

## PENGARUH FLUKTUASI TEGANGAN PANGKAL PENYULANG DALUNG TERHADAP ARUS HUBUNG SINGKAT

Ni Komang Putri Maharani Indraswari Marya<sup>1)</sup>, I Ketut Suryawan<sup>1)</sup>, dan I Wayan Jondra<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali  
E-mail: indraswarimarya@gmail.com

### Abstract

The fluctuation of the voltage sent in the electric power distribution system sometimes go decrease and increase, also occurs in the Dalung feeder which is serviced from the Kapal Substation. The base on the data of voltage sent on December 2021 to. February 2022 in the Dalung feeder, that are fluctuates from 20.01 kV to 20.98 kV. The problem is how the voltage sent fluctuations affect to the magnitude of the short circuit current that may occur in the Dalung feeder. Data collection uses observation methods, interviews, documentation, and literature studies. Based on the analysis, it was obtained that the magnitude of the voltage sent at which a disturbance occurs is directly proportional to the short-circuit fault current that occurs, if the fault occurs at the same point. This research founded is on the voltage sent at the lowest point on 20.01 kV, the current fault of one phase to ground at the end of the network is also low at only 261,157 Amperes, while on the highest voltage sent up to 20.98 kV, the current fault of one phase to ground at the end of the network also will be increases to 273,817 Amperes.

**Keywords:** *voltage sent, fluctuations, fault current*

### PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan suatu sistem yang berguna untuk mendistribusikan atau menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar hingga sampai ke konsumen. Tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik bersifat fluktuatif atau mengalami perubahan naik dan turun (tidak stabil) (Syahputra et al., 2020). Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh perubahan beban serta besarnya daya yang di bangkitkan oleh pembangkit (Syahputra et al., 2020). Gangguan hubung singkat merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada jaringan distribusi 20 kV (Qoyyimi et al., 2017). Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan aliran arus menjadi besar sehingga dapat menurunkan keandalan sistem tenaga listrik dan menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan (Qoyyimi et al., 2017).

Penyulang Dalung merupakan salah satu penyulang yang berada di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Mengwi yang disupply dari Transformator II Gardu Induk (GI) Kapal, yang telah direkonfigurasi. Rekonfigurasi penyulang Dalung memperpendek saluran dan menurunkan beban penyulang. Terjadi fluktuasi tegangan kirim penyulang

Dalung periode Desember 2021 s.d. Februari 2022. Yang menjadi permasalahan adalah bagaimana pengaruh fluktuasi tegangan tersebut terhadap besarnya arus hubung singkat yang mungkin terjadi di penyulang Dalung. Berdasarkan kasus diatas, maka dilakukan analisis mengenai pengaruh fluktuasi tegangan pangkal terhadap besarnya arus gangguan hubung singkat yang dapat terjadi di penyulang Dalung setelah rekonfigurasi penyulang.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif deskriptif yang menganalisis pengaruh fluktuasi tegangan terhadap besarnya arus gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi 20kV. Dalam pengambilan data digunakan beberapa metode pengambilan data, seperti metode wawancara, observasi, dokumentasi, dan studi pustaka. Data yang diperoleh diolah secara matematis dan statistik untuk menjawab permasalahan yang timbul.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan Arus Hubung Singkat

- a. Impedansi Sumber Transformator Tenaga dipengaruhi oleh tegangan dan kapasitas hubung singkat (Triyanto & Agus, 2021), sehingga impedansi Trafo II GI Kapal dapat dihitung seperti di bawah ini.

$$Z_{SC} = \frac{V_1^2}{MVA_{SC}} = j \frac{150^2}{3.593,1394} = j 6,2619 \Omega$$

Arus hubung singkat yang akan dianalisis adalah disisi 20 kV, maka impedansi dikonversikan kesisi 20 kV (Simanjuntak et al., 2017; Triyanto & Agus, 2021) sebagaimana tertuang di bawah ini.

$$Z_{SC}' = \frac{V_2^2}{V_1^2} \times Z_{SC} = j \frac{20^2}{150^2} \times 6,2619 = j0,1113 \Omega$$

- b. Impedansi Transformator urutan positif ( $Z_{T1}$ ) dan negatif ( $Z_{T2}$ ) dipengaruhi oleh tegangan sekunder, kapasitas, dan reaktansinya (Rizal & Azis, 2022), untuk Trafo Tenaga II GI Kapal diperoleh Impedansi seperti di bawah ini.

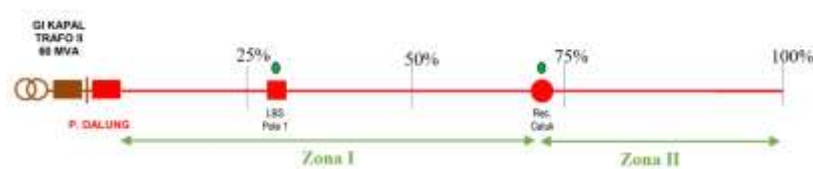
$$Z_{T1} = Z_{T2} = \%X_{Trafo} \times \frac{V_2^2}{MVA_{Trafo}} = 12,5 \% \times \frac{20^2}{60} = j 0,8333 \Omega$$

Transformator II GI Kapal mempunyai hubungan vektor grup YNyn0, maka impedansi transformator tenaga urutan nol ( $Z_{T0}$ ) adalah 10 kali lipat urutan positif (Simanjuntak et al., 2017) yang nilainya sebagai perhitungan di bawah ini.

$$Z_{T0} = 10 \times Z_{T1} = j 8,333\Omega$$

c. Perhitungan impedansi jaringan pada Penyulang Dalung

Penyulang Dalung terdiri atas kabel tanah (NA2XSEFGBY 240 mm<sup>2</sup>) sebagai *output* dari kubikel PMT Outgoing hingga ke tiang pertama SUTM, kemudian disambungkan dengan AAAC 150 mm<sup>2</sup> hingga ke ujung, dengan total panjang 8,343 kms. Perhitungan dibagi menjadi Zona 1 (PMT *Outgoing* – *Recloser* Celuk) dan Zona 2 (*Recloser* Celuk – ujung jaringan). Adapun lokasi gangguan yang dipilih yaitu persentase panjang jaringan 25%, 50%, 75%, dan 100%.



Gambar 1. Jaringan Penyulang Dalung

Nilai impedansi penghantar terdiri atas tahanan dan induktansi (Syahputra et al., 2018; Mangera & Hardiantono, 2019) dikalikan dengan panjang penghantar, sehingga ditemukan impedansi penyulang Dalung seperti di bawah ini.

$$Z_1 = Z_2 = (R_1 + X_1) \times L = (0,21 + j0,2849) \times 3,192 = 0,67032 + 0,9094008j \Omega$$

Dengan perhitungan yang sama, maka nilai total impedansi jaringan urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1  
Impedansi Jaringan Urutan Positif dan Negatif

Zona	Jenis Penghantar	Panjang (km)	$Z_1=Z_2$ ( $\Omega$ /km)	$Z_1=Z_2$ ( $\Omega$ )
1	NA2XSEBY 240 mm <sup>2</sup>	3	0,161+0,098j	0,483+0,294j
	AAAC 150 mm <sup>2</sup>	0,031	0,21+0,2849j	0,00651+0,0088319j
2	AAAC 150 mm <sup>2</sup>	3,192	0,21+0,2849j	0,67032+0,9094008j
	AAAC 150 mm <sup>2</sup>	2,12	0,21+0,2849j	0,4452+0,603988j
<b>Total Impedansi Jaringan Urutan Positif dan Negatif</b>				<b>1,60503+1,8162207j</b>

Tabel 2  
Impedansi Jaringan Urutan Nol

Zona	Jenis Penghantar	Panjang (km)	$Z_0$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$Z_0$ ( $\Omega$ )
	NA2XSEBY 240 mm <sup>2</sup>	3	0,483+0,245j	1,449+0,735j
1	AAAC 150 mm <sup>2</sup>	0,031	0,35692+1,78779j	0,01106452+0,05542149j
	AAAC 150 mm <sup>2</sup>	3,192	0,35692+1,78779j	1,13928864+5,70662568j
2	AAAC 150 mm <sup>2</sup>	2,12	0,35692+1,78779j	0,7566704+3,7901148j
<b>Total Impedansi Jaringan Urutan Nol</b>				<b>3,35602356+10,28716197j</b>

Nilai impedansi jaringan berdasarkan lokasi gangguan yang dipilih dapat dihitung dengan mengalikan persentase panjang jaringan dengan impedansi total (Amrullah et al., 2017) sebagai berikut.

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ jarak} \times Z_{1 \text{ total}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 25\% \times (1,60503 + 1,8162207j) = 0,4012575 + 0,454055175j \Omega$$

Dengan cara perhitungan yang sama maka diperoleh data seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3  
Impedansi Jaringan Berdasarkan Persentase Panjang Jaringan

Panjang Jaringan		$Z_1=Z_2$	$Z_0$
(Meter)	(%)	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )
2.085,8	25%	0,4012575+0,454055175j	0,83900589+2,5717904925j
4.171,5	50%	0,802515+0,90811035j	1,67801178+5,143580985j
6.257,3	75%	1,2037725+1,362165525j	2,51701767+7,7153714775j
8.343	100%	1,60503+1,8162207j	3,35602356+10,28716197j

#### d. Perhitungan impedansi ekuivalen pada Penyulang Dalung

Impedansi ekuivalen merupakan impedansi total yang dihitung dari sumber (Amrullah et al., 2017; Triyanto & Agus, 2021) yaitu GI Kapal sampai ke titik gangguan penyulang Dalung.

##### 1. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Negatif

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{SC}' + Z_{T1} + Z_1$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{SC}' + Z_{T1} + Z_1 \text{ (lokasi 25\% panjang jaringan)}$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j0,1113 + j0,8333 + (0,4012575 + 0,454055175j)$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = 0,4012575 + 1,39871177064996j \Omega$$

## 2. Impedansi Ekuivalen Urutan Nol

Tahanan pembumian ( $R_n$ ) di Transformator II GI Kapal menggunakan NGR 40  $\Omega$  dengan toleransi  $\pm 10\%$  dari nameplate (PT PLN (Persero), 2014). Data pemeliharaan rutin 2 tahunan menunjukkan nilai tahanan NGR berkisar antara 39,5 sampai 41  $\Omega$ . NGR dihubungkan secara seri dengan arde pembumian (Yusniati, 2018). Nilai arde pembumian (pentanahan langsung) dapat berubah-ubah bergantung musim dan kondisi tanah (Nur & Suriadi, 2019), pentanahan yang diizinkan lebih kecil dari 1  $\Omega$  (Nur & Suriadi, 2019). Data menunjukkan resistansi pembumian berkisar antara 0,09  $\Omega$  sampai 0,31  $\Omega$ . Dalam menghitung impedansi ekuivalen urutan nol ( $Z_0$ ) tahanan pembumian yang digunakan adalah nilai tahanan NGR terbesar dan nilai arde pembumian terbesar yang terukur sehingga diperoleh  $R_n$  sebesar 41,31  $\Omega$ .

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3R_n + Z_0$$

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3R_n + Z_0 \text{ (lokasi 25\% panjang jaringan)}$$

$$Z_{0eq} = j 8,3333 + (3 \times 41,31) + (0,83900589 + 2,5717904925j)$$

$$Z_{0eq} = 124,76900589 + 10,9051238258333j$$

Impedansi ekuivalen urutan positif, negatif, dan nol lokasi gangguan yang lain sebagaimana Tabel 4.

Tabel 4  
Impedansi Ekuivalen Jaringan Berdasarkan Persentase Panjang Jaringan

Panjang Jaringan		$Z_{1eq}=Z_{2eq}$	$Z_{0eq}$
(Meter)	(%)	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )
2.085,8	25%	0,4012575+1,39871177064996j	124,76900589+10,9051238258333j
4.171,5	50%	0,802515+1,85276694564996j	125,60801178+13,4769143183333j
6.257,3	75%	1,2037725+2,30682212064996j	126,44701767+16,0487048108333j
8.343	100%	1,60503+2,76087729564996j	127,28602356+18,6204953033333j

### e. Perhitungan arus gangguan hubung singkat pada Penyulang Dalung

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat digunakan persamaan umum hukum ohm (Sarimun, 2016; Sarimun, 2014). Hanya saja, besarnya tegangan dan impedansi ekuivalen yang dimasukkan ke dalam hukum ohm tersebut bergantung dari jenis gangguan hubung singkat yang terjadi.

Tabel 5  
Tegangan Pangkal Penyulang Dalung periode Des. 2021 s.d. Feb. 2022

Bulan	Penyulang	Tegangan Pangkal (kV)			
		Tertinggi		Terendah	
		Tegangan	Tanggal	Tegangan	Tanggal
Desember	P_Dalung	20,98	26/12/2021 21.30	20,01	14/12/2021 12.30
Januari	P_Dalung	20,93	04/01/2022 21.30	20,11	15/01/2022 08.30
Februari	P_Dalung	20,94	07/02/2022 11.00	20,06	22/02/2022 09.00

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

$$I_{hs\ 3\ fasa} = \frac{E_{ph}}{Z_{1eq\ (25\% \text{ panjang jaringan})}} = \frac{\frac{20.980}{\sqrt{3}}}{0,4012575 + 1,39871177064996j} = 8.994,3175\ A$$

2. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

$$I_{hs\ 2\ fasa} = \frac{E_{ph-ph}}{Z_{1eq(25\% \text{ panjang jaringan})} + Z_{2eq(25\% \text{ panjang jaringan})}}$$

$$I_{hs\ 2\ fasa} = \frac{20.980}{2 \times (0,4012575 + 1,39871177064996j)} = 7.789,3074\ A$$

3. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa-Tanah

$$I_{hs\ 1\ fasa} = \frac{3 \times E_{ph}}{Z_{1eq(25\% \text{ pjg jaringan})} + Z_{2eq(25\% \text{ pjg jaringan})} + Z_{0eq(25\% \text{ pjg jaringan})}}$$

$$I_{hs\ 1\ fasa} = \frac{3 \times \frac{20.980}{\sqrt{3}}}{(125,57152089 + 13,7025473671332j)} = 287,6766\ A$$

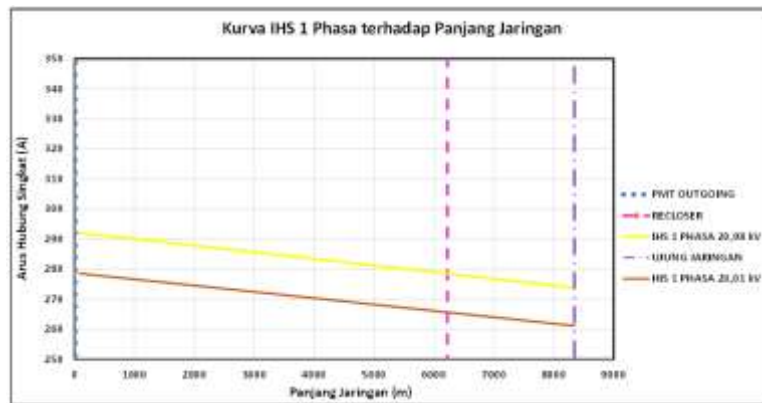
Dengan menggunakan cara yang sama, maka besarnya arus gangguan hubung singkat di lokasi gangguan yang lain ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6  
Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

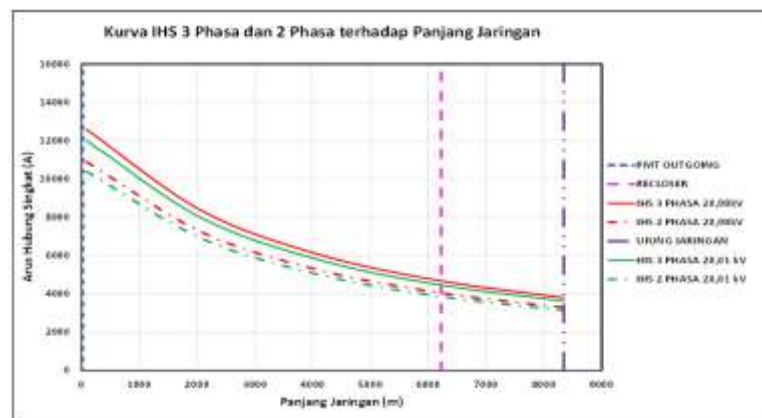
Panjang Jaringan		Tegangan Tertinggi (20,98kV)			Tegangan Terendah (20,01kV)		
Meter	(%)	Arus Gangguan HS. (Ampere)			Arus Gangguan HS. (Ampere)		
		3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa-Tnh	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa-Tnh
2.085,8	25%	8324,213	7208,98	287,677	7939,347	6875,676	274,376
4.171,5	50%	5999,105	5195,377	283,080	5721,739	4955,171	269,992
6.257,3	75%	4655,160	4031,487	278,454	4439,931	3845,093	265,580
8.343	100%	3792,934	3284,778	273,817	3617,570	3132,907	261,157

### Analisis

Setelah dilakukan perhitungan dan diperoleh hasil yang tertera pada Tabel 6, maka dapat dibuat kurva arus gangguan hubung singkat terhadap panjang jaringan dengan tegangan tertinggi dan terendah yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Phasa Penyulang Dalung



Gambar 3. Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat 3 dan 2 Phasa Penyulang Dalung

Berdasarkan kurva diatas menunjukkan perbandingan nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah dipengaruhi oleh besarnya tegangan pangkal penyulang pada saat terjadi gangguan.

### SIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan penelitian ini, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Besarnya tegangan pangkal saat terjadi gangguan berbanding lurus terhadap arus gangguan hubung singkat yang terjadi, jika gangguan terjadi di titik yang sama.
2. Pada saat tegangan pangkal penyulang dalung di titik terendah 20,01 kV, arus gangguan 1 phasa ke tanah di ujung jaringan juga rendah hanya 261,157 Ampere,

sedangkan pada saat tegangan tertinggi mencapai 20,98 kV, arus gangguan 1 fasa ke tanah di ujung jaringan juga meningkat mencapai 273,817 Ampere.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, K. M. A., Kurniawan, R., & Putra, G. B. (2017). Aplikasi pemetaan prediksi lokasi gangguan hubung singkat pada saluran distribusi 20kV berbasis website pada penyulang Apel. In *PROCEEDINGS OF NATIONAL COLLOQUIUM RESEARCH AND COMMUNITY SERVICE, 1*, 140-147. <https://doi.org/10.33019/snppm.v1i0.516>
- Mangera, P., & Hardiantono, D. (2019). Analisis Rugi Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV pada PT. PLN (Persero) Cabang Merauke. *Musamus Journal of Electro & Mechanical Engineering, 1*(2), 61-69.
- Nur, A.T., Suriadi, A. (2019). Studi Arus Neutral Grounding Resistor (NGR) di Unit Generator – Transformator untuk Berbagai Gangguan Fasa ke Tanah. *Skripsi thesis, Universitas Muhammadiyah Makassar*.
- PT PLN (Persero). (2014). Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor : 0520-3/K/DIR/2014 Tentang Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Sekunder Gardu Induk.
- Qoyyimi, T. A. A., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2017). Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System). *Jurnal Teknik ITS, 6*(1), B66-B71.
- Rizal, C., & Azis, A. (2022). Analisa Setting Relai Arus Lebih (OCR) Dan Relai Gangguan Tanah (GFR) Pada Penyulang Gurami Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang. *Jurnal Ampere, 7*(1), 49-62.
- Sarimun, W. (2016). Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua. *Depok: Garamond*.
- Sarimun, W. (2014). Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Ketiga. *Depok: Garamond*.
- Simanjuntak, R. P., Syafriyudin, S., & Firman, B. (2017). Analisis Keandalan Penempatan Recloser Dan Besar Arus Hubung Singkat di Pt. Pln (Persero) Distribusi Area Yogyakarta. *Jurnal Elektrikal, 4*(1), 40-47.
- Syahputra, R., Yaman, Y., & Jannah, R. (2018). Desain Modul Saluran Distribusi Tegangan Menengah Dan Beban. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe, 2*(1), A59-A65.
- Syahputra, R., Yusmartato, Y., Nasution, R., & Yusniati, Y. (2020). Pengoperasian Transformator Dengan Menggunakan Tap Changer Aplikasi Gardu Induk Denai. *JET (Journal of Electrical Technology), 5*(2), 53-60.
- Triyanto, A., & Agus Ulinuha, S. T. (2021). Analisis Gangguan Hubung Singkat Untuk Penentuan Breaking Capacity Circuit Breaker Pada Sistem Distribusi PLTD Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi Cepu. *Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Yusniati. (2018). Analisa Gangguan Arus Lebih Terhadap Kondisi Netral Grounding Resistance Aplikasi PT PLN (Persero) Gardu Induk Lamhotma. *Rekayasa Elektrikal dan Energi (RELE) Jurnal Teknik Elektro, 1*(1), 16-20. <http://dx.doi.org/10.30596%2Frele.v1i1.2257>.