

PENGARUH HUBUNG SINGKAT TERHADAP DIP VOLTAGE PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH PENYULANG TANAH HITAM ULP ABEPURA

Afner Saut Sinaga¹, Suparno², Oktavianus Kati³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Universitas Cenderawasih, Indonesia
email: afnersaut@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima 21 09, 2024
Direvisi 15 10, 2024
Disetujui 27 10, 2024

ABSTRACT

The aim of this research is to determine the magnitude of the three-phase, single-phase and single-phase short circuit fault current to the ground at the Tanah Hitam feeder at the Abepura Switching Substation (GH), ULP Abepura P.T. PLN (Persero) Jayapura and find out the magnitude of the voltage sag at the fault location due to the disturbance.

The method used in this research is collecting secondary data and processing it by analyzing the data by calculating the short circuit current value and dip voltage value due to the short circuit.

From the calculation results, it is obtained that the dip voltage value when a short circuit occurs for a 3-phase fault to ground, the fault point is 100% distance, namely 2,049.7 Volts. In the case of a short circuit in the S and T phases at 100% distance, it is 6,292 Volts (S Phase) and 5,401 Volts (T Phase). In the R phase fault to ground at the 5% point it is 17,800 Volts in the S phase with a voltage value that decreases to a distance of 100%, namely 17,504 Volts, while in the T phase at the 5% fault point it is 20,581 Volts with a voltage value that decreases to a distance of 100%, namely 20,372 Volts.

Keywords: short circuit, voltage dip

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa, fasa-fasa dan satu fasa ke tanah pada penyulang Tanah Hitam di Gardu Hubung (GH) Abepura, ULP Abepura P.T. PLN (Persero) Jayapura dan besar kedip tegangan di titik lokasi gangguan akibat adanya gangguan tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data sekunder yang diolah dengan menganalisis data dengan menghitung nilai arus hubung singkat dan nilai voltage sag akibat hubung singkat tersebut. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai kedip tegangan pada saat terjadi gangguan hubung singkat untuk gangguan 3 fasa ke tanah titik gangguan jarak 100% yaitu sebesar 2.049,7 Volt. Pada gangguan hubung singkat fasa S dan T pada jarak 100% yaitu sebesar 6.292 Volt (Fasa S) dan 5.401 Volt (Fasa T). Pada gangguan fasa R ke tanah pada titik 5% adalah 17.800 Volt pada fasa S dengan nilai tegangan yang semakin menurun hingga jarak 100% yaitu sebesar 17.504 Volt sedangkan pada fasa T pada titik gangguan 5% adalah 20.581 Volt dengan nilai tegangan yang semakin menurun hingga jarak 100% yaitu 20.372 Volt.

Kata kunci: gangguan hubung singkat, dip voltage (kedip tegangan)

Penulis Korespondensi:

Afner Saut Sinaga
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Cenderawasih,
Email: afnersaut@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik untuk perumahan, komersial, dan industri terus meningkat setiap tahunnya. Suplai daya dari sumber ke beban tersebut harus dikirim dengan suatu sistem pelayanan dan kualitas yang baik. Sistem distribusi dibedakan menjadi jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer adalah jaringan dari trafo ke gardu induk (GI), sedangkan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan dari trafo distribusi ke konsumen atau beban. Jaringan distribusi primer lebih dikenal dengan jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV, dan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan tegangan rendah (JTR) 220/380 V. Sistem distribusi adalah sistem yang paling banyak mengalami gangguan baik pada jaringan tegangan menengah maupun jaringan tegangan rendah. Salah satu gangguan pada sistem distribusi yaitu Voltage Sag (kedip tegangan). Menurut standar IEEE 1159-1995, Voltage Sag adalah penurunan nilai tegangan rms antara 0,1 pu sampai 0,9 pu selama durasi 0,5 siklus hingga 1 menit.

Gangguan 1 fasa ke tanah, fasa-fasa dan tiga fasa (yang bersifat sementara) adalah gangguan hubung singkat yang sering terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang menyebabkan penurunan tegangan dalam waktu yang relatif singkat dan, dapat memberikan dampak tidak berfungsinya peralatan elektronik yang sensitif dan peka terhadap variasi tegangan.

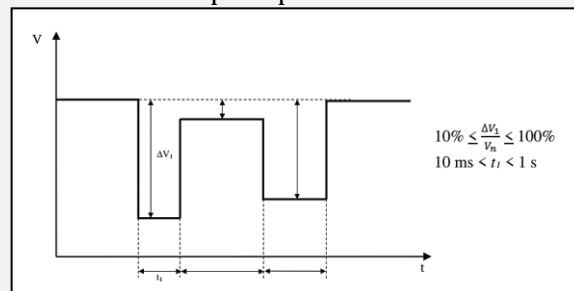
Dalam menentukan dan menghitung besar kedip tegangan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik, terutama pada sistem distribusi PT. PLN (Persero) Jayapura khususnya pada penyulang Tanah Hitam Unit Layanan Pelanggan (ULP) Abepura yang sering mengalami gangguan kedip tegangan, terlebih dahulu dapat dihitung nilai gangguan arus hubung singkat pada saat gangguan 1 fasa ke tanah, fasa-fasa dan tiga fasa gangguan yang terjadi.

Berdasarkan latar rumusan masalah diatas maka tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa, fasa-fasa dan satu fasa ke tanah dan besar kedip tegangan di titik lokasi gangguan akibat adanya gangguan hubung singkat tiga fasa, fasa-fasa dan satu fasa ke tanah pada penyulang Tanah Hitam.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Kedip Tegangan (Dip Voltage)

Gangguan kedip tegangan didefinisikan sebagai fenomena penurunan amplitudo tegangan (ΔV) terhadap harga nominalnya selama interval waktu t (0,5 – 30 cycles), akibat bekerjanya peralatan pengaman karena gangguan yang terjadi, baik pada jaringan transmisi atau distribusi maupun pada instalasi konsumen atau industri, yang dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.1.

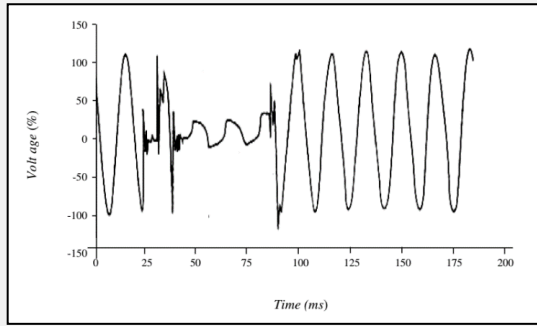


Gambar 1. Kurva Gangguan Kedip Tegangan

Dengan kata lain, gangguan kedip tegangan adalah perbedaan nilai efektif tegangan dengan nilai nominalnya, selama selang waktu terjadinya gangguan. Perbedaan nilai tegangan tersebut berkisar antara 10%-100% tegangan nominal dengan interval waktu berkisar antara 10 milidetik–ratusan milidetik. Gangguan kedip tegangan akan hilang segera setelah bekerjanya pemutus tenaga (PMT).

Durasi tegangan kedip dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu: instantaneous, momentary dan temporary dimana kategori ini sama dengan 3 kategori interruption (pemutusan) dan swells (kenaikan tegangan). Pembagian durasi ini sesuai dengan pembagian durasi yang direkomendasikan oleh organisasi teknik internasional.

Kedip Tegangan adalah fenomena drop tegangan (V_d) yang terjadi secara tiba-tiba sementara peralatan masih terhubung ke pemasok energi. Drop tegangan ini biasanya disebabkan oleh gangguan atau perubahan beban yang tiba-tiba. Pada Gambar 2.2 diperlihatkan contoh tipikal voltage dips bila hantaran listrik dengan beban yang besar saat mengalami suatu gangguan hubung singkat.



Gambar 2. Fluktuasi Tegangan akibat gangguan satu fasa ke tanah

2.2. Kedip Tegangan Saat Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa (3-phase)

Hubung singkat 3 fasa adalah peristiwa terhubungnya ketiga penghantar fasa dalam keadaan bertegangan. Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di penyulang, maka nilai arus hubung singkatnya untuk setiap fasa adalah sama. Oleh karena itu nilai kedip tegangan atau drop tegangan pada sumber (grid) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{dip} = \sqrt{(n \cdot Z_1)^2 \times I_{3fasa}^2} \quad (1)$$

keterangan:

V_{dip} = Nilai kedip tegangan pada sumber/grid

n = Lokasi gangguan (%)

Z_1 = Impedansi penyulang urutan positif/negatif

I_{3fasa} = Arus hubung singkat tiga fasa (A)

2.3. Kedip Tegangan Saat Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa (L-L)

Hubung singkat fasa ke fasa adalah peristiwa terhubungnya dua penghantar fasa dalam keadaan bertegangan. Saat terjadi hubung singkat fasa ke fasa di penyulang, maka nilai arus hubung singkatnya untuk 2 fasa (contoh: fasa S dan T) yang terhubung singkat adalah sama. Sedangkan arus hubung singkat fasa yang normal ((contoh: fasa R) memiliki nilai $0 \angle 0^\circ$ Ampere, karena tidak ada arus hubung singkat yang mengalir di penghantar fasa R ke titik gangguan saat hubung singkat pada penghantar fasa S dan T. Oleh karena itu nilai kedip tegangan atau drop tegangan pada sumber (grid) dapat dihitung menggunakan persamaan:

a. Tegangan Fasa R

$$V_R = \frac{V_{sumber} (kV)}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

b. Tegangan Fasa S

$$V_{S\ riel} = \frac{V_{sumber} (kV)}{2\sqrt{3}} - (I_{2fasa\ S} \times Z_n \times \cos \alpha) \quad (3)$$

$$V_{S\ imj} = - (I_{2fasa\ S} \times Z_n \times \sin \alpha) \quad (4)$$

maka,

$$V_S = \sqrt{V_{S\ riel}^2 + V_{S\ imj}^2} \angle (\text{atan} \left(\frac{V_{S\ imj}}{V_{S\ riel}} \right) - 180^\circ) \quad (5)$$

c. Tegangan Fasa T

$$V_{T\ riel} = \frac{V_{sumber} (kV)}{2\sqrt{3}} - (I_{2fasa\ T} \times Z_n \times \cos \alpha) \quad (6)$$

$$V_{T\ imj} = - (I_{2fasa\ T} \times Z_n \times \sin \alpha) \quad (7)$$

maka,

$$V_T = \sqrt{V_{T\ riel}^2 + V_{T\ imj}^2} \angle (\text{atan} \left(\frac{V_{T\ imj}}{V_{T\ riel}} \right) + 180^\circ) \quad (8)$$

Keterangan:

V_R = Kedip Tegangan fasa R pada grid

V_S = Kedip Tegangan fasa S pada grid

V_T = Kedip Tegangan fasa T pada grid

V_{sumber} = Tegangan sumber (20 kV)

Z_n = Impedansi penyulang di titik gangguan

α = penjumlahan sudut arus gangguan 2 fasa dan impedansi

2.4 Kedip Tegangan Saat Gangguan H. Singkat 1 Fasa Ke Tanah (L-G)

Hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah peristiwa terhubungnya satu penghantar fasa (contoh: fasa R) ke tanah (ground) dalam keadaan bertegangan. Saat terjadi hubung singkat 1 fasa ke tanah di penyulang, maka nilai arus hubung singkatnya untuk 2 fasa yang tidak terhubung (contoh: fasa S dan T) yang terhubung singkat adalah nol. Sedangkan arus hubung singkat fasa yang normal (contoh: fasa R) memiliki nilai yang besarnya tergantung titik gangguan di penyulang. Arus ini berpengaruh pada tegangan sumber (V_R) karena adanya aliran arus menuju trafo tenaga melalui tahanan pentanahannya. Karena terjadi ketidakseimbangan tegangan keluaran trafo tenaga maka akan terjadi juga perubahan tegangan pada penghantar fasa S (V_S) dan T (V_T). Langkah-langkah untuk menghitung nilai kedip tegangan atau drop tegangan pada sumber (grid) dijabarkan sebagai berikut.

a. Menghitung Tegangan Urutan Positif (V_{r+})

$$V_{r+ \ riel} = V_{ph} - \left(\frac{I_{1\ fasa}}{3} \right) \times Z_{n\ ekiv+} \times \cos (\alpha) \quad (9)$$

$$V_{r+ \ imj} = 0 - \left(\left(\frac{I_{1\ fasa}}{3} \right) \times Z_{n\ ekiv+} \times \sin (\alpha) \right) \quad (10)$$

$$V_{r+} = \sqrt{V_{r+ \ riel}^2 + V_{r+ \ imj}^2} \angle (\text{atan} \left(\frac{V_{r+ \ imj}}{V_{r+ \ riel}} \right)) \quad (11)$$

b. Menghitung Tegangan Urutan Negatif (V_{r-})

$$V_{r- \text{riel}} = - \left(\frac{I_{1 \text{ fasa}}}{3} \right) \times Z_{n \text{ ekiv} -} \times \text{Cos} (\alpha) \quad (12)$$

$$V_{r- \text{imj}} = - \left(\frac{I_{1 \text{ fasa}}}{3} \right) \times Z_{n \text{ ekiv} -} \times \text{Sin} (\alpha) \quad (13)$$

$$V_{r-} = \sqrt{V_{r- \text{riil}}^2 + V_{r- \text{imj}}^2} \angle \left(\text{atan} \left(\frac{V_{r- \text{imj}}}{V_{r- \text{riil}}} \right) - 180^\circ \right)$$

(14)

c. Menghitung Tegangan Urutan Nol (V_{r0})

$$V_{r0 \text{ riel}} = - \left(\frac{I_{1 \text{ fasa}}}{3} \right) \times Z_{n \text{ ekiv} 0} \times \text{Cos} (\beta) \quad (15)$$

$$V_{r0 \text{ imj}} = - \left(\frac{I_{1 \text{ fasa}}}{3} \right) \times Z_{n \text{ ekiv} 0} \times \text{Sin} (\beta) \quad (16)$$

$$V_{r0} = \sqrt{V_{r0 \text{ riil}}^2 + V_{r0 \text{ imj}}^2} \angle \left(\text{atan} \left(\frac{V_{r0 \text{ imj}}}{V_{r0 \text{ riil}}} \right) + 180^\circ \right)$$

(17)

Sehingga, $V_R = V_{r+} + V_{r-} + V_{r0} \approx 0$

keterangan:

V_{r+} = tegangan urutan positif (Volt)

V_{r-} = tegangan urutan negatif (Volt)

V_{r0} = tegangan urutan nol (Volt)

$I_{1 \text{ fasa}}$ = arus hubung singkat satu fasa ke tanah

$Z_{n \text{ ekiv} +}$ = impedansi ekivalen positif pada titik gangguan (Ω)

$Z_{n \text{ ekiv} -}$ = impedansi ekivalen negatif pada titik gangguan (Ω)

$Z_{n \text{ ekiv} 0}$ = impedansi ekivalen nol pada titik gangguan (Ω)

α = penjumlahan sudut arus dan impedansi ekivalen urutan + / -

β = penjumlahan sudut arus dan impedansi ekivalen urutan 0.

Sedangkan untuk V_S dan V_T menggunakan persamaan:

$$V_S = V_{s+} + V_{s-} + V_{s0} \quad (9)$$

dimana,

$$V_{s+} = \lambda^2 V_{r+} \quad \text{dan} \quad V_{s-} = \lambda V_{r-}$$

$$V_T = V_{t+} + V_{t-} + V_{t0}$$

(10)

dimana,

$$V_{t+} = \lambda V_{r+} \quad \text{dan} \quad V_{t-} = \lambda^2 V_{r-}$$

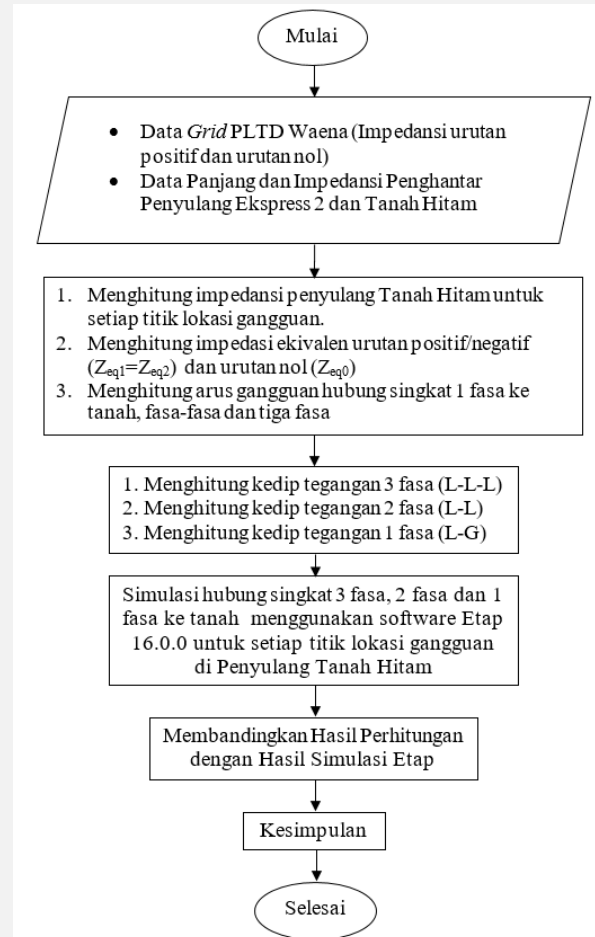
$$\text{dan} \quad V_{r0} = V_{s0} = V_{t0}$$

$$\text{Operator } \lambda = 1 \angle 120^\circ, \lambda^2 = 1 \angle -120^\circ$$

3. METODOLOGI

Dalam rangka untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, maka diperlukan data-data yang lengkap berupa diagram satu garis penyulang

Tanah Hitam, Impedansi Sumber Grid PLTD Waena dan panjang serta jenis penghantar penyulang ekspress dan tanah hitam. Data-data tersebut kemudian diolah untuk menghitung arus hubung singkat serta kedip tegangan yang terjadi akibat hubung singkat tersebut menggunakan persamaan yang ada, kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Etap 16.0.0.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Gambar 3 memperlihatkan diagram alir prosedur penelitian.

Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan skenario lokasi terjadinya gangguan hubung singkat mulai dari 0%, 5%, 10% hingga 100%. Kemudian dihitung nilai kedip tegangan yang terjadi baik pada fasa yang terganggu maupun yang tidak terganggu.

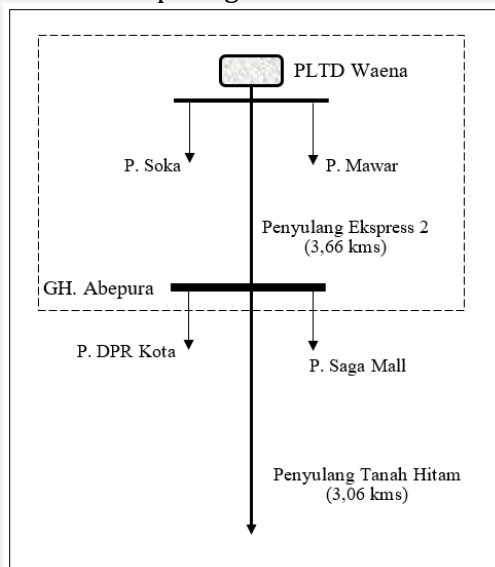
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data

Tabel 1 Data Sumber Dan Penyulang

Data	Nilai	Satuan
Impedansi Sumber (PLTD Waena) Urutan Positif/Negatif ($Z_1=Z_2$)	$0 + j$ 9,481	Ohm
Impedansi Sumber (PLTD Waena) Urutan Nol (Z_0)	$120 + j12$	Ohm
Panjang Penyulang Ekspres 2	3,66	kms
Panjang Penyulang Tanah Hitam	3,06	kms
Impedansi Urutan Positif/Negatif	$0,1961 + j$ 0,3305	Ohm/km
Impedansi Urutan Nol	$0,3441 + j$ 6180	Ohm/km

Sistem ditribusi 20 kV yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat pada Penyulang 20 kV Tanah Hitam. Penyulang Tanah Hitam disuplai dari Gardu Hubung (GH) Abepura. Sedangkan GH Abepura disuplai dari PLTD Waena melalui Penyulang Ekspres 2 seperti terlihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Diagram Saluran Distribusi Penyulang Tanah Hitam

4.2. Hasil

1. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

a. Gangguan Hubung Singkat 3 fasa

Gangguan Hubung Singkat 3 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9) berikut:

$$I_{3fasa} = \frac{V_{phasa}}{Z_{1eq}}$$

Sebagai contoh untuk jarak gangguan 10% dari panjang saluran, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{3fasa}(10\%) &= \frac{V_{phasa}}{Z_{1eq}(10\%)} \\ &= \frac{(20 \text{ kV}/\sqrt{3})\angle 0^\circ}{10,83 \angle 85,46^\circ \Omega} \\ &= \frac{11,547 \text{ V}}{10,83 \Omega} \angle 0 - 85,46^\circ \\ &= 1066,62 \angle -85,46^\circ \text{ Ampere.} \end{aligned}$$

b. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Untuk perhitungan gangguan hubung singkat fasa S dan T (S-T) pada titik 5% dari panjang penyulang adalah:

$$I_{S.h.s} = \frac{20.000 \angle -90^\circ}{2 \times Z_{1eq}}, \text{ dan } I_{T.h.s} = \frac{20.000 \angle 90^\circ}{2 \times Z_{1eq}}$$

Nilai sudut tegangan diambil -90° karena perbedaan sudut tegangan fasa R dan S adalah -90° (hubungan Δ). sedangkan selisih sudut fasa R dan T adalah 90° . Sehingga perhitungan arus hubung singkat fasa S dan T adalah:

$$\begin{aligned} I_{S.h.s} &= \frac{20.000 \angle -180^\circ}{2 \times (0,824 + j10,741)} = \frac{20.000 \angle -90^\circ}{2 \times (10,773 \angle 85,611^\circ)} \\ &= \frac{20.000}{21,546} \angle (-90^\circ - 85,611^\circ) \\ &= 928,265 \angle -175,61^\circ \text{ A.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{T.h.s} &= \frac{20.000}{21,546} \angle (90^\circ - 85,611^\circ) \\ &= 928,265 \angle 4,39^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Sedangkan arus hubung singkat fasa R ($I_{R.h.s}$) memiliki nilai $0 \angle 0^\circ$ Ampere, karena tidak ada arus yang mengalir di penghantar fasa R ke titik gangguan saat hubung singkat pada penghantar fasa S dan T.

c. Gangguan Hubung Singkat 1 fasa

Untuk perhitungan gangguan hubung singkat fasa R ke tanah ($L_R - G$) pada titik 5% dari panjang penyulang adalah:

$$\begin{aligned} I_{R.h.s} &= \frac{3 \times 11547,0053}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \\ &= \frac{34641,0161 \angle 0^\circ}{2 \times (0,824 + j10,741) + 121,385 + j18,169} \\ &= \frac{34641,0161 \angle 0^\circ}{34641,0161 \angle 0^\circ} = \frac{34641,0161 \angle 0^\circ}{122,033 + j39,652} = \frac{34641,0161 \angle 0^\circ}{129,265 \angle 17,863^\circ} \\ &= 267,984 \angle -17,86^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Tabel 2. Arus Hubung Singkat

Jarak Titik Gangguan	Arus Hubung Singkat (A)		
	3 fasa	2 fasa	1 fasa
0%	1077,159	932,847	268,446
5%	1071,868	928,265	267,984

10%	1066,622	923,722	267,523
15%	1061,419	919,216	267,061
20%	1056,259	914,747	266,600
25%	1051,142	910,316	266,139
30%	1046,067	905,921	265,678
35%	1041,034	901,562	265,217
40%	1036,043	897,240	264,757
45%	1031,093	892,953	264,297
50%	1026,183	888,701	263,837
55%	1021,314	884,484	263,378
60%	1016,485	880,302	262,919
65%	1011,695	876,153	262,460
70%	1006,944	872,039	262,001
75%	1002,232	867,958	261,543
80%	997,558	863,911	261,086
85%	992,923	859,896	260,628
90%	988,325	855,914	260,171
95%	983,764	851,964	259,715
100%	979,240	848,047	259,259

2. Menghitung Nilai Kedip Tegangan

a. Saat Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Perhitungan kedip tegangan saat terjadi hubung singkat pada lokasi 10% dengan $I_{3\text{fasa}}$ sebesar $1.066,622 \angle -85,46^\circ$ dan Z_I pada titik 10% (306 m dari sumber) sebesar $0,0662 + j 0,0101 \Omega$, dihitung sebagai berikut:

$$V_{dip\ 3\text{fasa}} = \sqrt{(0,0662)^2 + (0,0101)^2} \times (1.066,622 \angle -85,46^\circ) \times \sqrt{3}$$

$$V_{dip\ 3\text{fasa}} = (0,1208 \angle 56,809^\circ) \times (1.071,868 \angle -85,61^\circ)$$

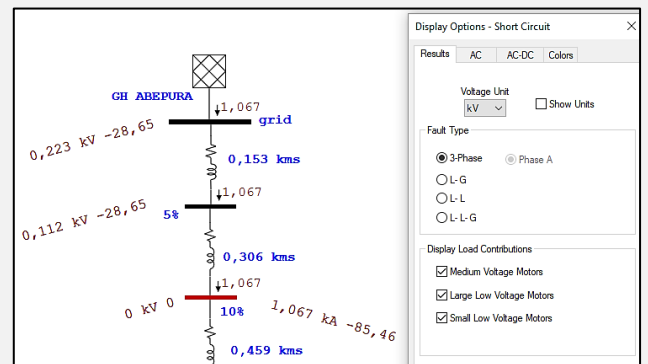
$$V_{dip\ 3\text{fasa}} = 223,3 \angle (56,809 + -85,61^\circ) \text{ Volt}$$

$$V_{dip\ 3\text{fasa}} = 0,223 \angle -28,65^\circ \text{ kV.}$$

Tabel 3. Kedip Tegangan Saat Gangguan 3 Fasa

Lokasi Gangguan		Impedansi Penyulang Urutan Positif				V_{dip} (Volt)	\angle ($^\circ$)
%	kms	R	jX	Z (Ω)	\angle ($^\circ$)		
0	0,00 0	0	0	0,0000	0,000	0	0
5	0,15 3	0,03 3	0,0 51	0,0604	56,809	112,2	-28,8 0
10	0,30 6	0,06 6	0,1 01	0,1208	56,809	223,3	-28,6 5
15	0,45 9	0,09 9	0,1 52	0,1813	56,809	333,3	-28,5 0
20	0,61 2	0,13 2	0,2 02	0,2417	56,809	442,2	-28,3 4
25	0,76 5	0,16 5	0,2 53	0,3021	56,809	550,1	-28,1 9
30	0,91 8	0,19 8	0,3 03	0,3625	56,809	656,9	-28,0 5
35	1,07 1	0,23 2	0,3 54	0,4230	56,809	762,7	-27,9 0
40	1,22 4	0,26 5	0,4 05	0,4834	56,809	867,4	-27,7 5

45	1,37 7	0,29 8	0,4 55	0,5438	56,809	971,2	-27,6 1
50	1,53 0	0,33 1	0,5 06	0,6042	56,809	1.074,0	-27,4 7
55	1,68 3	0,36 4	0,5 56	0,6647	56,809	1.175,8	-27,3 3
60	1,83 6	0,39 7	0,6 07	0,7251	56,809	1.276,6	-27,1 9
65	1,98 9	0,43	0,6 57	0,7855	56,809	1.376,5	-27,0 5
70	2,14 2	0,46 3	0,7 08	0,8459	56,809	1.475,4	-26,9 1
75	2,29 5	0,49 6	0,7 58	0,9064	56,809	1.573,4	-26,7 8
80	2,44 8	0,52 9	0,8 09	0,9668	56,809	1.670,5	-26,6 4
85	2,60 1	0,56 2	0,8 6	1,0272	56,809	1.766,6	-26,5 1
90	2,75 4	0,59 5	0,9 1	1,0876	56,809	1.861,9	-26,3 7
95	2,90 7	0,62 8	0,9 61	1,1481	56,809	1.956,2	-26,2 4
100	3,06 0	0,66 2	1,0 11	1,2085	56,809	2.049,7	-26,1 1



Gambar 5. Simulasi Etap pada titik 10%

b. Saat Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Dalam perhitungan ini dilakukan perhitungan kedip tegangan akibat hubung singkat fasa S dan T. Oleh karena itu nilai kedip tegangan atau drop tegangan pada sumber (*grid*) dapat dihitung sebagai berikut.

1. Kedip Tegangan Fasa R

Kedip Tegangan fasa R akibat di titik gangguan hubung singkat L-L jarak 10% (306 meter) penyulang yang menghasilkan $I_{h.s}$ fasa R sebesar $0 \angle 0^\circ$ A dengan impedansi penyulang $0,12 \angle 56,81^\circ \Omega$, maka:

$$V_{R\text{riel}} = \frac{V_{\text{sumber}} (kV)}{\sqrt{3}} - (I_{2\text{fasa R}} \times Z_n \times \cos \alpha)$$

$$= \frac{20.000}{\sqrt{3}} - (0 \times 0,12 \times \cos \alpha)$$

$$= 11.547 \text{ Volt} \approx 11,55 \text{ kV}$$

$$V_{R\text{imj}} = - (0 \times 0,06 \times \sin \alpha)$$

$$= 0 \text{ Volt}$$

Sehingga Kedip Tegangan fasa R (V_R) pada bus GH Abepura akibat hubung singkat fasa S dan T sebesar $11,55 \angle 0^\circ$ kV. Nilai ini juga berlaku

untuk setiap titik gangguan karena $I_{h,s}$ pada fasa R sebesar $0 \angle 0^\circ$ A.

2. Kedip Tegangan Fasa S

Kedip Tegangan fasa S akibat di titik gangguan hubung singkat L-L jarak 10% (306 meter) penyulang yang menghasilkan $I_{h,s}$ fasa S sebesar $923,722 \angle -175,457^\circ$ dengan impedansi penyulang $0,12 \angle 56,81^\circ \Omega$, maka dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{S\text{rirel}} &= \frac{V_{\text{sumber}} (kV)}{2\sqrt{3}} - (I_{2\text{fasa S}} \times Z_n \times \cos \alpha) \\ &= \frac{20000}{2\sqrt{3}} - (923,722 \times 0,12 \times \cos (-175,457^\circ + 56,81^\circ)) \\ &= 5773,503 - (111,63 \times \cos -118,65^\circ) \\ &= 5773,503 + 53,52 \\ &= 5827,022 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S\text{imj}} &= - (I_{2\text{fasa S}} \times Z_n \times \sin \alpha) \\ &= - (923,722 \times 0,12 \times \sin (-175,457^\circ + 56,81^\circ)) \\ &= 97,965 \text{ Volt} \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned} V_S &= \sqrt{(5827,022)^2 + (97,965)^2} \angle (\text{atan}(\frac{97,965}{5827,022}) - 180^\circ) \\ &= 5.827,85 \angle -179,04^\circ \text{ Volt} \end{aligned}$$

Sehingga Kedip Tegangan fasa S (V_S) pada bus GH Abepura akibat hubung singkat fasa S dan T sebesar $5,83 \angle -179,04^\circ$ kV.

3. Kedip Tegangan Fasa T

Kedip Tegangan fasa T akibat di titik gangguan hubung singkat L-L jarak 10% (306 meter) penyulang yang menghasilkan $I_{h,s}$ fasa T sebesar $923,722 \angle 4,543^\circ$ dengan impedansi penyulang $0,12 \angle 56,81^\circ \Omega$, maka dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{T\text{rirel}} &= \frac{V_{\text{sumber}} (kV)}{2\sqrt{3}} - (I_{2\text{fasa T}} \times Z_n \times \cos \alpha) \\ &= \frac{20000}{2\sqrt{3}} - (923,722 \times 0,12 \times \cos (4,543^\circ + 56,81^\circ)) \\ &= 5773,503 - (111,63 \times \cos 61,351^\circ) \\ &= 5773,503 - 53,52 \\ &= 5719,983 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{T\text{imj}} &= - (I_{2\text{fasa T}} \times Z_n \times \sin \alpha) \\ &= - (923,722 \times 0,12 \times \sin (4,543^\circ + 56,81^\circ)) \\ &= - 97,965 \text{ Volt} \end{aligned}$$

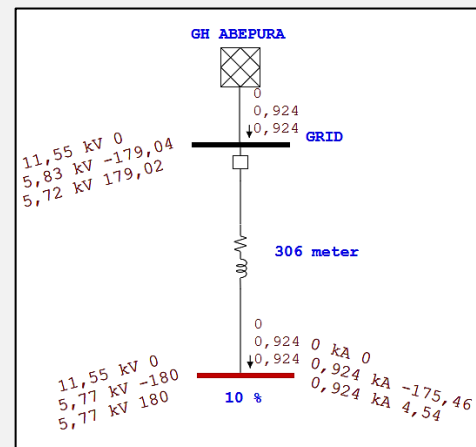
maka,

$$\begin{aligned} V_T &= \sqrt{(5719,983)^2 + (97,965)^2} \angle (\text{atan}(\frac{97,965}{5719,983}) + 180^\circ) \\ &= 5.721,822 \angle 179,02^\circ \text{ Volt} \end{aligned}$$

Sehingga Kedip Tegangan fasa T (V_T) pada bus GH Abepura akibat hubung singkat fasa S dan T sebesar $5,72 \angle 179,02^\circ$ kV.

Tabel 4. Hasil perhitungan kedip tegangan

Lokasi Gangguan	Impedansi Penyulang T.Hitam		Kedip Tegangan Pada Bus Sumber (Volt)					
			V_R		V_S		V_T	
	Z	\angle°	V	\angle°	V	\angle°	V	\angle°
0%	0,00	0,00	11.547	0	5.774	-180,00	5.774	180,00
5%	0,06	56,81	11.547	0	5.801	-179,51	5.747	179,51
10%	0,12	56,81	11.547	0	5.828	-179,04	5.721	179,02
15%	0,18	56,81	11.547	0	5.855	-178,57	5.696	178,53
20%	0,24	56,81	11.547	0	5.882	-178,10	5.672	178,03
25%	0,30	56,81	11.547	0	5.908	-177,65	5.649	177,54
30%	0,36	56,81	11.547	0	5.935	-177,20	5.627	177,05
35%	0,42	56,81	11.547	0	5.961	-176,76	5.605	176,55
40%	0,48	56,81	11.547	0	5.988	-176,32	5.585	176,06
45%	0,54	56,81	11.547	0	6.014	-175,90	5.565	175,57
50%	0,60	56,81	11.547	0	6.040	-175,48	5.546	175,07
55%	0,66	56,81	11.547	0	6.066	-175,06	5.528	174,58
60%	0,73	56,81	11.547	0	6.092	-174,65	5.511	174,09
65%	0,79	56,81	11.547	0	6.117	-174,25	5.495	173,60
70%	0,85	56,81	11.547	0	6.143	-173,85	5.479	173,10
75%	0,91	56,81	11.547	0	6.168	-173,46	5.464	172,62
80%	0,97	56,81	11.547	0	6.193	-173,08	5.450	172,13
85%	1,03	56,81	11.547	0	6.218	-172,70	5.437	171,64
90%	1,09	56,81	11.547	0	6.243	-172,32	5.424	171,16
95%	1,15	56,81	11.547	0	6.268	-171,95	5.413	170,67
100%	1,21	56,81	11.547	0	6.292	-171,59	5.401	170,19



Gambar 6. Simulasi Etap pada titik 10%

c. Saat Gangguan 1 Fasa ke Tanah

1. Menghitung Tegangan fasa R Urutan Positif, Negatif dan Nol

Pada perhitungan pada titik lokasi gangguan 10% panjang saluran diketahui arus h.s. 1 fasa adalah $267,52 \angle -17,86^\circ$, sedangkan impedansi ekivalen urutan positif dan negatif (Z_{1ekiv}) sebesar $10,83 \angle 85,46^\circ$ Ohm dan impedansi ekivalen urutan nol (Z_{0ekiv}) sebesar $122,83 \angle 8,62^\circ$ Ohm. Sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut.

Tegangan fasa R urutan positif (V_1)

Untuk menghitung nilai kedip tegangan urutan positif di titik gangguan 10% dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} V_{1 \text{ real}} &= \frac{20,000}{\sqrt{3}} - \left(\frac{267,53}{3} \times 10,83 \times \cos(-17,99^\circ + 85,46^\circ) \right) \\ &= 11.547,01 - (89,174 \times 10,83 \times 0,383) \\ &= 11.547,01 - 370 \\ &= 11.177 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{1 \text{ imaj}} &= 0 - \left(\frac{267,53}{3} \times 10,83 \times \sin(-17,99^\circ + 85,46^\circ) \right) \\ &= - (89,174 \times 10,83 \times 0,924) \\ &= - 891,66 \text{ volt} \end{aligned}$$

Maka Tegangan urutan Positif (V_1) adalah:

$$\begin{aligned} V_1 &= \sqrt{(V_{1 \text{ real}})^2 + (V_{1 \text{ imaj}})^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{V_{1 \text{ imaj}}}{V_{1 \text{ real}}} \right) \\ V_1 &= \sqrt{(11.177)^2 + (-891,66)^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{-891,66}{11.177} \right) \\ V_1 &= 11.213 \angle -4,56^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Tegangan fasa R Urutan Negatif (V_2)

Menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} V_{2 \text{ real}} &= 0 - \left(\frac{267,53}{3} \times 10,83 \times \cos(-17,99^\circ + 85,46^\circ) \right) \\ &= - (89,174 \times 10,83 \times 0,383) \\ &= - 370 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{2 \text{ imaj}} &= 0 - \left(\frac{267,53}{3} \times 10,83 \times \sin(-17,99^\circ + 85,46^\circ) \right) \\ &= - (89,174 \times 10,83 \times 0,924) \\ &= - 891,66 \text{ V} \end{aligned}$$

Maka tegangan urutan negatif (V_2) adalah:

$$\begin{aligned} V_2 &= \sqrt{(V_{2 \text{ real}})^2 + (V_{2 \text{ imaj}})^2} \angle (\tan^{-1} \left(\frac{V_{2 \text{ imaj}}}{V_{2 \text{ real}}} \right) - 180^\circ) \\ &= \sqrt{(-370)^2 + (-891,66)^2} \angle (\tan^{-1} \left(\frac{-891,66}{-370} \right) - 180^\circ) \end{aligned}$$

$$V_2 = 965,38 \angle -112,54^\circ \text{ V (titik gangguan 10% panjang penyulang).}$$

Tegangan fasa R Urutan Nol (V_0)

$$\begin{aligned} V_{0 \text{ real}} &= 0 - (89,174 \times 122,83 \times \cos(-17,99^\circ + 8,62^\circ)) \\ &= - (89,174 \times 122,83 \times 0,987) \\ &= - 10.807 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{0 \text{ imaj}} &= 0 - (89,174 \times 122,83 \times \sin(-17,99^\circ + 8,62^\circ)) \\ &= - (89,174 \times 122,83 \times -0,163) \\ &= 1783,32 \text{ V} \end{aligned}$$

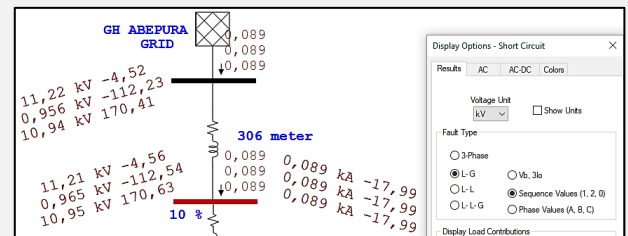
Maka tegangan urutan nol (V_0) adalah:

$$\begin{aligned} V_0 &= \sqrt{(V_{0 \text{ real}})^2 + (V_{0 \text{ imaj}})^2} \angle (\tan^{-1} \left(\frac{V_{0 \text{ imaj}}}{V_{0 \text{ real}}} \right) + 180^\circ) \\ &= \sqrt{(-10.807)^2 + (1783,32)^2} \angle (\tan^{-1} \left(\frac{1783,32}{-10.807} \right) + 180^\circ) \end{aligned}$$

$$V_0 = 10.953 \angle 170,63^\circ \text{ V (titik gangguan 10% panjang penyulang).}$$

Tabel 5. Tegangan fasa R urutan positif, negatif, nol saat hubung singkat 1 fasa ke tanah

Lokasi	Tegangan Urutan Positif (Volt)		Tegangan Urutan Negatif (Volt)		Tegangan Urutan Nol (Volt)	
	V+	∠°	V-	∠°	V ₀	∠°
0%	11.221	-4,54	959,2	-112,12	10.975	170,67
5%	11.216	-4,55	962,3	-112,41	10.964	170,65
10%	11.213	-4,56	965,4	-112,54	10.953	170,63
15%	11.207	-4,57	968,4	-112,82	10.942	170,61
20%	11.202	-4,58	971,5	-113,10	10.932	170,59
25%	11.196	-4,58	974,5	-113,38	10.921	170,57
30%	11.191	-4,59	977,6	-113,65	10.911	170,55
35%	11.185	-4,60	980,6	-113,93	10.900	170,53
40%	11.180	-4,60	983,6	-114,20	10.889	170,52
45%	11.174	-4,61	986,6	-114,47	10.879	170,50
50%	11.169	-4,62	989,6	-114,74	10.868	170,48
55%	11.164	-4,62	992,6	-115,01	10.858	170,46
60%	11.158	-4,63	995,6	-115,28	10.847	170,45
65%	11.153	-4,63	998,5	-115,54	10.837	170,43
70%	11.148	-4,64	1001,5	-115,80	10.826	170,41
75%	11.142	-4,64	1004,4	-116,06	10.816	170,40
80%	11.137	-4,65	1007,4	-116,32	10.806	170,38
85%	11.132	-4,66	1010,3	-116,58	10.795	170,36
90%	11.126	-4,66	1013,2	-116,84	10.785	170,35
95%	11.121	-4,67	1016,1	-117,09	10.775	170,33
100%	11.116	-4,67	1019,0	-117,34	10.764	170,32



Gambar 7. Simulasi hubung singkat R-G (*Sequence Values*)

2. Menghitung Tegangan Fasa S dan T Pada Bus Lokasi Gangguan

Kedip tegangan fasa S

Sesuai tabel 5, pada titik gangguan 10% penyulang diperoleh $V_{r+} = 11.213 \angle -4,56^\circ \text{ V}$, $V_{r-} = 965 \angle -112,54^\circ \text{ V}$, dan $V_{r0} = 10.953 \angle 170,63^\circ \text{ V}$.

maka:

$$\begin{aligned} V_{s+} &= \lambda^2 V_{r+} = 1 \angle -120^\circ \times 11.213 \angle -4,56^\circ \\ &= (11.213 \times \cos(-4,56^\circ - 120^\circ)) + j (11.213 \times \sin(-4,56^\circ - 120^\circ)) \\ &= -6360,70 + j -9233,75 \text{ volt.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s-} &= \lambda V_{r-} = 1 \angle 120^\circ \times 965 \angle -112,54^\circ \\ &= (965 \times \cos(-112,54^\circ + 120^\circ)) + j (965 \times \sin(-112,54^\circ + 120^\circ)) \end{aligned}$$

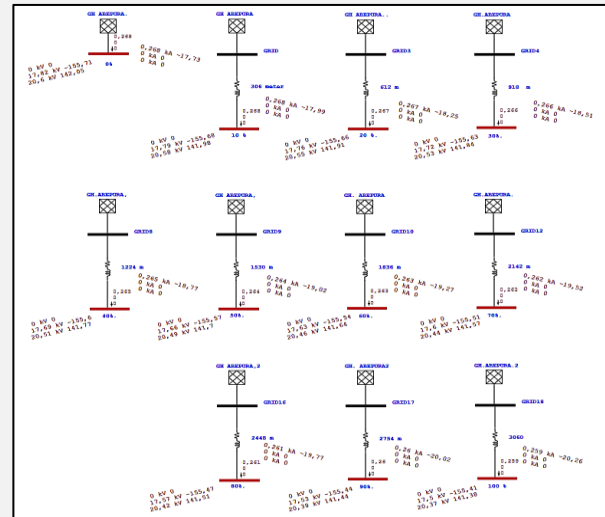
$$\begin{aligned}
 &= 957,2 + j125,4 \text{ volt.} \\
 V_{s0} &= -10807 + j1783,32 \text{ volt.} \\
 V_S &= V_{s+} + V_{s-} + V_{s0} \\
 &= (-6360,70 + j-9233,75) + (957,2 + j125,4) \\
 &+ (-10807 + j1783,32) \\
 &= -16210,5 + j-7325,02 \text{ volt} \\
 V_S &= \sqrt{(-16210,5)^2 + (-7325,02)^2} \angle((\tan^{-1} \\
 &(\frac{-7325,02}{-16210,5})) - 180^\circ) \\
 &= 17.789 \angle -155,68^\circ \text{ volt.}
 \end{aligned}$$

Kedip tegangan fasa T

$$\begin{aligned}
 V_{t+} &= \lambda V_{r+} = 1 \angle 120^\circ \times 11.213 \angle -4,56^\circ \\
 &= (11.213 \times \cos(-4,56^\circ + 120^\circ)) + j (11.213 \times \sin(-4,56^\circ + 120^\circ)) \\
 &= -4816,3 + j10125,4 \text{ volt.} \\
 V_{t-} &= \lambda^2 V_{r-} = 1 \angle -120^\circ \times 965 \angle -112,54^\circ \\
 &= (965 \times \cos(-112,54^\circ - 120^\circ)) + j (965 \times \sin(-112,54^\circ - 120^\circ)) \\
 &= -587,2 + j766,26 \text{ volt.} \\
 V_{t0} &= -10807 + j1783,32 \text{ volt.} \\
 V_T &= V_{t+} + V_{t-} + V_{t0} \\
 &= (-4816,3 + j10125,4) + (-587,2 + j766,26) + (-10807 + j1783,32) \\
 &= -16210,5 + j12674,98 \text{ volt} \\
 V_T &= \sqrt{(-16210,5)^2 + (12674,98)^2} \angle((\tan^{-1}(\frac{12674,98}{-16210,5})) + 180^\circ) \\
 &= 20.578 \angle 141,98^\circ \text{ volt.}
 \end{aligned}$$

Tabel 6. Tegangan Fasa Pada Lokasi Gangguan Hubung Singkat L-G

Lokasi (%)	Tegangan Fasa R (Volt)		Tegangan Fasa S (Volt)		Tegangan Fasa T (Volt)	
	V _R	∠°	V _S	∠°	V _T	∠°
0	0	0	17.816	-155,69	20.593	142,04
5	0	0	17.800	-155,68	20.581	142,01
10	0	0	17.789	-155,68	20.578	141,98
15	0	0	17.772	-155,67	20.566	141,94
20	0	0	17.756	-155,66	20.555	141,91
25	0	0	17.739	-155,64	20.543	141,87
30	0	0	17.723	-155,63	20.532	141,84
35	0	0	17.707	-155,61	20.521	141,80
40	0	0	17.691	-155,60	20.509	141,77
45	0	0	17.675	-155,58	20.498	141,74
50	0	0	17.659	-155,57	20.486	141,70
55	0	0	17.643	-155,55	20.475	141,67
60	0	0	17.627	-155,54	20.464	141,64
65	0	0	17.612	-155,52	20.452	141,60
70	0	0	17.596	-155,51	20.441	141,57
75	0	0	17.581	-155,49	20.429	141,54
80	0	0	17.565	-155,47	20.418	141,51
85	0	0	17.550	-155,46	20.406	141,47
90	0	0	17.535	-155,44	20.395	141,44
95	0	0	17.519	-155,42	20.383	141,41
100	0	0	17.504	-155,41	20.372	141,38



Gambar 8. Simulasi hubung singkat Fasa R ke Tanah

Gambar 8 adalah hasil simulasi Etap yang memperlihatkan nilai kedip tegangan fasa R, S, dan T ($V_{dip R}$, $V_{dip S}$, dan $V_{dip T}$) yang terjadi pada bus yang mengalami hubung singkat fasa R ke tanah (R-G) di titik 10% panjang penyulang Tanah Hitam. Hasil simulasi memperlihatkan hasil yang sama dengan perhitungan pada **tabel 6**.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisis dan perhitungan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Arus hubung singkat untuk gangguan untuk gangguan 3 fasa ke tanah titik gangguan 0% adalah 1077,159 A, untuk gangguan hubung singkat fasa-fasa titik gangguan 0% adalah 932,847 A, dan gangguan 1 fasa ke tanah pada titik 0% adalah 268,446 A
2. Kedip tegangan pada saat terjadi gangguan hubung singkat untuk gangguan 3 fasa ke tanah titik gangguan 5% adalah 112,2 Volt dengan nilai tegangan yang semakin meningkat hingga jarak 100% yaitu sebesar 2.049,7 Volt. Pada gangguan hubung singkat fasa S dan T pada titik gangguan 5% adalah 5.801 Volt pada fasa S dengan nilai tegangan yang semakin meningkat hingga jarak 100% yaitu sebesar 6.292 Volt sedangkan pada fasa T pada titik gangguan 5% adalah 5.747 Volt dengan nilai tegangan yang semakin menurun hingga jarak 100% yaitu sebesar 5.401 Volt. Pada gangguan fasa R ke tanah

pada titik 5% adalah adalah 17.800 Volt pada fasa S dengan nilai tegangan yang semakin menurun hingga jarak 100% yaitu sebesar 17.504 Volt sedangkan pada fasa T pada titik gangguan 5% adalah 20.581 Volt dengan nilai tegangan yang semakin menurun hingga jarak 100% yaitu 20.372 Volt.

5.2.Saran

Perhitungan gangguan arus hubung singkat dapat dianalisa lebih baik lagi menggunakan program atau software, dalam hal ini seperti menggunakan software excel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Salim & Febrianto Aidil 2019, *Analisa Kedip Tegangan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV*, Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [2] Dhimas .D.S.Syaputra, 2016, *Analisis Kedip Tegangan Akibat Gangguan Hubung Singkat di P.T. Chandra Asri dan P.T. Tri Polyta*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- [3] ETAP, 2009, *ETAP Short Circuit Analysis*, https://etap.com/docs/default-source/faqs-tutorials/short-circuit-analysis.pdf?sfvrsn=d901b67f_12.
- [4] Hendry, Hamzah.E, Atmam, *Analysis of Voltage Sag Due to Short Circuit on the Sub System in Central Sumatera*, IJEEPSE, Vol. 1, No. 2, pp. 1-5, October 2018.
- [5] IEEE Std. 1159-1995, *IEEE Rekomended Practice For Monitoring Elektrik Power Quality*, New York:IEEE,Inc. June,1995.
- [6] PAC Basics, *Detailed Short Circuit Calculation Using ETAP*, akses tgl. 8/14/23 11:20 AM, <https://pacbasics.org/short-circuit-calculation-using-etap/>
- [7] Rafael Sianipar, 2015, *Mengurangi Gangguan Kedip Tegangan Pada Peralatan Industri*, JETri, Vol. 13, No. 1, Agustus 2015, Hal. 43 - 60, ISSN 1412-0372.
- [8] Tesarova, M., June 2005, *Analysis of Voltage Dips in Power System -Case of Study*, <https://www.researchgate.net/publication/251818656>, DOI: 10.1109/PTC.2005.4524616
- [9] Turan Gönen, 2014, *Electric Power Distribution Engineering*, 3rd Edition, CRC Press by Taylor & Francis Group, Florida, U.S.
- [10] Wadhwa, C.L., 2012, *Electrical Power Systems*, New Academic Science Limiter, UK.
- [11] Wahyudi Sarimun, 2012, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Garamond, Jakarta