

ANALISA JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG CENDANA GARDU INDUK BUNGERAN PALEMBANG

Irine Kartika Pebrianti¹, Abdul Azis², Perawati³, Nita Nurdiana⁴, Yudi Irwansi⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang, Indonesia
Email: ¹irinekf@univpgri-palembang.ac.id, ²azis@univpgri-palembang.ac.id, ³Perawati80@univpgri-palembang.ac.id, ⁴nurdiana78@univpgri-palembang.ac.id, ⁵irwansiyudi@univpgri-palembang.ac.id

Corresponding author : azis@univpgri-palembang.ac.id

ABSTRAK

Jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah merupakan suatu kondisi jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima. Jatuh tegangan juga dipengaruhi oleh arus yang mengalir dan nilai tahanan penghantar. Salah satu gardu induk di Kota Palembang adalah Gardu Induk Bungaran yang berfungsi menyalurkan energi listrik ke konsumen melalui penyulang. Salah satu penyulang pada Gardu Induk Bungaran adalah Penyulang Cendana. Panjang Penyulang Cendana adalah 16,505 km dengan 65 transformator distribusi. Penelitian bertujuan untuk menganalisa jatuh tegangan pada Penyulang Cendana pada saat beban puncak dan beban dalam keadaan tidak seimbang. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa jatuh tegangan 3 fasa paling besar terjadi pada node 44, yaitu 822,81 V (4,11%), dan jatuh tegangan 3 fasa paling kecil terjadi pada node 1, yaitu 109,40 V (0,55%). Jatuh tegangan pada Penyulang Cendana masih memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh PT PLN. Dimana dalam SPLN 72:1987 dikatakan bahwa untuk turun tegangan pada JTM dibolehkan 5% dari tegangan kerja bagi sistem radial di atas tanah dan sistem simpul.

Kata kunci: Arus, Tahanan, Jatuh Tegangan

ABSTRACT

The voltage drop on the medium voltage network is a condition where the amount of voltage supplied is not the same as the voltage received. The voltage drop is also affected by the current flowing and the resistance value of the conductor. One of the substations in the city of Palembang is the Bungaran Substation which functions to distribute electrical energy to consumers through feeders. One of the feeders at the Bungaran Substation is the Cendana Feeder. The length of the Cendana Feeder is 16,505 km with 65 distribution transformers. This study aims to analyze the voltage drop on the Cendana Feeder when the peak load and load are unbalanced. The results showed that the largest 3-phase voltage drop occurred at node 44, namely 822,81 V (4,11%), and the smallest 3-phase voltage drop occurred at node 1, namely 109,40 V (0,55%). The voltage drop on the Cendana Feeder still meets the standards set by PT PLN. Where in SPLN 72:1987 it is said that to reduce the stress on the JTM it is allowed 5% of the working stress for the radial system above the ground and the node system.

Keywords: Current, Resistance, Voltage Drop

1. PENDAHULUAN

Energi listrik yang dibangkitkan pusat pembangkit tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi 150 kV ke gardu induk. Pada gardu induk, tegangan 150 kV diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV, kemudian energi listrik disalurkan melalui jaringan tegangan menengah ke gardu distribusi. Pada gardu distribusi, tegangan menengah diturunkan menjadi tegangan rendah 380 V, kemudian energi listrik disalurkan melalui jaringan tegangan rendah ke konsumen. Jadi jaringan tegangan menengah berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke gardu distribusi [4].

Besarnya energi listrik yang disalurkan ke gardu distribusi akan mempengaruhi besarnya jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah. Jatuh tegangan merupakan suatu kondisi jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima. Jatuh tegangan juga dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengalir dan nilai tahanan penghantar. Besarnya nilai tahanan penghantar dipengaruhi oleh panjang, luas penampang, dan jenis penghantar [3].

Gardu Induk Bungaran adalah salah satu gardu induk di Kota Palembang yang mempunyai

fungsi menyalurkan energi listrik ke konsumen melalui jaringan tegangan menengah. Untuk melayani kebutuhan energi listrik konsumen, saat ini Gardu Induk Bungaran Palembang mempunyai dua buah transformator dengan masing-masing kapasitas daya terpasang sebesar 30 MVA. Transformator 1, 30 MVA 70/20 kV mempunyai beban empat buah penyulang, dan Transformator 2, 30 MVA 70/20 kV mempunyai beban dua buah penyulang. Salah satu penyulang pada Transformator 1, 30 MVA 70/20 kV adalah Penyulang Cendana. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa jatuh tegangan pada Penyulang Cendana, ditinjau pada saat beban puncak selama bulan Maret tahun 2020, dan beban dalam keadaan tidak seimbang. Diasumsikan Penyulang Cendana adalah saluran udara dengan jenis penghantar AAAC 150 mm², dan temperatur kerja penghantar adalah 25°C.

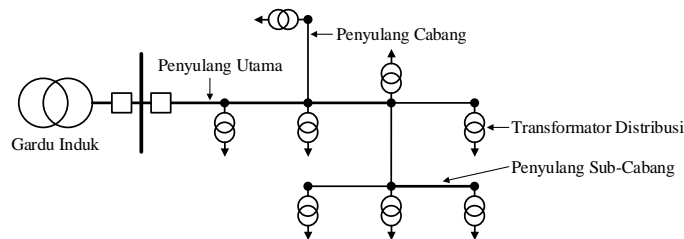
Jaringan Tegangan Menengah

Jaringan tegangan menengah berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu induk ke beban. Pada umumnya sistem distribusi dapat dibedakan menjadi tiga bagian utama yaitu: jaringan tegangan menengah, transformator distribusi, jaringan tegangan rendah. Jaringan tegangan menengah dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe jaringan, antara lain adalah: sistem radial, sistem loop, sistem *spindel*, sistem *network/mesh* dan lainnya. Dari masing-masing sistem jaringan distribusi tersebut mempunyai kelemahan dan keunggulan yang berbeda-beda dan sistem radial merupakan sistem yang paling sederhana dan menjadi dasar operasi dari seluruh sistem jaringan distribusi, dimana dalam sistem ini tidak banyak yang perlu diperhatikan atau diperhitungkan [3].

Jaringan Tegangan Menengah Tipe Radial

Jaringan tegangan menengah tipe radial paling banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang sederhana dan jaringan distribusi ini berpangkal dari sebuah gardu induk atau langsung dari pusat pembangkit, kemudian menyebar menuju gardu-gardu distribusi atau langsung ke konsumen yang memerlukan daya besar. Keandalan sistem ini rendah dan mempunyai jatuh tegangan besar, terutama untuk beban di ujung saluran. Kerapatan arus yang terbesar pada jaringan ini terdapat antara sumber daya dan transformator distribusi yang pertama dan arus akan semakin kecil untuk transformator berikutnya dan yang terkecil pada ujung jaringan [3].

Jaringan tegangan menengah tipe radial mempunyai kelemahan yaitu hanya dihubungkan pada satu sumber daya melalui satu jalan, maka kelangsungan pelayanannya kurang terjamin. Apabila terjadi gangguan pada penyulang utama (*main feeder*) yang paling dekat dengan sumber daya maka akan terjadi pemutusan seluruh pelayanan sampai gangguan tersebut dapat diatasi. Pada jaringan tegangan menengah tipe radial terdiri dari penyulang utama (*main feeder*), penyulang cabang (*lateral feeder*), dan penyulang sub-cabang (*sub-lateral feeder*) [1].



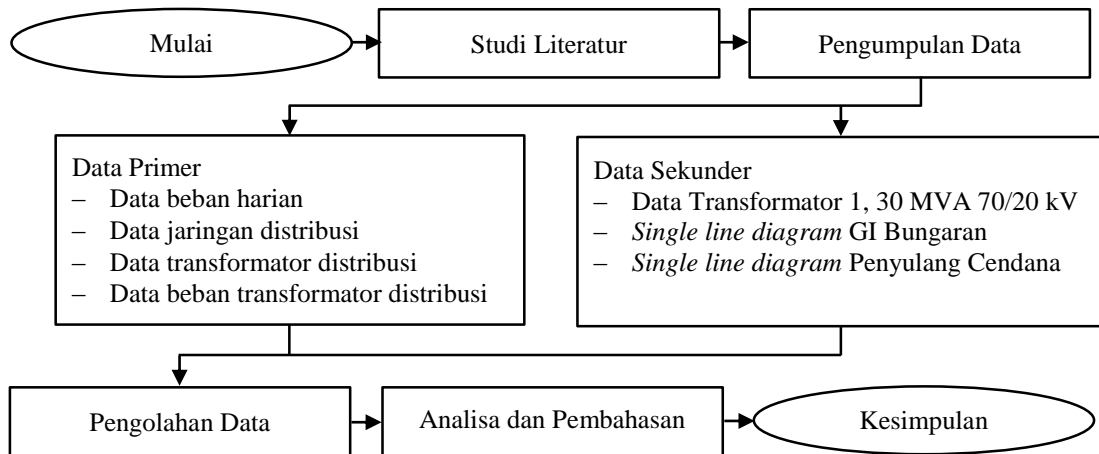
Gambar 1. Jaringan Tegangan Menengah Tipe Radial

Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan (ΔV) merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh nilai tahanan penghantar (R), besar arus yang mengalir pada penghantar (I), dan panjang penghantar (l). Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang penghantar dan beban serta berbanding

terbalik dengan luas penampang penghantar. Jaringan tegangan menengah yang mempunyai panjang saluran sangat pendek, hanya memperhitungkan jatuh tegangan yang disebabkan oleh tahanan penghantar, karena nilai reaktansi penghantar (X) relatif kecil, maka pengaruhnya terhadap arus yang mengalir pada penghantar dapat diabaikan [4].

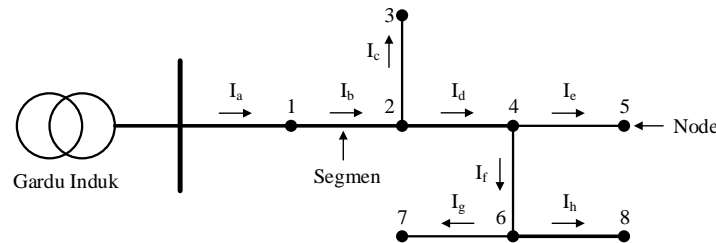
2. METODE PENELITIAN



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode topologi jaringan. Metode ini digunakan untuk menentukan jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah berdasarkan tegangan yang sampai di sisi beban dan daya yang terpakai di sisi beban, yang dikombinasikan dengan hasil pengukuran [5]. Tahapan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

Topologi Jaringan Tegangan Menengah Tipe Radial



Gambar 3. Topologi Jaringan Tegangan Menengah Tipe Radial

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa [5]:

- Node atau titik simpul beban adalah titik percabangan pada jaringan yang terhubung langsung ke beban. Apabila $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah indeks dari node yang merepresentasikan beban. Maka $I_i = I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ adalah representasi arus yang diinjeksikan pada setiap node (arus node).
- Segmen adalah bagian dari jaringan yang terletak antara dua buah node. Apabila $j = a, b, c, \dots, n$ adalah indeks dari segmen yang menggabungkan dua node. Maka $I_j = I_a, I_b, I_c, \dots, I_n$ adalah arus yang lewat pada setiap segmen (arus segmen).

Berdasarkan hukum kirchoff:

$$I_i = \sum_{j \in \varepsilon i} I_j \quad (1)$$

Berdasarkan gambar 3, persamaan (1) dapat dituliskan dalam hubungan matrik, yaitu [5]:

$$[I_i] = [\tau] \times [I_j] \rightarrow \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \\ I_g \\ I_h \end{bmatrix} \quad (2)$$

Persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi persamaan (3):

$$[I_j] = [A] \times [I_i] \rightarrow \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \\ I_e \\ I_f \\ I_g \\ I_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 \\ I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 \\ I_3 \\ I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 \\ I_5 \\ I_6 + I_7 + I_8 \\ I_7 \\ I_8 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dimana:

ϵ_i = Kumpulan dari node yang terhubung pada node i pada suatu jaringan distribusi

$[I_i]$ = Matrik kolom ($n \times 1$) dari arus injeksi pada setiap node

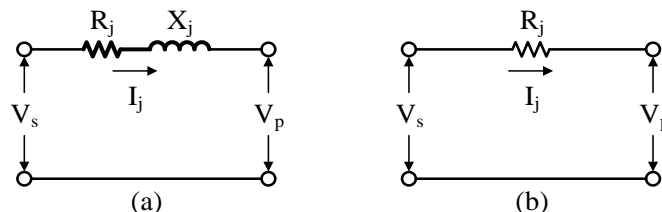
$[I_j]$ = Matrik kolom ($n \times 1$) dari arus segmen

$[\tau]$ = Matrik bujur sangkar ($n \times n$) yang menggambarkan topologi dari jaringan

$[A]$ = Matrik bujur sangkar ($n \times n$) yang merupakan matrik invers topologi jaringan

Representasi Segmen Jaringan Tegangan Menengah Tipe Radial

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat-sifat listrik sebagai parameter saluran, seperti tahanan dan reaktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu jauh (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV, maka reaktansi (X_j) jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan tahanan (R_j) ($X_j < R_j$), maka X_j dapat diabaikan [1].



Gambar 4. Representasi Segmen Jaringan Tegangan Menengah Tipe Radial
(a) Representasi Segmen dengan R_j dan X_j , (b) Representasi Segmen dengan X_j diabaikan

Tahanan Segmen

Temperatur terendah penghantar telanjang pada jaringan tegangan menengah adalah 20°C . Karena pembentukan lilitan membuatnya menjadi lebih panjang dari penghantar itu sendiri. Untuk setiap km penghantar, arus disetiap serat (terkecuali yang tepat di tengah) mengalir lebih dari 1 km penghantar, kenaikan tahanan karena pembentukan lilitan seperti ini diperkirakan mencapai 1% untuk penghantar dengan tiga serat, dan 2% untuk penghantar dengan lilitan konsentris. Pada saat penghantar dialiri arus maka temperatur kerja penghantar berubah menjadi 25°C . Maka nilai tahanan penghantar segmen tiap fasa (R, S, T) setelah adanya kenaikan temperatur dari 20°C menjadi 25°C adalah [5]:

$$R_{T_2j} = R_{1\phi j} = K_r \times R_{T_1j} \times l_j \times (1 + \alpha_{T_1}(T_2 - T_1)) \quad (4)$$

Dimana:

R_{T_1j} = Tahanan penghantar segmen j pada temperatur $T_1 = 20^\circ\text{C}$ (Ω/km)

$R_{T_2j} = R_{1\phi j}$ = Tahanan penghantar segmen j pada temperatur $T_2 = 25^\circ\text{C}$ (Ω)

- K_r = Faktor koreksi untuk tahanan penghantar segmen j yang dipilin = 1,0 untuk saluran padat; 1,01 untuk saluran terdiri dari 2 pilin; 1,02 untuk saluran lebih dari 2 pilin
- α_{T_1} = Koefisien temperatur tahanan ($1/^\circ\text{C}$) = $4,03 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ pada temperatur 20°C

Arus Node

Untuk mendapatkan arus beban (I_i) dari setiap node dapat dihitung dengan pendekatan: tegangan minimal yang ditetapkan untuk jaringan tegangan menengah adalah $0,95 V_n$, dan faktor daya untuk jaringan tegangan menengah diambil sama untuk setiap terminal beban yaitu $\cos \varphi = 0,85$ [6]. Arus beban 1 fasa setiap node diukur pada sisi sekunder transformator distribusi ($I_{1\phi \text{sekunder } i}$). Maka daya aktif beban 1 fasa tiap node ($P_{1\phi i}$) adalah [5]:

$$P_{1\phi i} = V_{1\phi \text{sekunder } i} \times I_{1\phi \text{sekunder } i} \times \cos \varphi \quad (5)$$

Untuk menentukan arus beban 1 fasa sisi primer transformator distribusi tiap node, maka daya aktif beban 1 fasa tiap node ditransformasikan ke sisi primer transformator distribusi. Maka arus beban 1 fasa sisi primer transformator distribusi tiap node ($I_{1\phi \text{primer } i} = I_{1\phi i}$) adalah [5]:

$$I_{1\phi \text{primer } i} = I_{1\phi i} = \frac{P_{1\phi i}}{0,95 \times V_{1\phi \text{primer } i} \times \cos \varphi} \quad (6)$$

Dimana:

$V_{1\phi \text{sekunder } i}$ = Tegangan sumber 1 fasa sisi sekunder node i

$V_{1\phi \text{primer } i}$ = Tegangan sumber 1 fasa sisi primer node i ($20 \text{ kV}/\sqrt{3}$)

Arus Segmen

Arus segmen dapat ditentukan dengan menjumlahkan arus beban dari tiap node. Dari gambar 3 dan dengan menggunakan perkalian matrik invers topologi jaringan radial (persamaan 3), maka arus segmen 1 fasa ($I_{1\phi j}$) adalah [5]:

$$[I_{1\phi j}] = [A] \times [I_{1\phi i}] \quad (7)$$

Jatuh Tegangan Tiap Segmen

Jatuh tegangan tiap segmen disebabkan oleh adanya tahanan pada penghantar segmen dan arus node. Dari gambar 3, maka jatuh tegangan 1 fasa tiap segmen ($\Delta V_{1\phi j}$) adalah [5]:

$$\Delta V_{1\phi j} = I_{1\phi j} \times R_{1\phi j} \quad (8)$$

Kemudian jatuh tegangan 3 fasa tiap segmen ($\Delta V_{3\phi j}$) dapat ditentukan dengan menjumlahkan jatuh tegangan tiap segmen pada fasa R, S, T, yaitu [5]:

$$\Delta V_{3\phi j} = \frac{\Delta V_{Rj} + \Delta V_{Sj} + \Delta V_{Tj}}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

Jatuh Tegangan Dari Gardu Induk Ke Node

Jatuh tegangan dari Gardu Induk (GI) ke node dapat ditentukan dengan menjumlahkan jatuh tegangan tiap segmen. Dari gambar 3 dan menggunakan transpose matrik invers topologi jaringan radial $[A]^T$, maka jatuh tegangan 1 fasa dari gardu induk ke node ($\Delta V_{1\phi \text{GI ke } i}$) adalah [5]:

$$[\Delta V_{1\phi \text{GI ke } i}] = [A]^T \times [\Delta V_{1\phi j}] \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{1\phi \text{GI ke } 1} \\ \Delta V_{1\phi \text{GI ke } 2} \\ \Delta V_{1\phi \text{GI ke } 3} \\ \Delta V_{1\phi \text{GI ke } 4} \\ \Delta V_{1\phi \text{GI ke } 5} \\ \Delta V_{1\phi \text{GI ke } 6} \\ \Delta V_{1\phi \text{GI ke } 7} \\ \Delta V_{1\phi \text{SGI ke } 8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta V_{1\phi a} \\ \Delta V_{1\phi b} \\ \Delta V_{1\phi c} \\ \Delta V_{1\phi d} \\ \Delta V_{1\phi e} \\ \Delta V_{1\phi f} \\ \Delta V_{1\phi g} \\ \Delta V_{1\phi h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta V_{1\phi a} \\ \Delta V_{1\phi b} + \Delta V_{1\phi a} \\ \Delta V_{1\phi c} + \Delta V_{1\phi a} + \Delta V_{1\phi b} \\ \Delta V_{1\phi d} + \Delta V_{1\phi a} + \Delta V_{1\phi b} + \Delta V_{1\phi c} \\ \Delta V_{1\phi e} + \Delta V_{1\phi a} + \Delta V_{1\phi b} + \Delta V_{1\phi c} + \Delta V_{1\phi d} \\ \Delta V_{1\phi f} + \Delta V_{1\phi a} + \Delta V_{1\phi b} + \Delta V_{1\phi c} + \Delta V_{1\phi d} + \Delta V_{1\phi e} \\ \Delta V_{1\phi g} + \Delta V_{1\phi a} + \Delta V_{1\phi b} + \Delta V_{1\phi c} + \Delta V_{1\phi d} + \Delta V_{1\phi e} + \Delta V_{1\phi f} \\ \Delta V_{1\phi h} + \Delta V_{1\phi a} + \Delta V_{1\phi b} + \Delta V_{1\phi c} + \Delta V_{1\phi d} + \Delta V_{1\phi e} + \Delta V_{1\phi f} + \Delta V_{1\phi g} \end{bmatrix}$$

Maka persentase jatuh tegangan 1 fasa dari gardu induk sampai ke node ($\Delta V_{1\phi \text{GI ke } i} \%$) [5]:

$$\Delta V_{1\phi GI \text{ ke } i} (\%) = \frac{\Delta V_{1\phi GI \text{ ke } i}}{V_{1\phi primer}} \times 100 \% \quad (11)$$

Kemudian jatuh tegangan 3 fasa dari gardu induk ke node ($\Delta V_{3\phi GI \text{ ke } i}$) dapat ditentukan dengan menjumlahkan jatuh tegangan fasa R, S, T dari gardu induk ke node, yaitu [5]:

$$\Delta V_{3\phi GI \text{ ke } i} = \frac{\Delta V_{R \text{ GI ke } i} + \Delta V_{S \text{ GI ke } i} + \Delta V_{T \text{ GI ke } i}}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

Maka persentase jatuh tegangan 3 fasa dari gardu induk sampai ke node ($\Delta V_{3\phi GI \text{ ke } i} (\%)$) [5]:

$$\Delta V_{3\phi GI \text{ ke } i} (\%) = \frac{\Delta V_{3\phi GI \text{ ke } i}}{V_{3\phi primer}} \times 100 \% \quad (13)$$

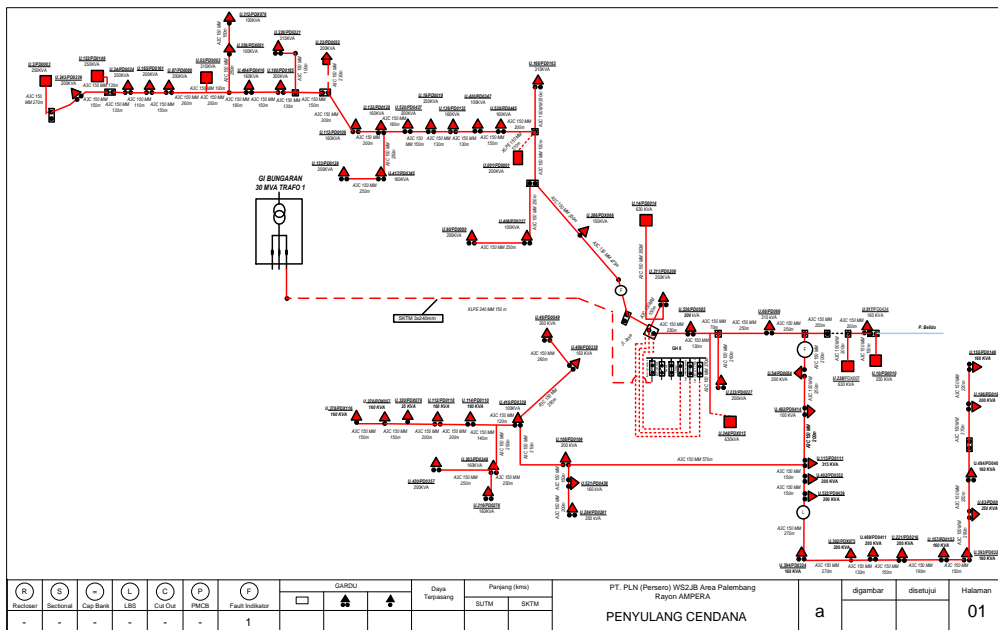
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyulang Cendana disuplai melalui Transformator 1, 30 MVA 70/20 kV Gardu Induk Bungaran Palembang.

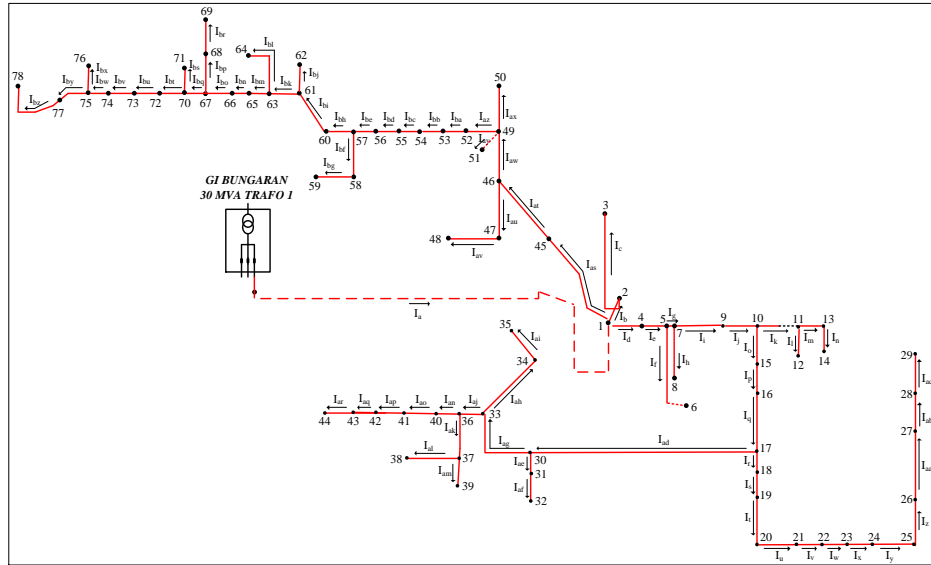
Data Penelitian

Data Penyulang Cendana

- Panjang Penyulang Cendana : 16,505 km
- Jumlah Transformator Distribusi : 65 buah
- Jenis Penghantar : AAAC
- Luas Penampang Penghantar : 150 mm²
- Tahanan Penghantar : 0,2162 Ω/km [2]



Gambar 5. Single Line Diagram Penyulang Cendana



Gambar 6. Topologi Penyulang Cendana

Data Beban Harian Penyulang Cendana

Beban harian rata-rata Penyulang Cendana selama bulan Maret tahun 2020 bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Beban Harian Penyulang Cendana Bulan Maret Tahun 2020

Jam	Beban Harian Rata-Rata				Jam	Beban Harian Rata-Rata			
	I_R (A)	I_S (A)	I_T (A)	$I_{3\phi}$ (A)		I_R (A)	I_S (A)	I_T (A)	$I_{3\phi}$ (A)
00.00	140	139	140	242	14.00	147	146	149	256
01.00	138	136	138	238	15.00	144	143	146	250
02.00	136	134	137	235	16.00	139	139	137	239
03.00	134	132	134	231	17.00	146	146	148	254
04.00	132	131	133	228	18.00	152	151	153	264
05.00	129	128	130	223	18.30	156	156	158	271
06.00	126	124	126	217	19.00	161	160	162	279
07.00	124	122	124	214	19.30	156	155	157	270
08.00	126	124	126	217	20.00	158	157	160	274
09.00	133	132	134	230	21.00	156	155	157	270
10.00	138	136	139	238	22.00	150	149	151	260
11.00	139	138	137	239	23.00	144	143	145	250
12.00	146	145	147	253	24.00	140	139	140	242
13.00	148	147	149	256					

Data Beban Transformator Distribusi Penyulang Cendana

Beban pada Penyulang Cendana adalah transformator distribusi 20 kV, dan berdasarkan gambar 6 terdapat 78 node (Tabel 2).

Tabel 2. Data Beban Pada Sisi Sekunder Transformator Distribusi Penyulang Cendana

Node i	Gardu	Kapasitas (kVA)	Beban Pada Sisi Sekunder Transformator Distribusi								
			Fasa R			Fasa S			Fasa T		
			V_R (V)	I_R (A)	P_R (kW)	V_S (V)	I_S (A)	P_S (kW)	V_T (V)	I_T (A)	P_T (kW)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	U.211	250	220	117	20,55	221	100	17,67	219	122	21,40
3	U.014	630	218	106	18,44	219	114	20,01	220	87	15,30
4	U.536	200	220	86	15,12	219	101	17,70	220	110	19,37
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	U.348	630	220	56	9,89	219	59	10,39	220	183	32,15
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	U.233	200	220	58	10,27	219	75	13,08	220	43	7,55

9	U.066	315	217	257	44,55	218	276	48,07	219	251	43,96
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	U.228	630	219	152	26,63	221	124	21,94	220	164	28,86
13	U.517	160	218	106	18,44	220	80	14,11	219	147	25,84
14	U.010	250	217	245	42,45	218	185	32,18	218	188	32,82
15	U.054	200	220	174	30,63	218	163	28,35	219	175	30,66
16	U.492	100	220	66	11,63	219	75	13,08	220	40	6,97
17	U.115	315	217	269	46,66	218	259	45,20	219	261	45,70
18	U.402	200	218	167	29,20	219	139	24,44	220	140	24,60
19	U.522	200	218	165	28,81	219	161	28,28	220	144	25,37
20	U.394	160	220	119	20,94	219	133	23,28	220	119	20,92
21	U.302	200	218	149	25,93	219	131	22,90	220	87	15,30
22	U.489	200	219	119	20,84	220	115	20,30	220	100	17,63
23	U.221	200	220	149	26,17	218	205	35,82	219	167	29,31
24	U.157	160	220	53	9,30	221	43	7,57	220	50	8,72
25	U.393	160	220	138	24,23	220	86	15,08	220	73	12,78
26	U.063	250	221	43	7,59	220	130	22,81	220	113	19,95
27	U.484	160	220	113	19,97	220	130	22,81	220	81	14,33
28	U.196	200	218	155	27,08	219	139	24,44	220	127	22,27
29	U.150	160	220	52	9,11	220	58	10,24	221	51	8,95
30	U.108	200	220	74	12,99	220	138	24,35	220	163	28,67
31	U.521	160	220	117	20,55	220	116	20,49	220	106	18,59
32	U.284	250	217	246	42,64	220	132	23,19	220	139	24,41
33	U.410	100	220	58	10,27	220	51	8,89	220	124	21,89
34	U.409	160	220	78	13,76	221	47	8,35	220	80	14,14
35	U.049	200	220	167	29,47	218	174	30,26	219	164	28,73
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	U.263	160	220	93	16,28	220	103	18,17	220	99	17,43
38	U.430	200	219	123	21,61	220	116	20,49	220	111	19,56
39	U.316	160	220	117	20,55	219	118	20,59	220	112	19,76
40	U.114	160	220	99	17,45	220	71	12,56	220	77	13,56
41	U.112	160	220	101	17,83	220	90	15,85	219	114	20,05
42	U.320	160	220	90	15,90	219	114	20,01	220	102	18,01
43	U.270	160	219	123	21,61	220	111	19,52	220	110	19,37
44	U.378	160	218	162	28,24	219	137	24,05	220	132	23,24
45	U.286	160	220	123	21,71	220	110	19,33	220	106	18,59
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	U.408	100	220	98	17,25	220	76	13,34	221	65	11,48
48	U.090	200	220	76	13,38	220	94	16,62	220	81	14,33
49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	U.001	200	220	72	12,60	219	153	26,75	219	160	27,96
51	U.168	315	218	196	34,19	220	181	31,89	219	165	28,92
52	U.530	160	220	65	11,44	220	66	11,60	220	51	8,91
53	U.420	100	220	79	13,96	220	88	15,46	219	95	16,58
54	U.136	160	218	159	27,66	219	169	29,63	220	114	20,14
55	U.019	250	220	177	31,21	218	195	34,09	220	194	34,09
56	U.520	200	218	176	30,73	220	116	20,49	219	207	36,25
57	U.132	160	219	134	23,54	220	115	20,30	220	136	24,02
58	U.417	160	218	158	27,47	220	119	20,88	219	135	23,72
59	U.133	200	220	74	12,99	219	87	15,20	220	69	12,20
60	U.113	160	220	84	14,73	219	86	15,01	220	65	11,43
61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	U.032	200	220	165	29,08	219	169	29,63	218	200	34,93
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	U.226	315	220	75	13,18	219	93	16,35	217	106	18,34
65	U.190	200	220	221	38,96	219	217	38,10	218	225	39,15
66	U.494	160	220	143	25,20	219	144	25,21	220	113	19,95
67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	U.256	100	219	96	16,79	220	90	15,85	220	80	14,14

69	U.312	100	220	96	16,87	220	81	14,30	220	74	12,98
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	U.002	315	220	135	23,84	220	121	21,26	219	143	25,07
72	U.087	200	219	170	29,72	218	197	34,28	220	176	30,99
73	U.165	200	220	141	24,81	219	172	30,21	217	179	31,14
74	U.034	250	219	182	31,84	218	238	41,56	217	250	43,37
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	U.153	250	219	104	18,14	220	77	13,53	220	97	17,04
77	U.243	200	220	74	12,99	220	77	13,53	220	90	15,88
78	U.003	250	220	22	3,88	220	66	11,60	220	66	11,62

Data Jaringan Distribusi Penyulang Cendana

Jaringan distribusi Penyulang Cendana adalah penghantar, dan berdasarkan gambar 6 terdapat 78 segmen (Tabel 3).

Tabel 3. Data Jaringan Distribusi Penyulang Cendana

Segmen j = node ke node	l (km)	Jenis	A (mm ²)	R _{T1} = R _{20°C} (Ω/km)	Segmen j = node ke node	l (km)	Jenis	A (mm ²)	R _{T1} = R _{20°C} (Ω/km)
a = GIB ke 1	0,15	AAAC	150	0,2162	an = 36 ke 40	0,14	AAAC	150	0,2162
b = 1 ke 2	0,15	AAAC	150	0,2162	ao = 40 ke 41	0,20	AAAC	150	0,2162
c = 2 ke 3	0,35	AAAC	150	0,2162	ap = 41 ke 42	0,20	AAAC	150	0,2162
d = 1 ke 4	0,25	AAAC	150	0,2162	aq = 42 ke 43	0,15	AAAC	150	0,2162
e = 4 ke 5	0,13	AAAC	150	0,2162	ar = 43 ke 44	0,15	AAAC	150	0,2162
f = 5 ke 6	0,37	AAAC	150	0,2162	as = 1 ke 45	0,48	AAAC	150	0,2162
g = 5 ke 7	0,07	AAAC	150	0,2162	at = 45 ke 46	0,35	AAAC	150	0,2162
h = 7 ke 8	0,26	AAAC	150	0,2162	au = 46 ke 47	0,25	AAAC	150	0,2162
i = 7 ke 9	0,25	AAAC	150	0,2162	av = 47 ke 48	0,25	AAAC	150	0,2162
j = 9 ke 10	0,25	AAAC	150	0,2162	aw = 46 ke 49	0,15	AAAC	150	0,2162
k = 10 ke 11	0,25	AAAC	150	0,2162	ax = 49 ke 50	0,17	AAAC	150	0,2162
l = 11 ke 12	0,20	AAAC	150	0,2162	ay = 49 ke 51	0,35	AAAC	150	0,2162
m = 11 ke 13	0,20	AAAC	150	0,2162	az = 49 ke 52	0,20	AAAC	150	0,2162
n = 13 ke 14	0,15	AAAC	150	0,2162	ba = 52 ke 53	0,15	AAAC	150	0,2162
o = 10 ke 15	0,20	AAAC	150	0,2162	bb = 53 ke 54	0,13	AAAC	150	0,2162
p = 15 ke 16	0,25	AAAC	150	0,2162	bc = 54 ke 55	0,13	AAAC	150	0,2162
q = 16 ke 17	0,20	AAAC	150	0,2162	bd = 55 ke 56	0,15	AAAC	150	0,2162
r = 17 ke 18	0,15	AAAC	150	0,2162	be = 56 ke 57	0,15	AAAC	150	0,2162
s = 18 ke 19	0,15	AAAC	150	0,2162	bf = 57 ke 58	0,25	AAAC	150	0,2162
t = 19 ke 20	0,27	AAAC	150	0,2162	bg = 58 ke 59	0,25	AAAC	150	0,2162
u = 20 ke 21	0,27	AAAC	150	0,2162	bh = 57 ke 60	0,20	AAAC	150	0,2162
v = 21 ke 22	0,13	AAAC	150	0,2162	bi = 60 ke 61	0,30	AAAC	150	0,2162
w = 22 ke 23	0,15	AAAC	150	0,2162	bj = 61 ke 62	0,23	AAAC	150	0,2162
x = 23 ke 24	0,19	AAAC	150	0,2162	bk = 61 ke 63	0,15	AAAC	150	0,2162
y = 24 ke 25	0,15	AAAC	150	0,2162	bl = 63 ke 64	0,10	AAAC	150	0,2162
z = 25 ke 26	0,28	AAAC	150	0,2162	bm = 63 ke 65	0,13	AAAC	150	0,2162
aa = 26 ke 27	0,25	AAAC	150	0,2162	bn = 65 ke 66	0,15	AAAC	150	0,2162
ab = 27 ke 28	0,37	AAAC	150	0,2162	bo = 66 ke 67	0,18	AAAC	150	0,2162
ac = 28 ke 29	0,23	AAAC	150	0,2162	bp = 67 ke 68	0,25	AAAC	150	0,2162
ad = 17 ke 30	0,57	AAAC	150	0,2162	bq = 68 ke 69	0,15	AAAC	150	0,2162
ae = 30 ke 31	0,15	AAAC	150	0,2162	br = 67 ke 70	0,20	AAAC	150	0,2162
af = 31 ke 32	0,20	AAAC	150	0,2162	bs = 70 ke 71	0,10	AAAC	150	0,2162
ag = 30 ke 33	0,31	AAAC	150	0,2162	bt = 70 ke 72	0,26	AAAC	150	0,2162
ah = 33 ke 34	0,29	AAAC	150	0,2162	bu = 72 ke 73	0,15	AAAC	150	0,2162
ai = 34 ke 35	0,26	AAAC	150	0,2162	bv = 73 ke 74	0,11	AAAC	150	0,2162
aj = 33 ke 36	0,12	AAAC	150	0,2162	bw = 74 ke 75	0,13	AAAC	150	0,2162
ak = 36 ke 37	0,25	AAAC	150	0,2162	bx = 75 ke 76	0,13	AAAC	150	0,2162
al = 37 ke 38	0,25	AAAC	150	0,2162	by = 75 ke 77	0,15	AAAC	150	0,2162
am = 37 ke 39	0,25	AAAC	150	0,2162	bz = 77 ke 78	0,27	AAAC	150	0,2162

Hasil

Tahanan Segmen Penyulang Cendana

Berdasarkan gambar 6 dan dengan menggunakan persamaan (4) maka tahanan segmen a untuk fasa R, S, T adalah:

$$R_{1\phi a} = K_r \times R_{T_1 a} \times l_a \times (1 + \alpha_{T_1}(T_2 - T_1))$$

$$= 1,02 \times 0,2162 \times 0,1500 \times (1 + 0,00403(25 - 20)) = 0,0337 \Omega$$

Kemudian untuk nilai tahanan segmen b sampai segmen bz dapat ditentukan dengan cara yang sama, dan hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tahanan Segmen Penyulang Cendana

Segmen j	$R_{1\phi j} (\Omega)$	Segmen j	$R_{1\phi j} (\Omega)$	Segmen j	$R_{1\phi j} (\Omega)$	Segmen j	$R_{1\phi j} (\Omega)$
a	0,0337	u	0,0607	ao	0,0450	bi	0,0675
b	0,0337	v	0,0292	ap	0,0450	bj	0,0517
c	0,0787	w	0,0337	aq	0,0337	bk	0,0337
d	0,0562	x	0,0427	ar	0,0337	bl	0,0225
e	0,0292	y	0,0337	as	0,1069	bm	0,0292
f	0,0832	z	0,0630	at	0,0787	bn	0,0337
g	0,0157	aa	0,0562	au	0,0562	bo	0,0405
h	0,0585	ab	0,0832	av	0,0562	bp	0,0562
i	0,0562	ac	0,0517	aw	0,0337	bq	0,0337
j	0,0562	ad	0,1282	ax	0,0382	br	0,0450
k	0,0562	ae	0,0337	ay	0,0787	bs	0,0225
l	0,0450	af	0,0450	az	0,0450	bt	0,0585
m	0,0450	ag	0,0697	ba	0,0337	bu	0,0337
n	0,0337	ah	0,0652	bb	0,0292	bv	0,0247
o	0,0450	ai	0,0585	bc	0,0292	bw	0,0292
p	0,0562	aj	0,0270	bd	0,0337	bx	0,0292
q	0,0450	ak	0,0562	be	0,0337	by	0,0337
r	0,0337	al	0,0562	bf	0,0562	bz	0,0607
s	0,0337	am	0,0562	bg	0,0562		
t	0,0607	an	0,0315	bh	0,0450		

Arus Node dan Arus Segmen Penyulang Cendana

Berdasarkan gambar 6 dan dengan menggunakan persamaan (6) maka arus node 2 untuk fasa R, S, T adalah:

$$I_{R2} = \frac{P_{R2}}{0,95 \times V_{R primer 2} \times \cos \varphi} = \frac{20,55}{0,95 \times 20/\sqrt{3} \times 0,85} = 2,34 A$$

$$I_{S2} = \frac{P_{S2}}{0,95 \times V_{S primer 2} \times \cos \varphi} = \frac{17,67}{0,95 \times 20/\sqrt{3} \times 0,85} = 2,01 A$$

$$I_{T2} = \frac{P_{T2}}{0,95 \times V_{T primer 2} \times \cos \varphi} = \frac{21,40}{0,95 \times 20/\sqrt{3} \times 0,85} = 2,44 A$$

Kemudian arus node 3 sampai node 78 dapat ditentukan dengan cara yang sama. Selanjutnya arus segmen a sampai segmen bz untuk fasa R, S, T dapat ditentukan berdasarkan gambar 6 dan dengan menggunakan persamaan (7). Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Arus Node dan Arus Segmen Tiap Fasa Penyulang Cendana

Arus Node (A)				Arus segmen (A)				
Node i	I_{Ri}	I_{Si}	I_{Ti}	Segmen j	$I_{1\phi j}$	I_{Rj}	I_{Sj}	I_{Tj}
1	0,00	0,00	0,00	a	$I_a = I_1 + I_b + I_d + I_{as}$	160,87	159,82	161,97
2	2,34	2,01	2,44	b	$I_b = I_2 + I_c$	4,44	4,29	4,18
3	2,10	2,28	1,74	c	$I_c = I_3$	2,10	2,28	1,74
4	1,72	2,02	2,21	d	$I_d = I_4 + I_e$	90,55	87,61	89,04
5	0,00	0,00	0,00	e	$I_e = I_5 + I_f + I_g$	88,82	85,59	86,84
6	1,13	1,18	3,66	f	$I_f = I_6$	1,13	1,18	3,66

7	0,00	0,00	0,00	g	$I_g = I_7 + I_h + I_i$	87,70	84,41	83,17
8	1,17	1,49	0,86	h	$I_h = I_8$	1,17	1,49	0,86
9	5,08	5,48	5,01	i	$I_i = I_9 + I_j$	86,53	82,92	82,31
10	0,00	0,00	0,00	j	$I_j = I_{10} + I_k + I_o$	81,45	77,44	77,30
11	0,00	0,00	0,00	k	$I_k = I_{11} + I_l + I_m$	9,97	7,77	9,97
12	3,03	2,50	3,29	l	$I_l = I_{12}$	3,03	2,50	3,29
13	2,10	1,61	2,94	m	$I_m = I_{13} + I_n$	6,94	5,27	6,68
14	4,84	3,67	3,74	n	$I_n = I_{14}$	4,84	3,67	3,74
15	3,49	3,23	3,49	o	$I_o = I_{15} + I_p$	71,48	69,67	67,33
16	1,33	1,49	0,79	p	$I_p = I_{16} + I_q$	67,99	66,44	63,84
17	5,32	5,15	5,21	q	$I_q = I_{17} + I_r + I_{ad}$	66,66	64,95	63,04
18	3,33	2,78	2,80	r	$I_r = I_{18} + I_s$	28,39	29,39	25,08
19	3,28	3,22	2,89	s	$I_s = I_{19} + I_t$	25,07	26,61	22,28
20	2,39	2,65	2,38	t	$I_t = I_{20} + I_u$	21,78	23,39	19,39
21	2,95	2,61	1,74	u	$I_u = I_{21} + I_v$	19,40	20,73	17,01
22	2,37	2,31	2,01	v	$I_v = I_{22} + I_w$	16,44	18,12	15,26
23	2,98	4,08	3,34	w	$I_w = I_{23} + I_x$	14,07	15,81	13,25
24	1,06	0,86	0,99	x	$I_x = I_{24} + I_y$	11,09	11,73	9,91
25	2,76	1,72	1,46	y	$I_y = I_{25} + I_z$	10,03	10,87	8,92
26	0,87	2,60	2,27	z	$I_z = I_{26} + I_{aa}$	7,27	9,15	7,46
27	2,28	2,60	1,63	aa	$I_{aa} = I_{27} + I_{ab}$	6,40	6,55	5,19
28	3,09	2,78	2,54	ab	$I_{ab} = I_{28} + I_{ac}$	4,12	3,95	3,56
29	1,04	1,17	1,02	ac	$I_{ac} = I_{29}$	1,04	1,17	1,02
30	1,48	2,78	3,27	ad	$I_{ad} = I_{30} + I_{ae} + I_{ag}$	32,95	30,40	32,75
31	2,34	2,33	2,12	ae	$I_{ae} = I_{31} + I_{af}$	7,20	4,98	4,90
32	4,86	2,64	2,78	af	$I_{af} = I_{32}$	4,86	2,64	2,78
33	1,17	1,01	2,49	ag	$I_{ag} = I_{33} + I_{ah} + I_{aj}$	24,27	22,65	24,58
34	1,57	0,95	1,61	ah	$I_{ah} = I_{34} + I_{ai}$	4,93	4,40	4,88
35	3,36	3,45	3,27	ai	$I_{ai} = I_{35}$	3,36	3,45	3,27
36	0,00	0,00	0,00	aj	$I_{aj} = I_{36} + I_{ak} + I_{an}$	18,17	17,23	17,21
37	1,86	2,07	1,99	ak	$I_{ak} = I_{37} + I_{al} + I_{am}$	6,66	6,75	6,47
38	2,46	2,33	2,23	al	$I_{al} = I_{38}$	2,46	2,33	2,23
39	2,34	2,35	2,25	am	$I_{am} = I_{39}$	2,34	2,35	2,25
40	1,99	1,43	1,54	an	$I_{an} = I_{40} + I_{ao}$	11,51	10,48	10,74
41	2,03	1,81	2,28	ao	$I_{ao} = I_{41} + I_{ap}$	9,52	9,05	9,19
42	1,81	2,28	2,05	ap	$I_{ap} = I_{42} + I_{aq}$	7,49	7,25	6,91
43	2,46	2,22	2,21	aq	$I_{aq} = I_{43} + I_{ar}$	5,68	4,97	4,86
44	3,22	2,74	2,65	ar	$I_{ar} = I_{44}$	3,22	2,74	2,65
45	2,47	2,20	2,12	as	$I_{as} = I_{45} + I_{at}$	65,88	67,91	68,74
46	0,00	0,00	0,00	at	$I_{at} = I_{46} + I_{au} + I_{aw}$	63,41	65,71	66,62
47	1,97	1,52	1,31	au	$I_{au} = I_{47} + I_{av}$	3,49	3,41	2,94
48	1,52	1,89	1,63	av	$I_{av} = I_{48}$	1,52	1,89	1,63
49	0,00	0,00	0,00	aw	$I_{aw} = I_{49} + I_{ax} + I_{ay} + I_{az}$	59,92	62,30	63,68
50	1,44	3,05	3,19	ax	$I_{ax} = I_{50}$	1,44	3,05	3,19
51	3,90	3,63	3,30	ay	$I_{ay} = I_{51}$	3,90	3,63	3,30
52	1,30	1,32	1,02	az	$I_{az} = I_{52} + I_{ba}$	54,59	55,62	57,20
53	1,59	1,76	1,89	ba	$I_{ba} = I_{53} + I_{bb}$	53,28	54,29	56,18
54	3,15	3,38	2,30	bb	$I_{bb} = I_{54} + I_{bc}$	51,69	52,53	54,29
55	3,56	3,88	3,88	bc	$I_{bc} = I_{55} + I_{bd}$	48,54	49,16	52,00
56	3,50	2,33	4,13	bd	$I_{bd} = I_{56} + I_{be}$	44,98	45,27	48,11
57	2,68	2,31	2,74	be	$I_{be} = I_{57} + I_{bf} + I_{bh}$	41,48	42,94	43,98
58	3,13	2,38	2,70	bf	$I_{bf} = I_{58} + I_{bg}$	4,61	4,11	4,09
59	1,48	1,73	1,39	bg	$I_{bg} = I_{59}$	1,48	1,73	1,39
60	1,68	1,71	1,30	bh	$I_{bh} = I_{60} + I_{bi}$	34,19	36,51	37,15
61	0,00	0,00	0,00	bi	$I_{bi} = I_{61} + I_{bj} + I_{bk}$	32,51	34,80	35,85
62	3,31	3,38	3,98	bj	$I_{bj} = I_{62}$	3,31	3,38	3,98
63	0,00	0,00	0,00	bk	$I_{bk} = I_{63} + I_{bl} + I_{bm}$	29,20	31,43	31,87
64	1,50	1,86	2,09	bl	$I_{bl} = I_{64}$	1,50	1,86	2,09
65	4,44	4,34	4,46	bm	$I_{bm} = I_{65} + I_{bn}$	27,69	29,56	29,78
66	2,87	2,87	2,27	bn	$I_{bn} = I_{66} + I_{bo}$	23,25	25,22	25,32
67	0,00	0,00	0,00	bo	$I_{bo} = I_{67} + I_{bp} + I_{br}$	20,38	22,35	23,04

68	1,91	1,81	1,61	bp	$I_{bp} = I_{68} + I_{bq}$	3,83	3,44	3,09
69	1,92	1,63	1,48	bq	$I_{bq} = I_{69}$	1,92	1,63	1,48
70	0,00	0,00	0,00	br	$I_{br} = I_{70} + I_{bs} + I_b$	16,55	18,91	19,95
71	2,72	2,42	2,86	bs	$I_{bs} = I_{71}$	2,72	2,42	2,86
72	3,39	3,91	3,53	bt	$I_{bt} = I_{72} + I_{bu}$	13,83	16,49	17,10
73	2,83	3,44	3,55	bu	$I_{bu} = I_{73} + I_{bv}$	10,44	12,58	13,57
74	3,63	4,74	4,94	bv	$I_{bv} = I_{74} + I_{bw}$	7,62	9,14	10,02
75	0,00	0,00	0,00	bw	$I_{bw} = I_{75} + I_{bx} + I_{by}$	3,99	4,41	5,08
76	2,07	1,54	1,94	bx	$I_{bx} = I_{76}$	2,07	1,54	1,94
77	1,48	1,54	1,81	by	$I_{by} = I_{77} + I_{bz}$	1,92	2,86	3,13
78	0,44	1,32	1,32	bz	$I_{bz} = I_{78}$	0,44	1,32	1,32

Jatuh Tegangan Tiap Segmen Penyulang Cendana

Berdasarkan gambar 6 dan dengan menggunakan persamaan (8), maka jatuh tegangan segmen a untuk fasa R, S, T adalah:

$$\Delta V_{Ra} = I_{Ra} \times R_{Ra} = 160,87 \times 0,0337 = 63,22 \text{ V}$$

$$\Delta V_{Sa} = I_{Sa} \times R_{Sa} = 159,82 \times 0,0337 = 62,32 \text{ V}$$

$$\Delta V_{Ta} = I_{Ta} \times R_{Ta} = 161,97 \times 0,0337 = 63,94 \text{ V}$$

Kemudian jatuh tegangan segmen b sampai segmen bz dapat ditentukan dengan cara yang sama.

Dengan menggunakan persamaan (9) jatuh tegangan 3 fasa segmen a adalah:

$$\Delta V_{3\phi a} = \frac{\Delta V_{Ra} + \Delta V_{Sa} + \Delta V_{Ta}}{\sqrt{3}} = \frac{63,22 + 62,32 + 63,94}{\sqrt{3}} = 109,40 \text{ V}$$

Hasil perhitungan jatuh tegangan segmen dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan Tiap Segmen Penyulang Cendana

Segmen j	ΔV_{Rj} (V)	ΔV_{Sj} (V)	ΔV_{Tj} (V)	$\Delta V_{3\phi j}$ (V)	Segmen j	ΔV_{Rj} (V)	ΔV_{Sj} (V)	ΔV_{Tj} (V)	$\Delta V_{3\phi j}$ (V)
a	63,22	62,32	63,94	109,40	an	4,22	3,82	3,96	6,92
b	1,75	1,67	1,65	2,93	ao	4,99	4,71	4,84	8,39
c	1,93	2,07	1,61	3,24	ap	3,93	3,77	3,64	6,54
d	59,31	56,93	58,59	100,94	aq	2,23	1,94	1,92	3,51
e	30,25	28,92	29,71	51,32	ar	1,26	1,07	1,05	1,95
f	1,09	1,14	3,57	3,35	as	81,99	83,86	85,93	145,36
g	16,08	15,36	15,32	27,00	at	58,15	59,78	61,36	103,52
h	0,80	1,01	0,59	1,38	au	2,29	2,22	1,94	3,72
i	56,68	53,89	54,16	95,10	av	1,00	1,23	1,07	1,91
j	53,35	50,33	50,86	89,22	aw	23,55	24,29	25,14	42,13
k	6,53	5,05	6,56	10,48	ax	0,64	1,35	1,43	1,97
l	1,59	1,30	1,73	2,67	ay	3,57	3,31	3,04	5,72
m	3,64	2,74	3,52	5,71	az	28,60	28,91	30,11	50,59
n	1,90	1,43	1,48	2,78	ba	20,94	21,17	22,18	37,12
o	37,45	36,22	35,44	63,00	bb	17,61	17,75	18,57	31,14
p	44,53	43,17	42,00	74,89	bc	16,53	16,61	17,79	29,41
q	34,93	33,76	33,18	58,82	bd	17,68	17,65	18,99	31,36
r	11,16	11,46	9,90	18,78	be	16,30	16,74	17,36	29,10
s	9,85	10,38	8,80	16,76	bf	3,02	2,67	2,69	4,84
t	15,41	16,41	13,78	26,33	bg	0,97	1,13	0,91	1,74
u	13,72	14,55	12,08	23,30	bh	17,92	18,98	19,56	32,59
v	5,60	6,12	5,22	9,78	bi	25,55	27,14	28,30	46,76
w	5,53	6,17	5,23	9,77	bj	2,00	2,02	2,41	3,71
x	5,52	5,79	4,96	9,39	bk	11,47	12,25	12,58	20,96
y	3,94	4,24	3,52	6,75	bl	0,39	0,48	0,55	0,82
z	5,33	6,66	5,50	10,10	bm	9,43	9,99	10,19	17,10
aa	4,19	4,26	3,42	6,85	bn	9,14	9,83	9,99	16,72
ab	4,00	3,80	3,46	6,50	bo	9,61	10,46	10,92	17,89
ac	0,63	0,70	0,62	1,12	bp	2,51	2,23	2,03	3,91
ad	49,21	45,04	49,13	82,78	bq	0,76	0,64	0,58	1,14

ae	2,83	1,94	1,93	3,87	br	8,67	9,83	10,50	16,75
af	2,55	1,37	1,46	3,11	bs	0,71	0,63	0,75	1,21
ag	19,71	18,25	20,06	33,50	bt	9,42	11,14	11,70	18,63
ah	3,74	3,32	3,73	6,23	bu	4,10	4,91	5,36	8,29
ai	2,29	2,33	2,24	3,96	bv	2,20	2,61	2,90	4,45
aj	5,71	5,38	5,43	9,54	bw	1,36	1,49	1,74	2,65
ak	4,36	4,39	4,25	7,51	bx	0,70	0,52	0,66	1,09
al	1,61	1,52	1,47	2,65	by	0,76	1,12	1,24	1,79
am	1,53	1,52	1,48	2,62	bz	0,31	0,93	0,94	1,26

Jatuh Tegangan Dari Gardu Induk Bungaran Ke Node Penyulang Cendana

Berdasarkan gambar 6 dan dengan menggunakan persamaan (10), maka jatuh tegangan dari Gardu Induk Bungaran (GIB) ke node 1 untuk fasa R, S, T adalah:

$$\Delta V_{R \text{ GIB ke } 1} = \Delta V_{R a} = 63,22 \text{ V}$$

$$\Delta V_{S \text{ GIB ke } 1} = \Delta V_{S a} = 62,32 \text{ V}$$

$$\Delta V_{T \text{ GIB ke } 1} = \Delta V_{T a} = 63,94 \text{ V}$$

Maka persentase jatuh tegangan dari GIB ke node 1 untuk fasa R, S, T adalah:

$$\Delta V_{R \text{ GIB ke } 1} (\%) = \frac{\Delta V_{R \text{ GIB ke } 1}}{V_{1\phi \text{ primer}}} \times 100 \% = \frac{63,22}{20.000/\sqrt{3}} \times 100 \% = 0,55 \%$$

$$\Delta V_{S \text{ GIB ke } 1} (\%) = \frac{\Delta V_{S \text{ GIB ke } 1}}{V_{1\phi \text{ primer}}} \times 100 \% = \frac{62,32}{20.000/\sqrt{3}} \times 100 \% = 0,54 \%$$

$$\Delta V_{T \text{ GIB ke } 1} (\%) = \frac{\Delta V_{T \text{ GIB ke } 1}}{V_{1\phi \text{ primer}}} \times 100 \% = \frac{63,94}{20.000/\sqrt{3}} \times 100 \% = 0,55 \%$$

Dengan menggunakan persamaan (12) jatuh tegangan 3 fasa dari GIB ke node 1 adalah:

$$\Delta V_{3\phi \text{ GIB ke } 1} = \frac{\Delta V_{R \text{ GIB ke } 1} + \Delta V_{S \text{ GIB ke } 1} + \Delta V_{T \text{ GIB ke } 1}}{\sqrt{3}} = \frac{63,22 + 62,32 + 63,94}{\sqrt{3}} = 109,40 \text{ V}$$

Maka persentase jatuh tegangan 3 fasa GIB ke node 1 adalah:

$$\Delta V_{3\phi \text{ GIB ke } 1} (\%) = \frac{\Delta V_{3\phi \text{ GIB ke } 1}}{V_{3\phi \text{ primer}}} \times 100 \% = \frac{109,40}{20.000} \times 100 \% = 0,55 \%$$

Hasil perhitungan jatuh tegangan dari GIB ke node dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan Dari Gardu Induk Bungaran Ke Node Penyulang Cendana

Jatuh Tegangan dari GIB ke node i	$\Delta V_{R \text{ GIB ke } i}$		$\Delta V_{S \text{ GIB ke } i}$		$\Delta V_{T \text{ GIB ke } i}$		$\Delta V_{3\phi \text{ GIB ke } i}$	
	(V)	(%)	(V)	(%)	(V)	(%)	(V)	(%)
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 1} = \Delta V_{1\phi a}$	63,22	0,55	62,32	0,54	63,94	0,55	109,40	0,55
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 2} = \Delta V_{1\phi b} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 1}$	64,97	0,56	63,99	0,55	65,59	0,57	112,32	0,56
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 3} = \Delta V_{1\phi c} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 2}$	66,90	0,58	66,06	0,57	67,19	0,58	115,56	0,58
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 4} = \Delta V_{1\phi d} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 3}$	122,53	1,06	119,25	1,03	122,52	1,06	210,33	1,05
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 5} = \Delta V_{1\phi e} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 4}$	152,79	1,32	148,17	1,28	152,23	1,32	261,65	1,31
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 6} = \Delta V_{1\phi f} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 5}$	153,88	1,33	149,31	1,29	155,80	1,35	265,00	1,32
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 7} = \Delta V_{1\phi g} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 6}$	168,87	1,46	163,53	1,42	167,55	1,45	288,65	1,44
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 8} = \Delta V_{1\phi h} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 7}$	169,67	1,47	164,54	1,42	168,14	1,46	290,03	1,45
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 9} = \Delta V_{1\phi i} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 8}$	225,55	1,95	217,42	1,88	221,71	1,92	383,75	1,92
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 10} = \Delta V_{1\phi j} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 9}$	278,90	2,42	267,74	2,32	272,57	2,36	472,97	2,36
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 11} = \Delta V_{1\phi k} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 10}$	285,43	2,47	272,80	2,36	279,13	2,42	483,45	2,42
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 12} = \Delta V_{1\phi l} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 11}$	287,02	2,49	274,10	2,37	280,86	2,43	486,12	2,43
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 13} = \Delta V_{1\phi m} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 12}$	289,07	2,50	275,54	2,39	282,65	2,45	489,16	2,45
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 14} = \Delta V_{1\phi n} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 13}$	290,97	2,52	276,97	2,40	284,13	2,46	491,94	2,46
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 15} = \Delta V_{1\phi o} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 14}$	316,35	2,74	303,96	2,63	308,01	2,67	535,97	2,68
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 16} = \Delta V_{1\phi p} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 15}$	360,89	3,13	347,14	3,01	350,01	3,03	610,86	3,05
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 17} = \Delta V_{1\phi q} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 16}$	395,82	3,43	380,90	3,30	383,19	3,32	669,67	3,35
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 18} = \Delta V_{1\phi r} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 17}$	406,98	3,52	392,36	3,40	393,10	3,40	688,45	3,44
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 19} = \Delta V_{1\phi s} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 18}$	416,83	3,61	402,74	3,49	401,89	3,48	705,21	3,53
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 20} = \Delta V_{1\phi t} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 19}$	432,24	3,74	419,15	3,63	415,67	3,60	731,54	3,66
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 21} = \Delta V_{1\phi u} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 20}$	445,96	3,86	433,70	3,76	427,75	3,70	754,84	3,77
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 22} = \Delta V_{1\phi v} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke } 21}$	451,56	3,91	439,83	3,81	432,98	3,75	764,62	3,82

$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 23}} = \Delta V_{1\phi \text{ w}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 22}}$	457,09	3,96	445,99	3,86	438,21	3,79	774,40	3,87
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 24}} = \Delta V_{1\phi \text{ x}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 23}}$	462,61	4,01	451,79	3,91	443,17	3,84	783,79	3,92
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 25}} = \Delta V_{1\phi \text{ y}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 24}}$	466,55	4,04	456,03	3,95	446,69	3,87	790,55	3,95
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 26}} = \Delta V_{1\phi \text{ z}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 25}}$	471,88	4,09	462,68	4,01	452,19	3,92	800,64	4,00
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 27}} = \Delta V_{1\phi \text{ aa}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 26}}$	476,07	4,12	466,94	4,04	455,60	3,95	807,49	4,04
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 28}} = \Delta V_{1\phi \text{ ab}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 27}}$	480,07	4,16	470,74	4,08	459,07	3,98	814,00	4,07
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 29}} = \Delta V_{1\phi \text{ ac}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 28}}$	480,70	4,16	471,44	4,08	459,69	3,98	815,12	4,08
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 30}} = \Delta V_{1\phi \text{ ad}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 17}}$	445,02	3,85	425,94	3,69	432,32	3,74	752,46	3,76
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 31}} = \Delta V_{1\phi \text{ ae}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 30}}$	447,85	3,88	427,89	3,71	434,26	3,76	756,33	3,78
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 32}} = \Delta V_{1\phi \text{ af}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 31}}$	450,40	3,90	429,26	3,72	435,72	3,77	759,43	3,80
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 33}} = \Delta V_{1\phi \text{ ag}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 30}}$	464,74	4,02	444,19	3,85	452,38	3,92	785,95	3,93
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 34}} = \Delta V_{1\phi \text{ ah}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 33}}$	468,48	4,06	447,51	3,88	456,11	3,95	792,18	3,96
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 35}} = \Delta V_{1\phi \text{ ai}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 34}}$	470,77	4,08	449,84	3,90	458,35	3,97	796,14	3,98
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 36}} = \Delta V_{1\phi \text{ aj}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 33}}$	470,45	4,07	449,57	3,89	457,81	3,96	795,49	3,98
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 37}} = \Delta V_{1\phi \text{ ak}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 36}}$	474,81	4,11	453,96	3,93	462,07	4,00	803,00	4,01
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 38}} = \Delta V_{1\phi \text{ al}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 37}}$	476,42	4,13	455,47	3,94	463,53	4,01	805,65	4,03
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 39}} = \Delta V_{1\phi \text{ am}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 37}}$	476,35	4,13	455,48	3,94	463,55	4,01	805,62	4,03
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 40}} = \Delta V_{1\phi \text{ an}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 36}}$	474,67	4,11	453,38	3,93	461,77	4,00	802,42	4,01
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 41}} = \Delta V_{1\phi \text{ ao}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 40}}$	479,66	4,15	458,09	3,97	466,61	4,04	810,81	4,05
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 42}} = \Delta V_{1\phi \text{ ap}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 44}}$	483,59	4,19	461,86	4,00	470,24	4,07	817,35	4,09
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 43}} = \Delta V_{1\phi \text{ aq}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 45}}$	485,82	4,21	463,79	4,02	472,16	4,09	820,86	4,10
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 44}} = \Delta V_{1\phi \text{ ar}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 46}}$	487,09	4,22	464,86	4,03	473,21	4,10	822,81	4,11
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 45}} = \Delta V_{1\phi \text{ as}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 1}}$	145,22	1,26	146,17	1,27	149,87	1,30	254,76	1,27
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 46}} = \Delta V_{1\phi \text{ at}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 45}}$	203,36	1,76	205,96	1,78	211,23	1,83	358,28	1,79
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 47}} = \Delta V_{1\phi \text{ au}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 46}}$	205,65	1,78	208,17	1,80	213,17	1,85	361,99	1,81
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 48}} = \Delta V_{1\phi \text{ av}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 47}}$	206,65	1,79	209,40	1,81	214,24	1,86	363,90	1,82
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 49}} = \Delta V_{1\phi \text{ aw}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 46}}$	226,91	1,97	230,25	1,99	236,37	2,05	400,41	2,00
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 50}} = \Delta V_{1\phi \text{ ax}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 49}}$	227,55	1,97	231,59	2,01	237,79	2,06	402,38	2,01
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 51}} = \Delta V_{1\phi \text{ ay}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 49}}$	230,49	2,00	233,55	2,02	239,41	2,07	406,13	2,03
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 52}} = \Delta V_{1\phi \text{ az}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 51}}$	255,52	2,21	259,16	2,24	266,48	2,31	451,00	2,25
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 53}} = \Delta V_{1\phi \text{ ba}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 52}}$	276,46	2,39	280,33	2,43	288,65	2,50	488,12	2,44
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 54}} = \Delta V_{1\phi \text{ bb}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 53}}$	294,07	2,55	298,08	2,58	307,23	2,66	519,25	2,60
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 55}} = \Delta V_{1\phi \text{ bc}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 54}}$	310,60	2,69	314,69	2,73	325,02	2,81	548,66	2,74
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 56}} = \Delta V_{1\phi \text{ bd}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 55}}$	328,28	2,84	332,34	2,88	344,01	2,98	580,03	2,90
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 57}} = \Delta V_{1\phi \text{ be}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 56}}$	344,58	2,98	349,09	3,02	361,37	3,13	609,13	3,05
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 58}} = \Delta V_{1\phi \text{ bf}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 57}}$	347,60	3,01	351,76	3,05	364,07	3,15	613,97	3,07
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 59}} = \Delta V_{1\phi \text{ bg}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 58}}$	348,57	3,02	352,88	3,06	364,98	3,16	615,71	3,08
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 60}} = \Delta V_{1\phi \text{ bh}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 57}}$	362,50	3,14	368,07	3,19	380,93	3,30	641,72	3,21
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 61}} = \Delta V_{1\phi \text{ bi}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 60}}$	388,05	3,36	395,21	3,42	409,23	3,54	688,49	3,44
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 62}} = \Delta V_{1\phi \text{ bj}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 61}}$	390,05	3,38	397,23	3,44	411,64	3,56	692,19	3,46
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 63}} = \Delta V_{1\phi \text{ bk}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 61}}$	399,52	3,46	407,46	3,53	421,81	3,65	709,45	3,55
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 64}} = \Delta V_{1\phi \text{ bl}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 63}}$	399,92	3,46	407,95	3,53	422,36	3,66	710,27	3,55
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 65}} = \Delta V_{1\phi \text{ bm}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 63}}$	408,96	3,54	417,45	3,62	432,00	3,74	726,54	3,63
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 66}} = \Delta V_{1\phi \text{ bn}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 65}}$	418,10	3,62	427,29	3,70	442,00	3,83	743,27	3,72
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 67}} = \Delta V_{1\phi \text{ bo}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 66}}$	427,71	3,70	437,74	3,79	452,91	3,92	761,16	3,81
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 68}} = \Delta V_{1\phi \text{ bp}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 67}}$	430,22	3,73	439,98	3,81	454,95	3,94	765,07	3,83
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 69}} = \Delta V_{1\phi \text{ bq}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 68}}$	430,98	3,73	440,61	3,82	455,53	3,95	766,21	3,83
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 70}} = \Delta V_{1\phi \text{ br}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 67}}$	436,38	3,78	447,57	3,88	463,42	4,01	777,91	3,89
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 71}} = \Delta V_{1\phi \text{ bs}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 70}}$	437,09	3,79	448,20	3,88	464,17	4,02	779,11	3,90
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 72}} = \Delta V_{1\phi \text{ bt}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 70}}$	445,80	3,86	458,72	3,97	475,12	4,11	796,53	3,98
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 73}} = \Delta V_{1\phi \text{ bu}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 72}}$	449,91	3,90	463,63	4,02	480,47	4,16	804,83	4,02
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 74}} = \Delta V_{1\phi \text{ bv}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 73}}$	452,10	3,92	466,24	4,04	483,37	4,19	809,28	4,05
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 75}} = \Delta V_{1\phi \text{ bw}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 74}}$	453,46	3,93	467,73	4,05	485,11	4,20	811,93	4,06
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 76}} = \Delta V_{1\phi \text{ bx}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 75}}$	454,17	3,93	468,25	4,06	485,77	4,21	813,02	4,07
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 77}} = \Delta V_{1\phi \text{ by}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 75}}$	454,22	3,93	468,84	4,06	486,35	4,21	813,72	4,07
$\Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 78}} = \Delta V_{1\phi \text{ bz}} + \Delta V_{1\phi \text{ GIB ke 77}}$	454,53	3,94	469,77	4,07	487,29	4,22	814,98	4,07

Pembahasan

Panjang Penyulang Cendana adalah 16,505 km dengan jumlah transformator distribusi 65 buah menggunakan jenis penghantar AAAC 150 mm². Dari hasil penelitian dapat dianalisa bahwa:

1. Jatuh tegangan dari Gardu Induk Bungaran ke node yang paling besar pada saat beban puncak, terjadi pada node 44 yang mempunyai jarak 3,590 km, yaitu:
 - Jatuh tegangan fasa R adalah $\Delta V_{R\ GIB\ ke\ 44} = 487,09\ V$ dengan persentase $\Delta V_{R\ GIB\ ke\ 44} (\%) = 4,22\%$ sehingga tegangan fasa R yang diterima node 44 sebesar $V_{R\ 44} = 11.059,92\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{R\ 44} = 95,78\%$.
 - Jatuh tegangan fasa S adalah $\Delta V_{S\ GIB\ ke\ 44} = 464,86\ V$ dengan persentase $\Delta V_{S\ GIB\ ke\ 44} (\%) = 4,03\%$ sehingga tegangan fasa S yang diterima node 44 sebesar $V_{S\ 44} = 11.082,14\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{S\ 44} = 95,97\%$.
 - Jatuh tegangan fasa T adalah $\Delta V_{T\ GIB\ ke\ 44} = 473,21\ V$ dengan persentase $\Delta V_{T\ GIB\ ke\ 44} (\%) = 4,10\%$ sehingga tegangan fasa T yang diterima node 44 sebesar $V_{T\ 44} = 11.073,80\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{T\ 44} = 95,97\%$.
 - Jatuh tegangan 3 fasa adalah $\Delta V_{3\phi\ GIB\ ke\ 44} = 822,81\ V$ dengan persentase $\Delta V_{3\phi\ GIB\ ke\ 44} (\%) = 4,11\%$ sehingga tegangan 3 fasa yang diterima node 44 sebesar $V_{3\phi\ 44} = 19.177,19\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{3\phi\ 44} = 95,89\%$.
2. Jatuh tegangan dari Gardu Induk Bungaran ke node yang paling kecil pada saat beban puncak, terjadi pada node 1 yang mempunyai jarak 0,150 km, yaitu:
 - Jatuh tegangan fasa R adalah $\Delta V_{R\ GIB\ ke\ 1} = 63,22\ V$ dengan persentase $\Delta V_{R\ GIB\ ke\ 1} (\%) = 0,55\%$ sehingga tegangan fasa R yang diterima node 1 sebesar $V_{R\ 1} = 11.483,78\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{R\ 1} = 99,45\%$.
 - Jatuh tegangan fasa S adalah $\Delta V_{S\ GIB\ ke\ 1} = 62,32\ V$ dengan persentase $\Delta V_{S\ GIB\ ke\ 1} (\%) = 0,54\%$ sehingga tegangan fasa S yang diterima node 1 sebesar $V_{S\ 1} = 11.484,69\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{S\ 1} = 99,46\%$.
 - Jatuh tegangan fasa T adalah $\Delta V_{T\ GIB\ ke\ 1} = 63,94\ V$ dengan persentase $\Delta V_{T\ GIB\ ke\ 1} (\%) = 0,55\%$ sehingga tegangan fasa T yang diterima node 1 sebesar $V_{T\ 1} = 11.483,07\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{T\ 1} = 99,45\%$.
 - Jatuh tegangan 3 fasa adalah $\Delta V_{3\phi\ GIB\ ke\ 1} = 109,40\ V$ dengan persentase $\Delta V_{3\phi\ GIB\ ke\ 1} (\%) = 0,55\%$ sehingga tegangan 3 fasa yang diterima node 1 sebesar $V_{3\phi\ 1} = 19.890,60\ V$ dengan efisiensi sebesar $\eta_{3\phi\ 1} = 99,45\%$.

Besarnya jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Cendana dipengaruhi oleh panjang penghantar, karena panjang penghantar akan mempengaruhi nilai tahanan penghantar. Apabila penghantar semakin panjang maka nilai tahanan penghantar akan semakin besar. Dengan semakin besarnya nilai tahanan penghantar maka jatuh tegangan yang terjadi pada penghantar akan semakin besar.

Besarnya jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Cendana juga dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengalir. Apabila arus yang mengalir pada penghantar semakin besar maka jatuh tegangan yang terjadi pada penghantar akan semakin besar.

Jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Cendana tidak dapat dihilangkan karena adanya sifat material dari penghantar, yaitu adanya nilai tahanan pada penghantar yang dipakai. Besar nilai tahanan dipengaruhi oleh jenis penghantar, luas penampang dan panjang penghantar, dimana apabila nilai tahanan semakin besar maka jatuh tegangan akan semakin besar.

4. KESIMPULAN

Jatuh tegangan 3 fasa pada Penyulang Cendana saat beban puncak adalah 822,81 V (4,11%). Jatuh tegangan tersebut menunjukkan bahwa jatuh tegangan pada Penyulang Cendana masih memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh PT PLN. Dimana dalam SPLN 72:1987 dikatakan untuk turun tegangan pada JTM dibolehkan 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial di atas tanah dan sistem simpul.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azis, A., & Febrianti, I. K. (2018). Evaluasi Ketersediaan Daya pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk Bungaran Palembang. *Jurnal Ampere*, 3(2), 166-175.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. SNI 04-3558-1994. Konduktor Aluminium Campuran (AAAC). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [3] Gonen, Turan. 2008. *Electrical Power Distribution System Engineering*. Second Edition. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [4] Hutahuruk, TS. 1983. *Jaringan Tegangan Menengah*. Bandung: Badan Pelaksana Prokerma PLN-ITB.
- [5] Kersting, William H. 2022. *Distribution System Modeling and Analysis*. Third Edition. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- [6] PT PLN. SPLN 72: 1987. *Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah Dan Jaringan Tegangan Rendah*. Jakarta: PT PLN.