran dan memberikan level yang aman bagi konsumen, agar dapat melindungi peralatan konsumen dari kerusakan. Pada sistem distribusi, impedansi dalam jaringan menyebabkan tegangan yang diterima konsumen tidaklah sama, karena semakin jauh dari sumber tegangan, maka tegangan yang diterima akan semakin turun, juga sebaliknya.

Hal ini dikarenakan rugi-rugi tegangan pada sistem distribusi begitu besar. Jika daya tidak seimbang dan tegangan tidak sesuai maka yang terjadi sebagian tegangan akan hilang, akibat dipengaruhi antara lain : panjangnya saluran, tidak optimalnya penempatan transformator terhadap beban, diameter penghantar yang tidak sesuai dengan jumlah kapasitas beban sehingga menghasilkan panas pada saluran penghantar yang berakibat hilangnya daya dan tegangan pada jaringan. Dengan semakin besarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi disebabkan antara lain jauhnya jarak penempatan trafo dengan beban, jumlah beban yang sangat banyak, jenis penghantar yang digunakan. Untuk menghasilkan saluran distribusi dengan kualitas tegangan yang baik, serta rugi-rugi daya yang kecil dapat dilakukan rekonfigurasi jaringan. Dengan menggunakan metode tersebut maka akan dihasilkan suatu jaringan distribusi yang efisien.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana menganalisa adanya susut/jatuh tegangan melalui sistem transmisi tegangan menengah (JTM) 20 kV pada penyulang E2 di Gardu Induk Embalut Tenggara.
- b. Bagaimana efek yang terjadi pada saat sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan atau pemulihan tegangan dengan rugi-rugi saluran.
- c. Bagaimana menganalisa adanya susut/jatuh tegangan melalui sistem transmisi tegangan menengah (JTM) 20 kV pada penyulang E2.
- d. Memahami metode rekonfigurasi jaringan untuk memperkecil rugi-rugi saluran pada jaringan tegangan menengah.
- e. Mencari akibat timbulnya jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang E2 di GI Embalut.

Penyebab terjadinya fluktuasi tegangan ini diakibatkan oleh jumlah beban yang bertambah serta jarak saluran yang cukup jauh. Disinilah kasus permasalahan yang terjadi sehingga menimbulkan kerugian yang cukup besar di dalam penyediaan energi listrik. Maka solusi yang tepat dilakukan dengan memperbaiki jaringan, caranya yaitu menggunakan teknik rekonfigurasi jaringan, mengganti kabel-kabel penyulang, serta menggunakan metode tap changer.

2. TEORI PENUNJANG

Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan batas bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem transmisi tegangan menengah, masalah

induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar, jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan juga bila tahanan penghantar R_l semakin besar pula. Tegangan jatuh mengakibatkan terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya dapat menurunkan tegangan hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan untuk merekonfigurasi beban dengan menentukan luas penampang penghantar yang paling kecil dengan nilai jatuh tegangan yang masih dalam toleransi. Metode yang digunakan adalah rekonfigurasi beban dengan menggunakan *software electrical calculations* untuk mensimulasi jatuh tegangan sistem nyata yang ada di panel Prambanan.

Metode yang digunakan sebelum melakukan optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor shunt dengan bantuan program Edsa, maka terlebih dahulu dilakukan analisa aliran daya dengan tujuan untuk mengetahui besarnya P (daya aktif), Q (daya reaktif), S (daya semu), P_f , P_{loss} , Q_{loss} , tegangan masing-masing bus dan beban serta pelanggarannya. Selanjutnya dilakukan perhitungan optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor, untuk membandingkan hasil sebelum dan sesudah dipasangnya kapasitor pada penyulang tersebut. Dari hasilnya, dengan menggunakan aplikasi program Edsa Technical 2000 Service Pack 3.5 dapat ditentukan lokasi pemasangan dan kapasitas kapasitor shunt yang paling optimal untuk memperbaiki profil tegangan tersebut.

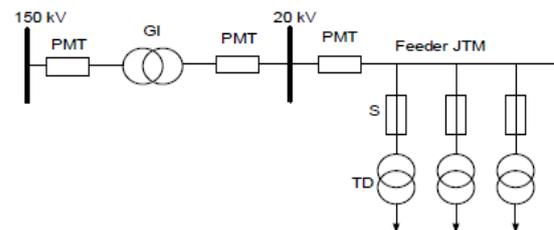
a). Konfigurasi Jaringan Tegangan Menengah

Berikut ini disebutkan mengenai jenis konfigurasi sistem distribusi, yaitu diantaranya :

1. Jaringan Distribusi Radial

Pengaturan jaringan distribusi radial merupakan jaringan distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Tipe jaringan distribusi radial menggambarkan jaringan

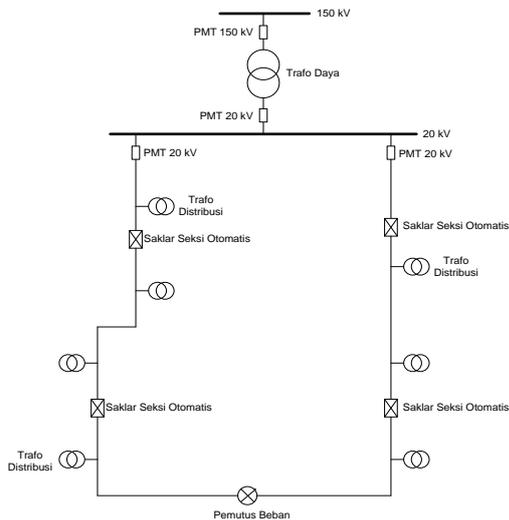
yang paling sederhana yang menghubungkan beban-beban ketitik sumber. Pada struktur jaringan radial ini, tidak ada alternatif pasokan daya, oleh sebab itu tingkat keandalannya relatif rendah, pengaturan tegangan pada jaringan radial dapat dilaksanakan dengan baik. Pada sistem jaringan radial ini mempunyai saluran percabangan yang dilengkapi dengan sekering untuk mengurangi jumlah gardu yang padam, maka saat terjadi gangguan pada percabangan maka sekering ini akan terputus secara otomatis sehingga tidak akan mengganggu saluran utama. Pengaturan jaringan distribusi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

2. Jaringan Distribusi Ring/Loop

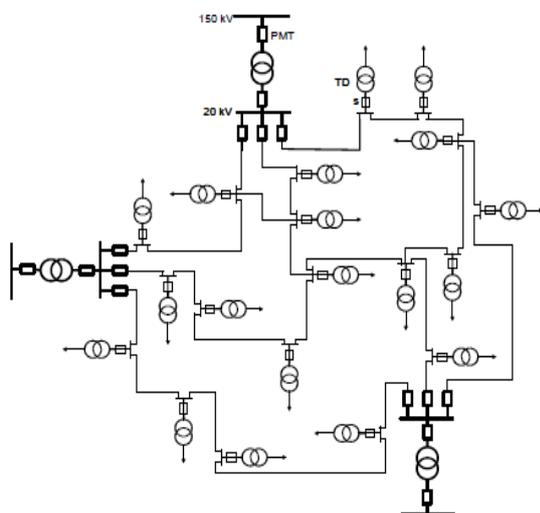
Pengaturan jaringan distribusi ring atau loop, merupakan jaringan distribusi yang memiliki tingkat keandalannya lebih baik dibandingkan jaringan radial, jaringan yang mengalir listrik dari dua ujungnya. Tipe jaringan distribusi ring menyalurkan energi listrik mulai dari Gardu Induk melewati beberapa pusat beban (gardu distribusi) dan kemudian kembali lagi ke sumber semula. Bila terjadi gangguan pada jaringan ring, maka PMT di Gardu Induk akan membuka dan seluruh daerah jaringan distribusinya akan padam. Pada jaringan ring ini yang menghubungkan dua titik sumber dan perlu dijaga keandalannya sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya arus hubung singkat yang besar. Jaringan distribusi ring dapat terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Sistem Jaringan Ring/Loop

3. Jaringan Distribusi Anyaman (Grid/Mesh)

Sistem jaringan *mesh* adalah kombinasi radial dengan *loop* yang merupakan rangkaian rumit dari segi pemasangannya dan operasinya lebih mahal dimana kualitas pelayanan penyaluran energi listrik sangat diutamakan. Jaringan mesh ini dapat disuplai dari dua sumber atau lebih sehingga tingkat keandalannya terjaga. Bila terjadi gangguan pada jaringan ini maka dapat diatasi dengan mengambil tegangan dari beberapa sumber yang masih beroperasi dan tersedia. Daya hubung singkatnya besar.



Gambar 3. Sistem Jaringan Mesh

c). Susut Tegangan Pada Saluran

Susut/Jatuh tegangan umumnya adalah lebih rendahnya tegangan yang diterima pada beban dari nilai nominalnya. Jatuh tegangan ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Jatuh tegangan pada penghantar semakin besar jika arus di dalam penghantar semakin besar dan tahanan penghantar semakin besar pula.

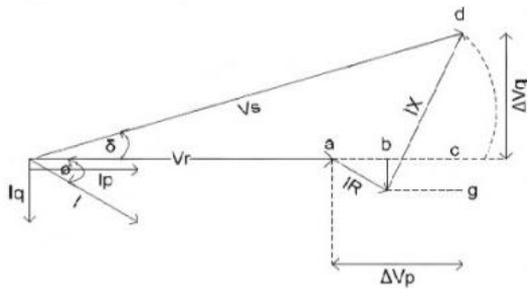
Sesuai standar tegangan yang ditentukan oleh (SPLN 1 : 1995), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 5%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan phasor V_d pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus :

$$V_d = I \cdot Z \quad (2.1)$$

Jatuh tegangan (ΔV) merupakan selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_i), maka jatuh tegangan dapat didefinisikan adalah :

$$\Delta V = |V_k| - |V_i| \quad (2.2)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar, maka tegangan yang diterima konsumen (V_T) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_K), sehingga tegangan jatuh (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. Untuk menghitung jatuh tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu. Dalam penyederhanaan perhitungan, diasumsikan bebannya merupakan beban fasa tiga yang seimbang dan faktor daya beban yang berbeda-beda. Untuk saluran udara yang kapasitansinya dapat diabaikan, disebut "Saluran Pendek". Secara umum hal ini diterapkan pada sistem yang tegangannya sampai dengan 66 kV dan panjangnya mencapai 50 miles (80,5 km). Oleh sebab itu rangkaian ekuivalennya terdiri dari tahanan dan reaktansi yang tersambung seri.



Gambar 4. Diagram Phasor Saluran Distribusi

Pada gambar 4, merupakan diagram phasor dari saluran distribusi jarak pendek dengan titik O sebagai titik pusat dari lingkaran dengan jari-jari $o d = V_k$, kita buat lingkaran, sehingga memotong perpanjangan V_t pada titik e. Jadi $V_k = o e = o a + a c + c e$. Oleh karena $c e \ll V_k$; $c e$ dapat diabaikan, sehingga $V_s \approx o a + a c$. Selanjutnya, $o a = V_t$; $a c = a b + b c$ dimana $a b = I R \cos \varphi$, dan $b c = I X_L \sin \varphi$; sehingga $a c = d V = I R \cos \varphi + I X_L \sin \varphi$. Selanjutnya V_k dapat ditulis dalam bentuk :

$$V_k \approx V_t + dV$$

$$V_k \approx V_t + I R \cos \varphi + I X_L \sin \varphi$$

$$V_k - V_t \approx I R \cos \varphi + I X_L \sin \varphi$$

Sesuai dengan definisi diatas : $\Delta V = |V_k| - |V_t|$, maka didapat :

$$\Delta V = I \times (R \cos \varphi + X_L \sin \varphi) \times L \quad (2.3)$$

Maka jatuh tegangan dalam persen :

$$\Delta V = \frac{V_k - V_t}{V_k} \times 100 \% \quad (2.4)$$

Panjang Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dapat didesain dengan mempertimbangan jatuh tegangan (*Drop Voltage*) dan susut teknis jaringan. Jatuh tegangan adalah selisih relatif antara tegangan ujung kirim dengan tegangan ujung terima karena adanya impedansi melalui penghantar. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan. Berdasarkan SPLN1: 1995 sebuah jaringan tegangan menengah dengan kriteria jatuh tegangan yang diizinkan untuk sistem radial di atas tanah tidak boleh lebih dari 5% dan kurang dari 10%. Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada:

- 1). Penyulang Tegangan Menengah
 - 2). Transformator Distribusi
 - 3). Penyulang Jaringan Tegangan Rendah (JTR)
 - 4). Sambungan Rumah
 - 5). Instalasi Rumah
- Penyebab jatuh tegangan adalah sebagai berikut :
- 1). Jauhnya jaringan, jauhnya jarak beban (trafo distribusi) dari GI
 - 2). Jenis penghantar atau konektor yang digunakan
 - 3). Arus yang dihasilkan terlalu besar
 - 4). Faktor daya beban ($\cos \varphi$)
 - 5). Rendahnya tegangan yang disuplai dari GI.

d). Rugi-Rugi Daya

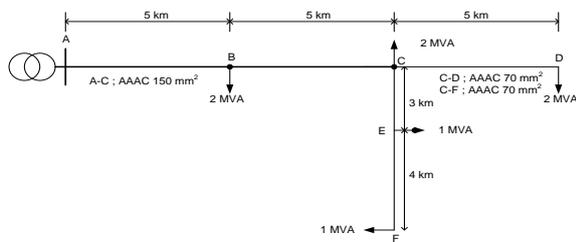
Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya serta tegangan yang dikirim ke sisi pelanggan. Nilai tegangan yang melebihi batas toleransi akan dapat menyebabkan tidak optimalnya kerja dari peralatan listrik di sisi konsumen. Selain itu rugi daya yang besar akan menimbulkan kerugian finansial di sisi perusahaan pengelola listrik. Berikut penjelasan mengenai rugi-rugi yang terjadi pada jaringan distribusi, yaitu rugi-rugi saluran.

1). Rugi-Rugi Saluran

Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat ditulis sebagai berikut:

$$Loss = 3 \times I^2 R \quad (2.5)$$

Perhitungan susut daya penyulang 20 kV dapat dihitung dengan menjumlah susut dari masing-masing seksi. Contoh seperti gambar berikut :



Gambar 5. Penyulang 20 kV

Total losses yang terjadi pada penyulang di atas adalah jumlah keseluruhan dari losses yang terjadi pada tiap-tiap seksi yang pada dasarnya adalah seperti persamaan berikut :

$$\text{Total Losses} = \sum_1^n 3I^2R \quad (2.6)$$

Nilai resistansi suatu penghantar merupakan penyebab utama rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi. Nilai resistansi ini dipengaruhi oleh beberapa parameter. Berikut adalah persamaan resistansi penghantar :

$$R = \frac{\rho \ell}{A} \quad (2.7)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini mencakup beberapa hal yang menentukan penetapan tempat dan waktu penelitian, penetapan obyek penelitian, penetapan metode pengumpulan data, dan teknik analisis data. Populasi dalam penelitian ini adalah pelayanan sistem ketenagalistrikan wilayah GI Embalut, memiliki beberapa gardu induk dan gardu hubung serta pembangkit utama untuk wilayah Tenggarong di suplai oleh PLTD dan juga dikirim suplai daya dari wilayah lain. GI Embalut merupakan salah satu gardu dalam sistem tenaga listrik di tenggarong. GI Embalut memiliki empat penyulang yaitu Penyulang E1, E2, E3 dan E4. Salah satunya yang dibahas disini adalah Penyulang E1.

Simulasi terhadap beban puncak mengingat ketika pembebanan maksimal terjadi jatuh tegangan pada penyulang E2, maka akan di rekonfigurasi jaringan dari penyulang E1 ke penyulang E2, dengan menggunakan program ETAP 12.6.0 yang

terdapat pada gambar 8. Penyulang E1 dalam kondisi terbuka/tidak terhubung. Sampel pada penelitian ini adalah :

- 1). Penyulang E1 berjumlah 57 gardu distribusi
- 2). Penyulang E2 berjumlah 98 gardu distribusi
- 3). Penyulang E3 berjumlah 10 gardu distribusi

Dalam pengumpulan data membutuhkan ketelitian agar pekerjaannya lebih mudah dan hasilnya lebih baik dalam arti lebih cermat, lengkap, dan sistematis sehingga lebih mudah diolah. Ada beberapa sumber data dan metode pengumpulan data, diantaranya, yaitu :

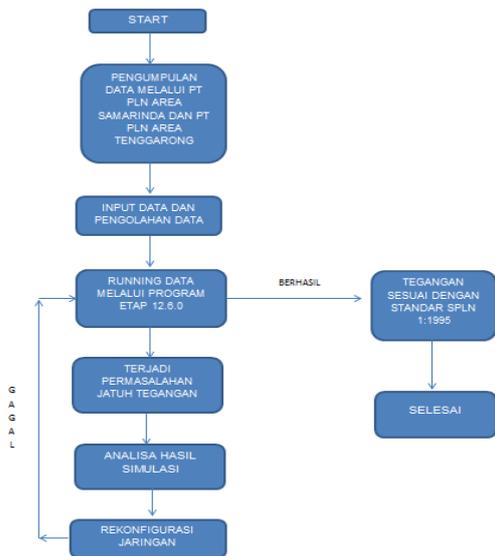
a. Data Primer

Data primer yaitu data yang diperoleh sendiri dan diolah sedemikian rupa dengan tujuan yang diinginkan, penelitian ini berlokasi di kantor GI Embalut, Tenggarong.

b. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini seperti data pengujian kapasitas trafo dan pembebanan trafo gardu distribusi, data penghantar, data beban puncak per gardu distribusi pada Penyulang E1, E2 dan E3.

Dalam penelitian ini, peneliti melakukan perhitungan teknik analisis data menggunakan Metode Newton-Raphson, yaitu dengan menggunakan deret Taylor, turunan parsial dengan orde lebih dari satu dan matriks bujursangkar. Untuk penyelesaian aliran daya menerapkan Metode Newton-Raphson. Sedangkan untuk perhitungan analisa sistem tenaga listrik akan dilakukan sebuah analisa dimana besarnya kondisi tegangan pada sistem jaringan distribusi 20 kV di Gardu Induk Embalut pada Penyulang E1, E2 dan E3 saat kondisi berbeban, sebelum dan sesudah adanya rekonfigurasi jaringan. Untuk memudahkan analisa tersebut digunakan program *Electrical Transient Analisis Program* (ETAP) versi 12.6.0.



Gambar 6. Metode Penelitian

a). Langkah Perhitungan

Dengan menerapkan metode Newton-Rhapson untuk menyelesaikan aliran beban kita dapat menghitung tegangan rel serta admitansi saluran dalam bentuk polar atau bentuk siku-siku yaitu menggunakan persamaan :

$$P_k - jQ_k = V_k * \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (3.1)$$

Ke dalam unsur bilangan kompleks.

Dari persamaan dapat diuraikan menjadi

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (3.2)$$

$$Q_k = - \sum_{n=1}^n |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (3.3)$$



Gambar 7. Diagram Alur Program ETAP

Pada Metode Gauss-Seidel, swing bus diabaikan dari penyelesaian literasi dalam menentukan tegangan, sebab besar tegangan dan sudutnya telah ditentukan. Kita dapat menentukan nilai P dan Q, dimana nilai konstan P dan Q yang ditetapkan adalah sesuai dengan konstanta K. Nilai perkiraan besar dan sudut tegangan bersesuaian dengan nilai perkiraan X_1 dan X_2 . Mendefinisikan :

$$\Delta P_k = P_{k, spec} - P_{k, calc} \quad (3.4)$$

$$\Delta Q_k = Q_{k, spec} - Q_{k, calc} \quad (3.5)$$

Untuk penyederhanaan kita dapat tuliskan persamaan matriks untuk suatu sistem yang terdiri dari tiga buah bus. Jika bus 1 merupakan swing bus, maka perhitungan dimulai pada bus 2. Berikut adalah persamaan matriksnya :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \dots \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_3|} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \dots \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Unsur jacobian diperoleh dengan membuat turunan parsial dari rumus untuk P_k dan Q_k dan memasukkan ke dalamnya tegangan yang diperkirakan untuk iterasi pertama atau yang diperhitungkan dalam iterasi yang terdahulu dan terakhir. Untuk perhitungan pada sistem dengan jumlah bus yang lebih banyak dapat diselesaikan dengan mencari invers dari matriks jacobian. Nilai yang didapatkan untuk $\Delta \delta_k$ dan $\Delta |V_k|$ ditambahkan pada nilai terdahulu dari besar dan sudut tegangan untuk mendapatkan nilai baru untuk $P_{k, calc}^{(1)}$ dan $Q_{k, calc}^{(1)}$, untuk memulai iterasi selanjutnya.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada tabel 4.1 – 4.4 berupa data beban puncak per gardu distribusi.

Tabel 4.1. Kapasitas Trafo dan Pembebanan Penyulang E1

No	Nama Gardu	Tipe Transformator	Rat. Tegangan (kV)	Kapasitas Trafo (kVA)
1	BKR400	Transf.2W	0.38/20	100
2	BKR672	Transf.2W	0.38/20	16
3	BKR741	Transf.2W	20/0.4	25
4	BKR750	Transf.2W	20/0.4	50
5	BKR780	Transf.2W	0.38/20	50
6	BTS236	Transf.2W	0.38/20	25
7	GDTR1	Transf.2W	20/0.4	50
8	GDTYE1	Transf.2W	20/0.4	50
9	JKG 450	Transf.2W	20/0.4	16
10	JKG 499	Transf. 2W	20/0.4	25
11	JKG 703	Transf. 2W	20/0.4	100
12	JKG 704	Transf. 2W	20 /0.4	200
13	JKG 762	Transf. 2W	20/0.4	200
14	JKG 769	Transf. 2W	20/0.4	160
15	LLP 123	Transf. 2W	0.38 /20	100
16	LLP 133	Transf. 2W	0.38/20	100
17	LLP 278	Transf. 2W	0.38/20	100
18	LLP 288	Transf. 2W	0.38/20	25
19	LLP 311	Transf. 2W	0.38/20	100
20	LLP 370	Transf. 2W	0.38/20	100
21	LLP 725	Transf. 2W	20/0.4	25
22	LLP 742	Transf. 2W	20/0.4	25
23	LLP 770	Transf. 2W	0.38/20	100
24	LLP 771	Transf. 2W	0.38/20	100
25	PDAM165	Transf. 2W	0.38/20	50
26	PDAM376	Transf. 2W	0.38/20	630
27	PJU 168	Transf. 2W	0.38/20	16
28	PJU 168	Transf. 2W	0.38/20	16
29	PJU 168	Transf. 2W	0.38/20	16
30	PJU 181	Transf. 2W	0.38/20	50
31	PJU 182	Transf. 2W	0.38/20	50
32	PJU 183	Transf. 2W	0.38/20	50
33	PJU 184	Transf. 2W	0.38/20	50
34	PJU 185	Transf. 2W	0.38/20	50
35	PJW 102	Transf. 2W	0.38/20	50
36	PJW 222	Transf. 2W	0.38/20	100
37	PJW 332	Transf. 2W	0.38/20	1250
38	PJW 333	Transf. 2W	0.38/20	2000
39	PKM 171	Transf. 2W	0.38/20	2150
40	PNG 1	Transf. 2W	20/0.4	16
41	SMK226	Transf. 2W	0.38/20	50
42	SPBU127	Transf. 2W	0.38/20	50
43	TDL 101	Transf. 2W	0.38/20	50
44	TDL 169	Transf. 2W	0.38/20	200
45	TJB 427	Transf. 2W	0.38/20	100
46	TJB 467	Transf. 2W	0.38/20	50
47	TJB 468	Transf. 2W	0.38/20	50
48	TJB 763	Transf. 2W	0.38/20	100
49	TLD 178	Transf. 2W	0.38/20	50
50	TLD 179	Transf. 2W	0.38/20	50
51	TLD 195	Transf. 2W	0.38/20	25
52	TLD 206	Transf. 2W	0.38/20	50
53	TLD 245	Transf. 2W	0.38/20	50
54	TLD 261	Transf. 2W	0.38/20	50
55	TLD 271	Transf. 2W	0.38/20	100
56	TLD334/ RS1	Transf. 2W	0.38/20	1100
57	TLD 364	Transf. 2W	0.38/20	100

Tabel 4.2. Data Beban Puncak Per Gardu Distribusi Pada Penyulang E1

No	Nama Gardu	Beban Gardu
1	BKR400	76 kVA
2	BKR672	16 kVA
3	BKR741	15 kVA
4	BKR750	26.9 kVA
5	BKR780	30 kVA
6	BTS236	18 kVA
7	GDTRA1	20 kVA
8	GDTYREE1	20 kVA
9	JKG449	4.7 kVA
10	JKG450	8 kVA
11	JKG703	57 kVA
12	JKG704	124 kVA
13	JKG762	120 kVA
14	JKG769	100 kVA
15	LLP132	76 kVA
16	LLP133	70 kVA
17	LLP278	54 kVA
18	LLP288	19 kVA
19	LLP311	92 kVA
20	LLP725	10 kVA
21	LLP742	13 kVA
22	LLP770	59 kVA
23	LLP771	67 kVA
24	Lump101	45 kVA
25	Lump109	76 kVA
26	PDAM165	13 kVA
27	PDAM376	507 kVA
28	PJU168	48 kVA
29	PJU181	40 kVA
30	PJU182	37 kVA
31	PJU183	29 kVA
32	PJU184	38 kVA
33	PJU185	32 kVA
34	PJW102	41 kVA
35	PJW222	75 kVA
36	PJW332	1009 kVA
37	PJW333	1687 kVA
38	PKM171	1852 kVA
39	PNG1	8 kVA
40	SMK226	20 kVA
41	SPBU127	50 kVA
42	TDL101	34 kVA
43	TDL169	143 kVA
44	TJB467	30 kVA
45	TJB468	12 kVA
46	TJB763	87 kVA
47	TLD178	27 kVA
48	TLD179	37 kVA
49	TLD195	20 kVA
50	TLD206	15 kVA
51	TLD245	34 kVA
52	TLD261	29 kVA
53	TLD271	82 kVA
54	TLD334	900 kVA
55	TLD364	75 kVA

GI Embalut merupakan salah satu GI yang berada di PT PLN Area Tenggara yang memiliki satu unit transformator dengan kapasitas daya 30 MVA, dengan ratio tegangan 150/20 kV. Transformator tenaga tersebut digunakan untuk menyuplai penyulang-penyulang 20 kV diantaranya Penyulang E1, Penyulang E2, dan Penyulang E3. Penyulang E2 adalah salah satu dari beberapa penyulang utama yang mendistribusikan energi listrik dari gardu induk (GI) Embalut ke beban dengan menggunakan saluran udara tegangan menengah (SUTM). Penghantar yang digunakan pada semua penyulang menggunakan konduktor AAAC 3X70 mm². Asumsi yang digunakan dalam kajian ini adalah :

- 1). Perbaikan tegangan sesuai dengan SPLN 1: 1995 yang menyatakan bahwa standard PLN yaitu +5 % dan -10%.
- 2). Simulasi yang digunakan yaitu dengan menggunakan ETAP 12.6.0 dengan cara pengujian dengan melakukan rekonfigurasi jaringan.
- 3). Jika terjadi pembebanan trafo maksimum maka akan ditambahkan gardu sisipan, jika masih terjadi jatuh tegangan pada sisi sekunder trafo maka di dilakukan tap changer.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat tiga studi kasus, yaitu :

- 1). Studi Kasus 1 :
Sebelum dilakukan rekonfigurasi jaringan antara Penyulang E2 dengan Penyulang E1 dan Penyulang E1 dengan Penyulang E3.
- 2). Studi Kasus 2 :
Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan antara Penyulang E2 dengan Penyulang E1 dan Penyulang E1 dengan Penyulang E3, tetapi beberapa trafo *overload* dan tegangan sebagian diperbaiki.
- 3). Studi Kasus 3 :
Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan antara Penyulang E2 dengan Penyulang E1 dan Penyulang E1 dengan Penyulang E3, serta telah ditambah trafo sisipan dan tegangan sesuai standar.

Berdasarkan hasil studi dari Analisa Sistem Tenaga menggunakan ETAP

12.6.0 untuk Studi Kasus 1 sebelum rekonfigurasi didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.3. Pembebanan Transformator di Penyulang E1, E2, E3 (Studi Kasus-1)

No	Nama Gardu	Kapasitas Trafo	Pembebanan Trafo (%)
1	BAJ 393	50 kVA	52.6
2	BAJ 394	50 kVA	35.3
3	BAJ 518	100 kVA	37.8
4	BAJ 540	25 kVA	10.2
5	BAJ 615	50 kVA	45.1
6	BAJ 616	50 kVA	22.2
7	BAJ 664	25 kVA	13.3
8	BAJ 759	50 kVA	22.2
9	BKR 342	50 kVA	49.2
10	BKR 371	100 kVA	48.7
11	BKR 372	100 kVA	61.3
12	BKR 387	50 kVA	40.3
13	BKR 400	100 kVA	78.6
14	BKR 478	25 kVA	10.1
15	BKR 672	16 kVA	104.5
16	BKR 739	100 kVA	61.3
17	BKR 740	200 kVA	63.6
18	BKR 741	25 kVA	15.3
19	BKR 749	160 kVA	90.3
20	BKR 750	50 kVA	27.3
21	BKR 751	100 kVA	61.1
22	BKR 757	200 kVA	76.5
23	BKR 760	160 kVA	73.9
24	BKR 776	200 kVA	76.5
25	BKR 780	50 kVA	61.6
26	BRJ 343	200 kVA	71.4
27	BRJ 344	200 kVA	50.7
28	BRJ 429	160 kVA	63.7
29	BRJ 673	48 kVA	30.6
30	BRJ 674	100 kVA	63.8
31	BRJ 752	160 kVA	87.8
32	BRJ 753	100 kVA	63.2
33	BRJ 754	50 kVA	19.2
34	BRJ 756	100 kVA	60.1
35	BRJ 761	100 kVA	58.1
36	BRJ 774	100 kVA	60
37	BRJ 781	50 kVA	40.4
38	BRJ 785	100 kVA	63.2
39	BRJ 786	100 kVA	63.2
40	BTS 236	25 kVA	74.4
41	EBL 373	50 kVA	53.9
42	EBL 374	100 kVA	87
43	EBL 675	100 kVA	43.6
44	EBL 765	25 kVA	10.1
45	EBL 793	50 kVA	20.3
46	GD 2-	200 kVA	56.7
47	GD STA25	25 kVA	12.2
48	GD TRA1	50 kVA	20.2
49	GD TYREE1	50 kVA	20.2

50	GRA 397	50 kVA	28.7
51	GRA 398	50 kVA	25.5
52	GRA 706	50 kVA	49.5
53	JKG -	25 kVA	82.4
54	JKG 450	16 kVA	8.1
55	JKG 499	25 kVA	4.7
56	JKG 703	100 kVA	58
57	JKG 704	200 kVA	63.1
58	JKG 743	50 kVA	40.6
59	JKG 762	200 kVA	61
60	JKG 769	160 kVA	63.6
61	JKG 772	25 kVA	82.4
62	KKJ 111	25 kVA	12.2
63	KKN 705	100 kVA	61.3
64	KTB 127	16 kVA	8.2
65	KTB 367	50 kVA	33.5
66	KTB 368	150 kVA	99.3
67	KTB 369	100 kVA	76.3
68	KTB 370	50 kVA	57.2
69	KTB 503	50 kVA	44
70	KTB 738	16 kVA	8.2
71	KTB 748	25 kVA	12.2
72	KTB 758	25 kVA	12.2
73	KTB 766	100 kVA	58.2
74	KTB 775	50 kVA	57.2
75	KTB 792	100 kVA	105.1
76	LBK 88	25 kVA	12.2
77	LLP 123	100 kVA	79.2
78	LLP 133	100 kVA	72.7
79	LLP 278	100 kVA	55.6
80	LLP 288	25 kVA	39.6
81	LLP 311	100 kVA	96.8
82	LLP 370	100 kVA	79.2
83	LLP 725	25 kVA	10.1
84	LLP 742	25 kVA	13.2
85	LLP 770	100 kVA	60.5
86	LLP 771	100 kVA	69
87	LPR 87	100 kVA	43.5
88	LPR 161	50 kVA	44.6
89	LPR 266	100 kVA	58
90	LRY 86	50 kVA	22.1
91	LRY 264	100 kVA	78.5
92	LRY 265	100 kVA	63.1
93	LTW 97	25 kVA	69.7
94	MLW 505	16 kVA	8.2
95	MLW 507	200 kVA	59.8
96	MLW 626	100 kVA	50.7
97	MLW 627	50 kVA	29
98	MLW 790	50 kVA	29
99	MNJ 348	200 kVA	69.8
100	MNJ 350	200 kVA	83.3
101	MNJ 424	100 kVA	58
102	MNJ 759	200 kVA	62.5
103	PDAM 165	50 kVA	26.3
104	PDAM 376	630 kVA	84.1
105	PJU 168	16 kVA	105.6
106	PJU 168-	16 kVA	105.6
107	PJU 168--	16 kVA	105.6
108	PJU 181	50 kVA	83.3

109	PJU 182	50 kVA	76.7
110	PJU 183	50 kVA	59.5
111	PJU 184	50 kVA	78.7
112	PJU 185	50 kVA	65.8
113	PJW 102	50 kVA	85.6
114	PJW 118	50 kVA	49.2
115	PJW 222	100 kVA	78
116	PJW 332	1250 kVA	84.3
117	PJW 333	2000 kVA	88.8
118	PKM 171	2150 kVA	91
119	PNG 1	16 kVA	8.1
120	SBS 455	50 kVA	15.2
121	SKY 388	25 kVA	12.2
122	SKY 464	100 kVA	75
123	SKY 465	50 kVA	27.4
124	SKY 466	100 kVA	43.6
125	SMK 226	50 kVA	40.7
126	SPBU 127	50 kVA	105.5
127	SPR -	200 kVA	50.9
128	SPR 351	100 kVA	76.9
129	SPR 392	50 kVA	42.2
130	SPR 395	100 kVA	54.7
131	SPR 425	100 kVA	64.7
132	SPR 539	100 kVA	53.6
133	SPR 545	25 kVA	23.6
134	SPR 606	16 kVA	8.7
135	SPR 662	25 kVA	15.4
136	SPR 663	50 kVA	24.5
137	SPR 667	48 kVA	36.6
138	SPR 676	25 kVA	9.8
139	SPR 744	100 kVA	92.7
140	SPR 745	50 kVA	27.1
141	SPR 746	1100 kVA	84.4
142	SPR 747	25 kVA	20.1
143	SPR 755	200 kVA	59.8
144	SPR 764	100 kVA	55.4
145	SPR 767	100 kVA	29.9
146	SPR 768	100 kVA	65.7
147	SPR 784	50 kVA	53.9
148	SPR 787	50 kVA	38.4
149	SPR 788	48 kVA	36.6
150	SPR 791	100 kVA	105.1
151	T-GI EMBALUT	30000 kVA	60.3
152	TDL 101	50 kVA	70.4
153	TDL 169	200 kVA	74.3
154	TJB 427	100 kVA	45.9
155	TJB 467	50 kVA	61.5
156	TJB 468	50 kVA	24.2
157	TJB 763	100 kVA	90.2
158	TLD 178	50 kVA	55.5
159	TLD 179	50 kVA	77
160	TLD 195	25 kVA	83.1
161	TLD 206	50 kVA	30.4
162	TLD 245	50 kVA	70.3
163	TLD 261	50 kVA	59.7
164	TLD 271	100 kVA	85.3
165	TLD 334/RS1	1100 kVA	85.4
166	TLD 364	100 kVA	77.7

Tabel 4.4. Tegangan di Penyulang
E1,E2, E3
Studi Kasus-1

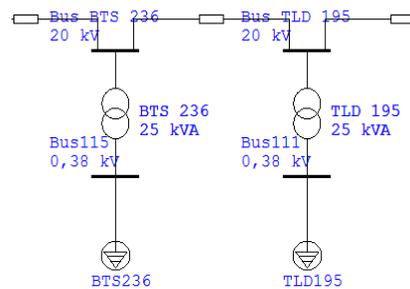
No	Nama Gardu	Tegangan Nominal (kV)	Tegangan (kV)
1	Bus BAJ 6	20	19.127
2	Bus BAJ 393	20	16.352
3	Bus BAJ 394	20	16.344
4	Bus BAJ 540	20	16.347
5	Bus BAJ 581	20	16.34
6	Bus BAJ 615	20	16.295
7	Bus BAJ 619	20	16.294
8	Bus BAJ 664	20	16.353
9	Bus BAJ 759	20	16.294
10	Bus BKR 342	20	19.152
11	Bus BKR 371	20	19.127
12	Bus BKR 372	20	19.135
13	Bus BKR 387	20	19.143
14	Bus BKR 400	20	18.778
15	Bus BKR 478	20	19.138
16	Bus BKR 672	20	18.831
17	Bus BKR 739	20	19.14
18	Bus BKR 740	20	19.155
19	Bus BKR 741	20	18.761
20	Bus BKR 749	20	19.141
21	Bus BKR 750	20	18.765
22	Bus BKR 751	20	19.147
23	Bus BKR 757	20	19.155
24	Bus BKR 760	20	19.128
25	Bus BKR 776	20	19.153
26	Bus BKR 780	20	18.772
27	Bus BRJ 343	20	18.547
28	Bus BRJ 344	20	18.473
29	Bus BRJ 429	20	18.231
30	Bus BRJ 673	20	18.52
31	Bus BRJ 674	20	18.23
32	Bus BRJ 752	20	18.578
33	Bus BRJ 753	20	18.519
34	Bus BRJ 754	20	18.142
35	Bus BRJ 756	20	18.767
36	Bus BRJ 761	20	18.18
37	Bus BRJ 774	20	18.961
38	Bus BRJ 781	20	18.506
39	Bus BRJ 785	20	18.522
40	Bus BRJ 786	20	18.489
41	Bus BTS 236	20	18.205
42	Bus EBL 373	20	17.992
43	Bus EBL 374	20	18.052
44	Bus EBL 675	20	18.053
45	Bus EBL 765	20	18.051
46	Bus EBL 793	20	18.014
47	Bus GD 2	20	16.145
48	Bus GD STA25	20	16.292
49	Bus GDDTYREE	20	18.751
50	Bus GDTRA1	20	18.739
51	Bus GRA 397	20	16.122
52	Bus GRA 398	20	16.126

53	Bus GRA 706	20	16.12
54	Bus JKG-	20	19.13
55	Bus JKG 450	20	18.739
56	Bus JKG 499	20	18.748
57	Bus JKG 703	20	18.738
58	Bus JKG 704	20	18.736
59	Bus JKG 743	20	19.132
60	Bus JKG 762	20	18.747
61	Bus JKG 769	20	18.744
62	Bus JKG 772	20	19.131
63	Bus KE GI	20	19.147
64	Bus KKJ 111	20	19.126
65	Bus KKN 705	20	19.133
66	Bus KTB 127	20	16.826
67	Bus KTB 367	20	17.182
68	Bus KTB 369	20	17.115
69	Bus KTB 370	20	16.996
70	Bus KTB503	20	18.232
71	Bus KTB 738	20	16.701
72	Bus KTB 748	20	17.198
73	Bus KTB 758	20	17.226
74	Bus KTB 766	20	17.116
75	Bus KTB 775	20	17.056
76	Bus LBK 88	20	19.126
77	Bus LLP 123	20	17.024
78	Bus LLP 133	20	16.99
79	Bus LLP 278	20	16.97
80	Bus LLP 288	20	16.981
81	Bus LLP 311	20	16.96
82	Bus LLP 370	20	16.95
83	Bus LLP 725	20	18.751
84	Bus LLP 742	20	18.752
85	Bus LLP 770	20	18.629
86	Bus LLP 771	20	18.538
87	Bus LPR 87	20	19.131
88	Bus LPR 161	20	19.128
89	Bus LPR 266	20	19.133
90	Bus LRY 86	20	19.127
91	Bus LRY 264	20	19.13
92	Bus LRY 265	20	19.134
93	Bus LTW 97	20	19.126
94	Bus MLW 505	20	16.318
95	Bus MLW 507	20	16.264
96	Bus MLW 626	20	16.258
97	Bus MLW 627	20	16.253
98	Bus MLW 790	20	16.253
99	Bus MNJ 348	20	19.008
100	Bus MNJ 350	20	19.066
101	Bus MNJ 424	20	19.159
102	Bus MNJ 759	20	19.077
103	Bus PDAM 165	20	17.007
104	Bus PDAM 376	20	16.947
105	Bus PJU 168	20	17.124
106	Bus PJU 181	20	17.651
107	Bus PJU 182	20	17.885
108	Bus PJU 183	20	18.285
109	Bus PJU 184	20	18.448
110	Bus PJU 185	20	18.72
111	Bus PJW 102	20	17.298

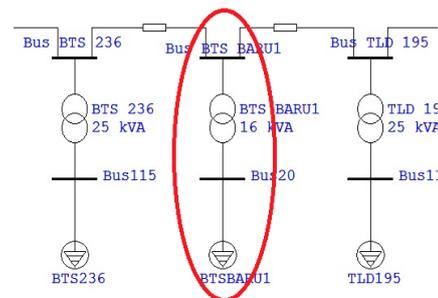
112	Bus PJW 118	20	19.129
113	Bus PJW 222	20	17.21
114	Bus PJW 332	20	17.335
115	Bus PJW 333	20	17.439
116	Bus PKM 171	20	17.02
117	Bus PNG 1	20	18.738
118	Bus SBS 455	20	19.139
119	Bus SKY 388	20	16.381
120	Bus SKY 464	20	16.459
121	Bus SKY 465	20	16.384
122	Bus SKY 466	20	16.381
123	Bus SMK 226	20	18.366
124	Bus SPBU 127	20	17.166
125	Bus SPR 351	20	17.915
126	Bus SPR 392	20	16.45
127	Bus SPR 395	20	16.393
128	Bus SPR 425	20	16.144
129	Bus SPR 539	20	17.957
130	Bus SPR 545	20	16.169
131	Bus SPR 606	20	16.394
132	Bus SPR 662	20	16.505
133	Bus SPR 663	20	16.139
134	Bus SPR 667	20	16.438
135	Bus SPR 676	20	16.199
136	Bus SPR 744	20	16.549
137	Bus SPR 745	20	16.432
138	Bus SPR 746	20	17.869
139	Bus SPR 747	20	16.337
140	Bus SPR 755	20	16.482
141	Bus SPR 764	20	17.904
142	Bus SPR 767	20	16.54
143	Bus SPR 768	20	16.142
144	Bus SPR 784	20	17.88
145	Bus SPR 787	20	16.455
146	Bus SPR 788	20	16.443
147	Bus SPR 791	20	16.663
148	Bus SPR-	20	16.607
149	Bus TDL 101	20	17.254
150	Bus TDL 169	20	17.082
151	Bus TJB 427	20	18.861
152	Bus TJB 467	20	19.146
153	Bus TJB 468	20	19.146
154	Bus TJB 763	20	19.146
155	Bus TLD 178	20	17.391
156	Bus TLD 179	20	17.02
157	Bus TLD 195	20	18.124
158	Bus TLD 206	20	17.506
159	Bus TLD 245	20	17.806
160	Bus TLD 261	20	17.729
161	Bus TLD 271	20	18.043
162	Bus TLD 334	20	17.567
163	Bus TLD 364	20	17.963
164	GI EMBALUT 20kV	20	19.226
165	GI EMBALUT 150kV	150	150

Rekonfigurasi Jaringan

Menurut Studi Kasus-2 diperlihatkan rekonfigurasi jaringan dengan mengubah keadaan LBS dan FCO dalam keadaan sebelum dan sesudah di rekonfigurasi. Studi Kasus-3 dilakukan penambahan Gardu Sisipan dan *Tap Changer* pada transformator dengan menambah trafo dan memindahkan sebagian beban ke trafo baru. Contoh penambahan Gardu sisipan pada aplikasi ETAP 12.6.0 sebelum penambahan gardu sisipan, yaitu :



Gambar 9. Sesudah Penambahan Gardu Sisipan



Gambar 9. Single line yang ditandai merah merupakan Gardu sisipan

Ringkasan Hasil Studi Kasus

Studi Kasus	Penjelasan Studi Kasus	Jumlah Trafo yang <i>overload</i>	Jumlah Bus yang $\Delta V < 10\%$
Studi Kasus-1	Terdapat banyak gardu distribusi yang mengalami jatuh tegangan karena jarak yang terlalu jauh dari Gardu induk Embalut dan terdapat beberapa gardu distribusi dengan pembebanan melebihi kapasitas transformator	Terdapat 9 Gardu Distribusi yang melebihi pembebanan transformatornya	Didapati 82 busbar yang mengalami jatuh tegangan
Studi Kasus-2	Masih didapatkan	Terdapat 7	Didapati 32 busbar yang

	beberapa gardu distribusi yang mengalami jatuh tegangan tetapi jumlahnya sudah berkurang cukup banyak dan terdapat beberapa gardu distribusi dengan pembebanan melebihi kapasitas transformator		mengalami jatuh tegangan
Studi Kasus-3	Rekonfigurasi, Penambahan Gardu Sisipan, dan Merubah posisi <i>Tap Changer</i> menghasilkan tidak adanya gardu yang tidak memenuhi SPLN : 1-1995 mengenai tegangan -- tegangan standar	Tidak didapatkan gardu distribusi yang kelebihan pembebanan transformator-nya	Tidak didapatkan Gardu Distribusi yang tidak memenuhi SPLN : 1-1995 mengenai tegangan -- tegangan standar

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari simulasi menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0 dan melakukan analisa memperbaiki jatuh tegangan maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

- 1). Hasil simulasi Studi Kasus-1 diperoleh hasil nilai tegangan mengalami *dropvoltage* pada banyak gardu. Adapun tegangan gardu distribusi pada Studi Kasus-1 tidak memenuhi SPLN No.1 Tahun 1995 mengenai tegangan standar, dimana tegangan harus memenuhi persyaratan +5% dan -10% dari tegangan nominalnya dan penanggulangannya dengan merekonfigurasi jaringan pada penyulang E1, E2, dan E3 yaitu contohnya pada Bus TLD 178 dengan tegangan 17,391 kV dan Bus yang paling ujung yaitu Bus GRA 706 dengan tegangan 16,12 kV.
- 2). Hasil simulasi dari Studi Kasus-2 setelah rekonfigurasi jaringan didapat hasil bahwa tegangan mengalami kenaikan di beberapa gardu namun masih terjadi *drop voltage* di beberapa gardu distribusi dan belum memenuhi persyaratan +5% dan -10% dari tegangan nominalnya yaitu Bus GRA 706 telah terbaiki tegangannya dengan nilai 19,66 kV

namun masih ada bus yang masih didapat jatuh tegangan salah satunya yaitu Bus TLD 178 dengan nilai 17,546 kV. Adapun di beberapa gardu distribusi mengalami *overload* pada beberapa tempat sehingga perlu ada upaya untuk meningkatkan tegangan dan menambah maupun mengganti trafo yang melebihi kapasitasnya beserta merubah posisi *tap changer* pada transformator.

- 3). Hasil dari simulasi Studi Kasus-3 setelah dengan penambahan gardu sisipan serta merubah posisi *tap changer* transformator maka didapat hasil bahwa tegangan pada penyulang E1, E2, dan E3 telah memenuhi persyaratan SPLN No.1 Tahun 1995 mengenai tegangan standar yang menyebutkan tegangan nilainya harus +5%-10% dari tegangan nominalnya yaitu Bus GRA 706 dengan nilai 19,661 kV dan Bus TLD 178 dengan nilai tegangan 18,678 kV.

DAFTAR PUSTAKA

1. Buku PT. PLN (Persero), "*Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*".
2. Basri Hasan, Ir, (2010), "*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*", Penerbit ISTN, Jakarta.
3. Stevenson D. William, Jr, (1991) "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*", Penerbit Erlangga , Edisi Keempat.
4. Buku Standar SPLN, Nomor 1 Tahun 1995, "*Tegangan-Tegangan Standar*".
5. Gonen, Turan, (1986), "*Electrical Power Distribution system Engineering*", McGraw-Hill, New York, Book Company.
6. Sambodho Sumani, Ir, (2004), "*Diktat Sistem Distribusi Tenaga Listrik*", Penerbit STT-PLN, Jakarta, 2004.
7. Rima Isyana Restuwangi, (2017), "*Analisa Jatuh Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah Penyulang E2 di Gardu Induk Embalut Tenggarong*", (Skripsi), STT-PLN, Jakarta.