

# Analisis Gangguan Hubung Singkat Penyulang RASA PT PLN (Persero) UP3 Majalaya Menggunakan *Software* *ETAP*

Laras Nurul Syamsy<sup>1</sup>, Toto Tohir<sup>2</sup>, Supriyanto<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail : [laras.nurul.tlis21@polban.ac.id](mailto:laras.nurul.tlis21@polban.ac.id)

<sup>2</sup>E-mail : [toto17.polban@gmail.com](mailto:toto17.polban@gmail.com)

<sup>3</sup>E-mail : [supriyanto\\_suhono@polban.ac.id](mailto:supriyanto_suhono@polban.ac.id)

## ABSTRAK

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan ujung tombak dari pemanfaatan energi listrik bagi kehidupan sehari-hari. Selama mendistribusikan energi listrik tentunya tidak terlepas dari berbagai gangguan yang dihadapi. Gangguan yang paling sering terjadi merupakan gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat bisa terjadi karena isolasi yang rusak akibat tegangan lebih yang dapat menyebabkan trip pada penyulang sehingga menimbulkan pemadaman listrik pada wilayah tersebut. Oleh karena itu, dilakukan analisis untuk mengetahui besar nilai gangguan arus hubung singkat pada penyulang tersebut. Adapun metode yang mendukung yaitu dengan menggunakan beberapa metode diantaranya studi literatur, matematis, dan metode simulasi. Nilai gangguan arus hubung singkat dihitung melalui perhitungan yang dilakukan secara manual. Selain itu, agar hasil perhitungan menjadi lebih tepat dan akurat maka dibuat pemodelan sistem konfigurasi di lapangan menggunakan simulasi *Software ETAP 20.6.0*. Pada simulasi gangguan hubung singkat tersebut nilai arus hubung singkat hasil simulasi pada bus 7 sebesar 5.250 A sedangkan perhitungan sebesar 5.275 A. Hasil simulasi arus hubung singkat dua fasa sebesar 4.547 A dan nilai perhitungan sebesar 4568 A. Hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 280 A dan perhitungan sebesar 273 A.

### Kata Kunci

Hubung singkat, Saluran distribusi 20 kV, ETAP 20.6.0

## ABSTRACT

*The electric power distribution network is the spearhead of electrical energy utilization for daily life. During the distribution of electrical energy, it inevitably encounters various disturbances. The most common disturbance is a short circuit fault. A short circuit can occur due to insulation damage caused by overvoltage, which can trigger a trip on the feeder and lead to a power outage in the affected area. Therefore, an analysis was conducted to determine the magnitude of the short-circuit current disturbance value on the feeder. One of the supporting methods used is by employing several approaches including literature review, mathematical calculations, and simulation methods. The short circuit current fault values are calculated manually. Additionally, to achieve more precise and accurate results, a field configuration system model is created using ETAP 20.6.0 Software simulation. In the short circuit fault simulation, the simulated short circuit current value on bus 7 is 5,250 A, while the calculated value is 5,275 A. The simulated two-phase short circuit current is 4,547 A, and the calculated value is 4,568 A. For the single-phase-to-ground short circuit simulation, the result is 280 A, and the calculated value is 273 A.*

### Keywords

Short circuit, 20 kV distribution line, ETAP 20.6.0

## 1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini, energi listrik mempunyai peran penting dalam kehidupan manusia. Sehingga dalam pemenuhannya

diperlukan keandalan dan kestabilan dalam mendistribusikan sistem energi listrik tersebut. Pada proses menyalurkan tenaga listrik tentunya muncul masalah gangguan. Gangguan merupakan

suatu keadaan dimana adanya indikasi penyimpangan penyaluran tenaga listrik dari kondisi normal sehingga menimbulkan pemadaman listrik. Gangguan yang sering terjadi pada jaringan distribusi adalah tegangan dan arus abnormal, penuaan, beban lebih, dll (SPLN 52-3: 1983) [1].

Gangguan hubung singkat merupakan suatu keadaan dimana dua atau lebih penghantar listrik yang memiliki potensial berbeda terjadi kontak secara langsung. Berdasarkan jenis gangguannya, pada umumnya terdapat 3 macam arus gangguan hubung singkat, yaitu arus hubung singkat 3 fasa, arus hubung singkat 2 fasa, dan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah. Gangguan arus hubung singkat menyebabkan arus yang tinggi melewati penghantar. Oleh karena itu, dalam suatu sistem kelistrikan harus dipasang peralatan proteksi. Tentunya, untuk mengetahui sistem proteksi yang tepat maka dilakukan analisis gangguan hubung singkat.

Analisis gangguan hubung singkat merupakan suatu kajian yang untuk memahami peranan arus hubung singkat yang mengalir pada setiap cabang suatu sistem tenaga listrik yang melibatkan perhitungan yang kompleks. Sehingga dalam analisis arus hubung singkat dapat dibuat pemodelan menggunakan *Software ETAP 20.6.0* untuk menghasilkan perhitungan yang akurat dan *real-time*.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem adalah suatu perangkat saling bergantung dan disusun untuk mencapai tujuan tertentu dan menghasilkan suatu fungsi yang ditetapkan. Tenaga listrik yang dihasilkan unit pembangkit sebesar 11kV sampai 24kV, tegangannya dinaikkan pada gardu induk tegangan tinggi dengan transformator *step up* mencapai 500kV yang bertujuan mengurangi rugi daya pada saluran transmisi. Setelah tegangan ditransmisikan lalu diturunkan oleh transformator *step down* pada gardu induk distribusi menjadi tegangan 20 kV dan disalurkan menuju trafo distribusi menjadi tegangan rendah lalu disalurkan pada pelanggan [2].

### 2.2 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Jaringan distribusi tegangan menengah merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik yang terletak diantara gardu induk dan gardu distribusi yang tersusun penyulang utama dan penyulang cabang. Konstruksi jaringan

distribusi tegangan menengah dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM), dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM) [3].

### 2.3 Gangguan Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari apabila terjadi gangguan. Gangguan merupakan suatu kondisi dimana keadaan abnormal pada sistem [4]. Gangguan pada jaringan distribusi pertahunnya lebih tinggi dibandingkan dengan gangguan saluran transmisi (sekian kali per 100 km pertahun). Gangguan yang terjadi sebagian besar berupa SUTM dengan kejadian 100 kali per 100 km pertahun.

### 2.4 Gangguan Hubung Singkat

Menurut IEC 60909, hubung singkat adalah hubungan yang dihasilkan dari konduksi sengaja atau tidak disengaja melalui impedansi yang cukup rendah antar dua ataupun lebih titik dalam keadaan normalnya yang mempunyai beda potensial. Arus hubung singkat menimbulkan lonjakan arus yang signifikan mengalir melalui konduktor [5].

Nilai arus hubung singkat dapat diketahui dengan dilakukan analisis perhitungan hubung singkat. Analisis hubung singkat merupakan sarana penting dalam menentukan nilai arus hubung singkat yang nantinya untuk melindungi peralatan dan sistem distribusi tenaga listrik. Adapun tahapan perhitungan arus hubung singkat, sebagai berikut:

#### A. Impedansi sumber

Dalam perhitungan impedansi sumber, besarnya impedansi sumber menentukan besar impedansi trafo dan impedansi trafo menentukan besar impedansi penyulang. Menghitung nilai impedansi sumber sisi 20kV harus dilakukan perhitungan sisi primer 150kV menggunakan rumus [6]:

$$Z_s \text{ primer} = \frac{kV_1^2}{MVA} \quad (1)$$

Dimana:

$Z_s \text{ primer}$  = Nilai impedansi sumber sisi primer (Ohm)

kV = Nilai tegangan sisi primer (kV)

MVA = Nilai kapasitas trafo sisi primer (MVA)

Pada perhitungan impedansi sumber sisi sekunder 20kV dilakukan konversi 150kV ke 20kV dengan rumus [6]:

$$Z_s \text{ sekunder} = \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times Z_s \text{ primer} \quad (2)$$

Keterangan:

$Z_{s \text{ sekunder}}$  = Nilai impedansi sumber sisi sekunder (Ohm)

$kV_1^2$  = Nilai tegangan sisi primer (kV)

$kV_2^2$  = Nilai tegangan sisi sekunder (kV)

#### B. Reaktansi transformator

Impedansi pada trafo diambil nilai pada reaktansinya dan nilai tahananannya diabaikan. Agar dapat mengetahui besar nilai reaktansi urutan nilai reaktansi urutan positif, negatif, dan reaktansi urutan nol maka diperlukan perhitungan [6].

$$Z_t (100\%) = \frac{kV_z^2}{MVA} \quad (3)$$

Dimana:

$Z_t$  = Nilai impedansi trafo (Ohm)

$kV^2$  = Nilai tegangan trafo sisi sekunder (kV)

MVA = Nilai kapasitas daya trafo (MVA)

Dengan rumus tersebut maka dapat menentukan reaktansi urutan positif dan urutan negatif dengan persamaan berikut [7]:

$$Z_{t1} = Z_{t2} = \%Z \text{ trafo} \times Z_t (100\%) \quad (4)$$

Keterangan:

$Z_{t1}; Z_{t2}$  = Nilai reaktansi urutan positif dan negatif (Ohm)

$\%Z \text{ trafo}$  = Nilai reaktansi Trafo tenaga (%)

$Z_t$  = Nilai impedansi trafo (Ohm)

Sedangkan perhitungan nilai reaktansi nol ( $Z_0$ ) harus diketahui data transformator daya yang digunakan. Pada transformator daya yang terhubung YY tanpa belitan delta, maka nilai  $X_{t0}$  yang dihitung akan berada pada kisaran 9 hingga 14 kali nilai  $X_{t1}$  [8].

#### C. Impedansi saluran *fedeer*

Nilai impedansi penyulang bergantung pada penghantarnya, yaitu bahan penghantar, besar kecilnya penampang, dan panjang penghantar yang digunakan. Besarnya nilai impedansi saluran penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

a. Nilai urutan positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ Panjang} \times \text{Panjang penyulang (km)} \times Z \quad (5)$$

Keterangan:

$Z_1$  = Nilai impedansi urutan positif (Ohm)

$Z_2$  = Nilai impedansi urutan negatif (Ohm)

$Z$  = Nilai impedansi dimana;  $Z = (R+jX)$  (Ohm)

b. Nilai urutan nol

$$Z_0 = \% \text{ Panjang} \times \text{Panjang penyulang (km)} \times Z \quad (6)$$

Keterangan:

$Z_0$  = Nilai impedansi urutan nol (Ohm)

#### D. Impedansi ekivalen penyulang

Sambungan terbentuk dari sumber sampai titik gangguan impedansi tersambung seri maka untuk urutan positif dan urutan negatif perhitungan dapat langsung menjumlahkan impedansi tersebut. Maka hasilnya dapat diperoleh dengan persamaan:  $Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + Z_T + Z_{penyulang}$  (7)

Keterangan:

$Z_{1eq}$  = Nilai impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

$Z_{2eq}$  = Nilai impedansi ekivalen urutan negatif (Ohm)

$Z_s$  = Nilai impedansi sumber sisi 20kV (Ohm)

$Z_T$  = Nilai impedansi trafo urutan positif dan negatif (Ohm)

$Z_{penyulang}$  = Nilai impedansi urutan positif dan negatif (Ohm)

Sedangkan perhitungan untuk urutan nol dimulai dari trafo tenaga yang dinetralkan ke tanah, tahanan netral nilai 3RN dan impedansi penyulang. Sehingga persamaannya:

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_{0penyulang} \quad (8)$$

Dimana:

$Z_{0eq}$  = Nilai impedansi ekuivalen urutan nol (Ohm)

$Z_{t0}$  = Nilai impedansi trafo tenaga urutan nol (Ohm)

RN = Nilai tahanan tanah trafo tenaga (Ohm)

$Z_{0penyulang}$  = Impedansi urutan nol (Ohm)

#### 2.4.1 Gangguan hubung singkat 3 fasa

Pada arus hubung singkat 3 fasa, arus gangguan tiap fasa bernilai sama. Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat ditulis dengan persamaan[9]:

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \quad (9)$$

Dimana:

$I_{3fasa}$  = Nilai arus pada hambatan (A)

$V_{LL}$  = Nilai tegangan sumber (V)

#### 2.4.2 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Pada gangguan ini dapat terjadi akibat putusnya kawat fasa tengah distribusi ataupun kerusakan isolasi. Arus yang mengalir dapat ditentukan dengan persamaan[9]:

$$I_{2fasa} = \frac{V_{LL}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \quad (10)$$

Dimana:

$I_{2fasa}$  = Nilai arus pada hambatan (A)

$V_{LL}$  = Nilai tegangan sumber (V)

### 2.4.3 Gangguan hubung singkat 1 fasa

Hubung singkat dapat terjadi akibat arus tambahan yang mengalir ke tanah. Nilai arus hubung singkat 1 fasa dapat dihitung menggunakan rumus[9]:

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{V_{LL}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (11)$$

Keterangan:

$I_{1\text{fasa}}$  = Nilai arus pada hambatan (A)

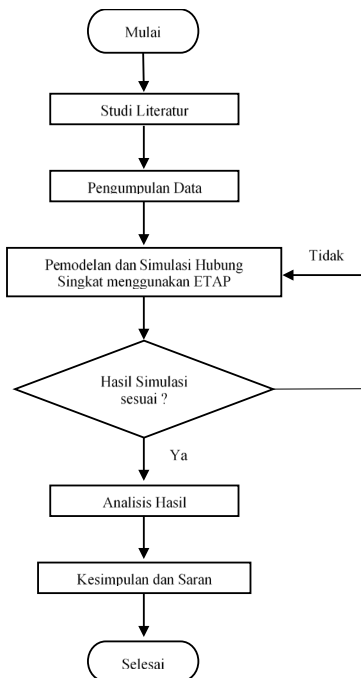
$V_{LL}$  = Nilai tegangan sumber (V)

### 2.5 ETAP

Perangkat lunak *ETAP (Electric Transient and Analysis Program)* adalah aplikasi yang digunakan untuk membantu menyelesaikan masalah dalam sistem tenaga listrik. *ETAP* adalah alat analisis yang paling komprehensif untuk desain dan pengujian sistem tenaga Listrik [10].

### 3. METODOLOGI

Berikut ini merupakan proses yang dilalui sehingga dapat mengumpulkan data dan tahapan ini dapat memudahkan dalam pengerjaan.



Gambar 1. Diagram alir perancangan

Pada gambar 1. Menunjukkan diagram alir yang diawali dengan studi literatur dan diakhiri dengan melakukan perhitungan dan simulasi dengan *ETAP* yang dimana hasil dari keduanya dibandingkan dan di analisa.

Penyulang RASA PT PLN (Persero) UP3 Majalaya disuplai dari Gardu Induk Cikasungka dengan kapasitas 60 MVA dan tegangan 150/20 kV. Penyulang RASA memiliki panjang 16.41

kms yang terdiri dari penghantar AAAC 70 mm<sup>2</sup> sepanjang 13,835 km dan penghantar AAAC 150 mm<sup>2</sup> sepanjang 2.575 km.

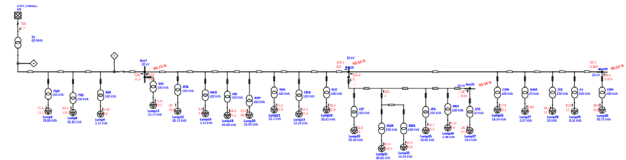
Tabel 1. Spesifikasi penghantar

Jenis Penghantar	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Impedansi Urutan Positif dan Negatif (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)	Panjang Penyulang (km)
AAAC	70	0.4608+ j0.3572	0.6088+ j1.6447	13,835
AAAC	150	0.2162+ j0.3305	0.3341+ j1,6180	2.575

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Load Flow Analysis Penyulang RASA

*Load Flow Analysis* dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dan daya aktif yang berada di penyulang RASA. Dalam pengujiannya dapat membuktikan bahwa seluruh komponen yang terpasang dapat beroperasi dengan baik.



Gambar 2. Load flow analysis penyulang RASA

Pada simulasi *software ETAP 20.6.0*, metode yang digunakan untuk aliran daya adalah metode *Adaptive Newton Raphson*. Dari hasil simulasi *load flow analysis* pada *ETAP 20.6.0* diperoleh daya aktif yang terbesar sebesar 0,639 MW pada bus 2 dan bus 4, sedangkan yang terkecil yaitu pada bus 25 sebesar 0,0172 MW. Pada daya rektif yang terbesar diperoleh di bus 4 sebesar 0,295 Mvar dan yang terkecil yaitu 0,0084 Mvar pada bus 25. Untuk besar arus yang mengalir paling tinggi berada di bus 4 sebesar 20,34 A dan yang terkecil berada di bus 25 yaitu sebesar 0,554 A. Dalam pengujian *load flow* itu sendiri memastikan bahwa tidak ada gangguan *critical*.

**Alert Summary Report**

	% Alert Settings	
	Critical	Marginal
<b>Loading</b>		
Bus	100.0	95.0
Cable / Busway	100.0	95.0
Reactor	100.0	95.0
Line	100.0	95.0
Transformer	100.0	95.0
Panel	100.0	95.0
Protective Device	100.0	95.0
Generator	100.0	95.0
Inverter/Charger	100.0	95.0
<b>Bus Voltage</b>		
OverVoltage	105.0	102.0
UnderVoltage	95.0	98.0
<b>Generator Excitation</b>		
OverExcited (Q Max.)	100.0	95.0
UnderExcited (Q Min.)	100.0	

Gambar 3. Alert summary penyulang RASA

Dapat dilihat juga dari gambar 3. hasil alert summary menampilkan bahwa tidak ada masalah pada tabel critical yang membahayakan.

**4.2 Analisis Gangguan Arus Hubung Singkat menggunakan ETAP 20.6.0**

Analisis hubung singkat dengan ETAP 20.6.0 pada penyulang RASA dapat dilihat hasilnya dengan short circuit analysis. Pengujian dilakukan pada setiap titik gardu distribusi dan dilakukan pengambilan sampel data pada bus 7 yaitu di area sistem proteksi.

**Short-Circuit Summary Report**

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus	ID	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-t					
		kV	Ik	Ip	Ik	Ip	Ib	Ik	Ip	Ib	Ik	Ip	Ib			
Bus7		20.000	5.250	9.312	5.250	0.280	0.497	0.280	0.380	4.547	8.065	4.547	4.547	4.609	8.175	4.6

All fault currents are in rms kA. Current Ip is calculated using Method C.  
\*LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 4. Hasil report arus hubung singkat

Dari hasil simulasi gangguan arus hubung singkat pada bus 7 didapatkan arus hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 5.250 A, arus hubung singkat dua fasa sebesar 4.547 A dan arus hubung singkat 1 fasa sebesar 280 A. Untuk memudahkan melihat nilai arus hubung singkat di penyulang RASA dengan berbagai lokasi maka hasilnya dibuat tabel seperti tabel berikut ini.

Tabel 2. Hasil simulasi gangguan arus hubung singkat penyulang RASA

No	Nama	Arus Hubung Singkat (kA)		
		3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1.	Bus2	13.139	11.379	0.288
2.	Bus4	10.492	9.086	0.287
3.	Bus5	8.657	7.497	0.286

No	Nama	Arus Hubung Singkat (kA)		
		3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
4.	Bus6	6.295	5.452	0.283
5.	Bus7	5.250	4.547	0.280
6.	Bus8	4.187	3.626	0.276
7.	Bus9	3.692	3.197	0.273
8.	Bus10	3.619	3.134	0.273
9.	Bus11	3.486	3.019	0.272
10.	Bus12	3.369	2.917	0.271
11.	Bus13	3.257	2.821	0.270
12.	Bus14	3.127	2.708	0.269
13.	Bus15	2.874	2.489	0.267
14.	Bus16	2.643	2.289	0.265
15.	Bus17	2.141	1.854	0.258
16.	Bus18	2.007	1.738	0.256
17.	Bus19	1.991	1.724	0.255
18.	Bus20	1.907	1.651	0.254
19.	Bus21	2.622	2.270	0.264
20.	Bus22	2.620	2.269	0.264
21.	Bus23	2.587	2.240	0.264
22.	Bus24	2.088	1.809	0.257
23.	Bus25	1.915	1.658	0.254

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa besar arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak, semakin dekat jarak titik gangguan maka semakin besar arus gangguan hubung singkatnya. Begitupun sebaliknya, semakin jauh jarak titik gangguannya, maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya.

**4.3 Perhitungan Gangguan Arus Hubung Singkat**

**4.3.1 Perhitungan impedansi sumber**

Besar nilai Isc sumber dari penyulang RASA adalah 25.97 kA. Maka untuk menentukan impedansi sumber harus diketahui besar dari MVAsc. Sehingga dapat dihitung dengan persamaan:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times V \times I_{sc} = \sqrt{3} \times 150 \times 25.97 = 6747.2 \text{ MVA}$$

Sehingga didapatkan nilai Z<sub>Sprimer</sub> dan Z<sub>Ssekunder</sub> dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z_{s \text{ primer}} = \frac{kV_1^2}{MVA}$$

$$Z_{s \text{ primer}} = \frac{150^2}{6747.2}$$

$$Z_{s \text{ primer}} = 3.33 \text{ Ohm}$$

Maka, nilai impedansi sumber sisi sekunder adalah:

$$Z_{s \text{ sekunder}} = \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times Z_{s \text{ primer}}$$

$$Z_{s \text{ sekunder}} = \frac{20^2}{150^2} \times 3.33$$

$$Z_{s \text{ sekunder}} = 0.0592 \text{ Ohm}$$

#### 4.3.2 Perhitungan reaktansi trafo

Nilai impedansi trafo yang menyuplai penyulang sebesar 12.50% maka untuk mengetahui besar nilai reaktansi urutan nilai impedansi urutan positif, negatif, dan impedansi urutan nol maka diperlukan perhitungan:

$$Z_t (100\%) = \frac{kV_2^2}{MVA}$$

$$Z_t (100\%) = \frac{20^2}{60}$$

$$Z_t (100\%) = 6.666667 \text{ Ohm}$$

maka dapat menentukan impedansi urutan positif dan urutan negatif dengan persamaan berikut:

$$Z_{t1} = Z_{t2} = \%Z \text{ trafo} \times Z_t (100\%)$$

$$Z_{t1} = Z_{t2} = 12.5\% \times 6.666667$$

$$Z_{t1} = Z_{t2} = 0.833334 \text{ Ohm}$$

Transformator daya yang menyuplai penyulang memiliki vektor grup Yynyn maka trafo yang terhubung YY tanpa belitan delta, nilai  $Z_{t0}$  yang dihitung akan berada pada kisaran 9 hingga 14 kali nilai  $Z_{t1}$ . Untuk memudahkan perhitungan besar nilai yang dipakai adalah 10. Maka  $Z_{t0}$  dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Z_{t0} = 10 \times Z_t (100\%) = 10 \times 0.833334 = 8.33334 \text{ Ohm}$$

#### 4.3.3 Perhitungan saluran penyulang

Penyulang RASA memiliki panjang saluran sebesar 16,41 km dan menggunakan penghantar berjenis AAAC 150 mm<sup>2</sup> sepanjang 2,575 km dan AAAC 70 mm<sup>2</sup> sepanjang panjang saluran 13,835 km. Maka dilakukan perhitungan impedansi saluran penyulang sesuai dengan titik gardu distribusi yang terpasang sepanjang penyulang

1. Impedansi Urutan positif dan negatif pada jarak 0%

$$Z_1 = Z_2 = \text{Panjang penyulang (km)} \times Z$$

$$Z_1 = Z_2 = 0 \times (0.4608 + j0.3572)$$

$$Z_1 = Z_2 = 0$$

2. Impedansi Urutan nol pada jarak 0%

$$Z_0 = \text{Panjang penyulang (km)} \times Z$$

$$Z_0 = 0 \times (0.6088 + 1.6447)$$

$$Z_0 = 0$$

#### 4.3.4 Perhitungan impedansi ekuivalen

Impedansi ekuivalen urutan positif dan urutan negatif perhitungan dapat langsung menjumlahkan impedansi tersebut. Maka hasilnya dapat diperoleh dengan persamaan:

1. Impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif pada jarak 0%

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s + Z_T + Z_{\text{penyulang}}$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j0.0592 + j0.833334 + 0$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j0.892534$$

2. Impedansi ekuivalen urutan nol pada jarak 0%

Pada penyulang RASA pentanahan titik netral sebesar 40 Ohm. Sehingga dapat dihitung dengan persamaan:

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_{0\text{penyulang}}$$

$$Z_{0eq} = j8.33334 + (3 \times 40) + 0$$

$$Z_{0eq} = 120 + j8.33334$$

#### 4.3.5 Perhitungan Arus hubung singkat

Gangguan Arus Hubung Singkat 3 Fasa pada jarak 0%

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

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{j0.892534}$$

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{11547}{\sqrt{0.892534^2}}$$

$$I_{3\text{fasa}} = 12937 \text{ A}$$

Gangguan Arus Hubung Singkat 2 Fasa pada jarak 0%

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{LL}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{\frac{20000}{2 \times (j0.892534)}}{20000}$$

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{20000}{2 \times (\sqrt{0.892534^2})}$$

$$I_{2\text{fasa}} = 11204 \text{ A}$$

Gangguan Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke tanah pada jarak 0%

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times 11547}{(2 \times (j0.892534)) + 120 + j8.33334}$$

$$I_{1\text{fasa}} = 283 \text{ A}$$

Untuk memudahkan melihat nilai arus hubung singkat di penyulang RASA dengan berbagai lokasi maka hasilnya dibuat tabel seperti tabel berikut ini.

Tabel 3. Hasil perhitungan gangguan arus hubung singkat penyulang RASA

No	Nama	Arus Hubung Singkat (kA)		
		3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
1.	Bus2	12.937	11.204	0.283
2.	Bus4	10.429	9.031	0.282
3.	Bus5	8.644	7.486	0.280
4.	Bus6	6.309	5.464	0.276
5.	Bus7	5.275	4.568	0.273
6.	Bus8	4.212	3.647	0.269
7.	Bus9	3.548	3.073	0.2659
8.	Bus10	3.480	3.014	0.2654
9.	Bus11	3.356	2.906	0.64
10.	Bus12	3.245	2.811	0.263
11.	Bus13	3.141	2.720	0.262
12.	Bus14	3.080	2.614	0.261
13.	Bus15	2.767	2.396	0.259
14.	Bus16	2.551	2.209	0.257
15.	Bus17	2.077	1.799	0.250
16.	Bus18	1.950	1.689	0.247
17.	Bus19	1.935	1.676	0.247
18.	Bus20	1.855	1.606	0.246
19.	Bus21	2.530	2.191	0.25687
20.	Bus22	2.529	2.190	0.25686
21.	Bus23	2.497	2.163	0.2565
22.	Bus24	2.027	1.756	0.248
23.	Bus25	1.863	1.613	0.245

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar terdapat pada arus hubung singkat 3 fasa dan hubung singkat terkecil ada pada arus hubung singkat 1 fasa ke tanah.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi load flow analysis pada ETAP 20.6.0 diperoleh daya aktif yang terbesar sebesar 0,639 MW pada bus 2 dan bus 4, sedangkan yang terkecil yaitu pada bus 25 sebesar 0,0172 MW. Pada daya rektif yang terbesar diperoleh di bus 4 sebesar 0,295 Mvar dan yang terkecil yaitu 0,0084 Mvar pada bus 25. Untuk besar arus yang mengalir paling tinggi berada di bus

4 sebesar 20,34 A dan yang terkecil berada di bus 25 yaitu sebesar 0,554 A. Dalam simulasi gangguan hubung singkat nilai arus hubung singkat, hasil simulasi pada bus 7 sebesar 5.250 A sedangkan untuk perhitungan sebesar 5.275 A. Hasil simulasi arus hubung singkat 2 fasa sebesar 4.547 A dan nilai perhitungan sebesar 4568 A. untuk hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 280 A dan perhitungan sebesar 273 A. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa antara perhitungan dan simulasi relevan digunakan dalam menentukan nilai arus gangguan arus hubung singkat yang hasilnya dapat digunakan untuk setting proteksi pada penyulang tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan dalam setiap rencana yang penulis lakukan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga, serta teman-teman penulis yang senantiasa membantu dan mendukung dalam pembuatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] SPLN 52-3 : 1983, "Pola Pengaman Sistem," *Perusahaan Umum Listrik Negara*, 1983.
- [2] Syufrijal And R. Monantun, "Jaringan Distribusi Tenaga Listrik".
- [3] "Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik," 2010.
- [4] I. Kadek, P. Paramadita, N. Putu, S. Utama, I. Wayan, And A. Wijaya, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Simetris Dan Asimetris untuk Menentukan Kapasitas Pengaman yang Terpasang Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Mambal," Ngakan Putu Satriya Utama, 2019.
- [5] W. Galla, A. Sampeallo, And J. Daris, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Udara 20 kV Di Penyulang Naioni PT. PLN (Persero) ULP Kupang Untuk Menentukan Kapasitas Pemutusan Fuse Cut Out Menggunakan ETAP 12.6," *Jurnal Media Elektro*, Vol. Ix, 2020.
- [6] W. Septiani, "Analisa Gangguan Hubung Singkat Pada Feeder 10 Pakan Sinayan PT. PLN (Persero) ULP Payakumbuh," *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi*, Vol. 12, No. 1, P. 567, Dec. 2022, Doi: 10.36499/Psnst.V12i1.7213.
- [7] L. Maisyarah, "Analisis Hubung Singkat Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20

kV (Studi Kasus Pada Penyulang LG 02 PT PLN (Persero) Rayon Lhokseumawe) Menggunakan Software ETAP 12.6.0,” *Jurnal Energi Elektrik*, Vol. 08, 2019.

- [8] W. Sarimun And R. Aridani, “Proteksi Differential Relay Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” *PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan Dan Pelatihan*, Apr. 2017.
- [9] B. De Metz-Noblat, F. Dumas, And C. Poulain, “Cahier Technique No. 158 Calculation Of Short-Circuit Currents Iec 60909.”
- [10] Z. Pangestu, “Simulasi Koordinasi Proteksi OCR Penyulang Distibusi 20 Kv Di PT. PLN UIP3B Sumatera Menggunakan ETAP,” 2021.