

**ANALISA KEDIP TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 kV DI PENYULANG SRAGEN 1**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

AHMAD ARDIANTO

D 400 140 069

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA KEDIP TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 kV DI PENYULANG SRAGEN 1
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

AHMAD ARDIANTO

D 400 140 069

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Umar S.T.,M.T

NIK : 731

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA KEDIP TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 kV DI PENYULANG SRAGEN I
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

OLEH
AHMAD ARDIANTO

D 400 140 069

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari sabtu, 9 juni 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T, M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Jatmiko, S.T, M.T
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Hasyim Asy'ari, S.T, M.T
(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)


(.....)


(.....)

Dekan,


Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph.D
NIK. 892


PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 6 juni 2018

Penulis



AHMAD ARDIANTO

D400 140 069

ANALISA KEDIP TEGANGAN AKIBAT GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 kV DI PENYULANG SRAGEN 1

Abstrak

PT. PLN (Persero) Rayon Sragen merupakan perusahaan listrik yang menangani tentang perawatan dan pembagian tenaga listrik 20 kV di wilayah Sragen. Perusahaan tersebut mendapat suplai dari salah satu transformator 150/20 kV, 60 MVA yang ada pada Gardu Induk Sragen. Jaringan distribusi tenaga listrik kadang kala mengalami adanya gangguan, salah satunya dikarenakan oleh arus hubung singkat. Gangguan hubung singkat di saluran distribusi terjadi dengan waktu yang sangat singkat sehingga menyebabkan tegangan nominal turun sesaat yang disebut kedip tegangan. Arus hubung singkat yang biasa terjadi di saluran distribusi ialah gangguan hubung singkat fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan tiga fasa. Guna mengetahui nilai kedip tegangan akibat arus gangguan hubung singkat diperlukan analisa dan perhitungan nilai arus gangguan hubung singkat yang kemudian dilakukan analisa kedip tegangan di titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang. Analisa dan perhitungan kedip tegangan dilakukan di penyulang SRAGEN 1 yang merupakan salah satu penyulang di Gardu Induk Sragen. Nilai kedip tegangan dan persentasenya dari tegangan normal pada saat gangguan hubung singkat fasa ke tanah di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah $285,931 \pm 0,2803^\circ$ V (2,476%); $745,425 \pm 0,662^\circ$ V (6,455%); $1451,735 \pm 1,165^\circ$ V (12,57%); dan $2635,795 \pm 1,985^\circ$ V (22,82%). Nilai kedip tegangan dan persentasenya dari tegangan normal pada saat gangguan hubung singkat fasa ke fasa di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah $2662,367 \pm 0,0047^\circ$ V (13,31%); $2139,58 \pm 0,0026^\circ$ V (10,69%); $1523,63 \pm 0,00264^\circ$ V (7,6%); dan $664,04 \pm 0,00363^\circ$ V (3,32%). Nilai kedip tegangan dan persentasenya dari tegangan normal pada saat gangguan hubung singkat tiga fasa di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah $1039,37 \pm 16,104^\circ$ V (5,196%); $2415,65 \pm 15,91^\circ$ V (12,078%); $4091,04 \pm 15,41^\circ$ V (20,455%); dan $6579,2 \pm 14,55^\circ$ V (32,896%).

Kata Kunci: penyulang, transformator, arus hubung singkat, kedip tegangan

Abstract

PT. PLN (Persero) Rayon Sragen is an electricity company that handles about 20 kV power supply and distribution in Sragen region. The company gets supplies from one of the 150/20 kV transformers, 60 MVA that is on Sragen Substation. Power distribution networks sometimes experience interference, one of them due to short circuit current. Short circuit interruptions in the distribution channel occur with a very short time causing a nominal drop down voltage called a voltage flicker. The usual short-circuit current in the distribution channel is a phase-to-phase, phase to phase, and triple phase short circuit. In order to know the value of blinking voltage due to short circuit current flows required analysis and calculation of short circuit current noise value which is then done blinking voltage analysis at 25%, 50%, 75%, and 100% of the repeater length. Analysis and calculation of the blinking voltage is done in SRAGEN 1 repeater which is one of the repeater in Sragen Substation. The voltage flicking value and the percentage of the normal voltage at the moment of short-circuit ground to 25%, 50%, 75%, and 100% respectively are $285,931 \pm 0,2803^\circ$ V (2.476%); $745,425 \pm 0,662^\circ$ V (6.455%); $1451,735 \pm 1,165^\circ$ V (12.57%); and $2635,795 \pm 1,985^\circ$ V (22.82%). The voltage sags and the percentage of the normal

voltage at the moment of phase to phase short circuit at 25%, 50%, 75%, and 100% respectively are $2662,367 \angle -0,0047^\circ$ V (13,31%) ; $2139,58 \angle -0,0026^\circ$ V (10,69%); $1523,63 \angle -0,00264^\circ$ V (7,6%); and $664,04 \angle -0,00363^\circ$ V (3,32%). The voltage sags value and the percentage of the normal voltage at the time of short-circuit three-phase interference at 25%, 50%, 75%, and 100% respectively are $1039,37 \angle -16,104^\circ$ V (5,196%); $2415,65 \angle 15,91^\circ$ V (12,078%); $4091,04 \angle -15,41^\circ$ V (20,455%); and $6579,2 \angle -14,55^\circ$ V (32,896%).

Keywords: repeater, transformer, short circuit current, voltage sag

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik untuk masyarakat akan mengalami peningkatan tiap tahunnya, semakin hari akan ada banyak sekali peralatan elektronik bermunculan yang menyebabkan permintaan energi listrik akan semakin meningkat. (Akbar, 2012). Analisis keandalan mempertimbangkan kendala kualitas daya telah menjadi bagian penting dari proses menangani solusi untuk meningkatkan operasi sistem tenaga (Conay, 1996). Sistem distribusi meliputi jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi primer ialah jaringan dari trafo menuju Gardu Induk (GI), sedangkan jaringan distribusi sekunder ialah jaringan dari trafo distribusi menuju beban. Jaringan distribusi primer biasa disebut jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV, dan untuk jaringan distribusi sekunder disebut juga jaringan tegangan rendah (JTR) 220 V dan 380 V.

Salah satu permasalahan sistem tenaga listrik berhubungan dengan kualitas daya listrik adalah kedip tegangan. Sekitar 80% masalah kualitas daya berhubungan dengan gejala kedip tegangan (Samineni, 2003). Salah satunya adalah gangguan kedip tegangan yang disebabkan oleh arus hubung singkat. Kedip tegangan adalah penurunan nilai tegangan rms antara 0,1 pu sampai 0,9 pu selama durasi 0,5 siklus hingga 1 menit (Standar IEEE, 1159-1995). Gambar dibawah merupakan siklus kedip tegangan.



Gambar 1. Kedip Tegangan

Gangguan kedip tegangan biasanya disebabkan oleh :

- a. Adanya perubahan nilai beban secara tiba-tiba akibat *switching* beban dan pengasutan motor induksi.
- b. Adanya gangguan hubung singkat di saluran distribusi, gangguan hubung singkat yang terjadi disebabkan oleh gangguan fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan tiga fasa.

Penyulang SRAGEN 1 adalah salah satu penyulang yang mendapat suplai dari trafo tenaga 150/20 kV, 60 MVA yang ada di Gardu Induk Sragen. Hubung singkat yang sering terjadi

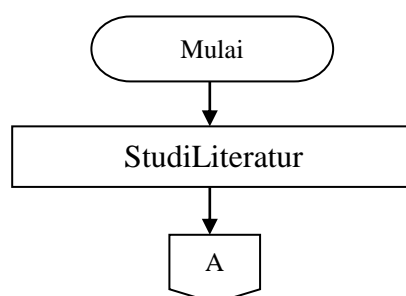
di penyulang adalah hubung singkat fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan tiga fasa. Gangguan tersebut dapat mengakibatkan kedip tegangan pada saluran distribusi. Gangguan hubung singkat fasa ke tanah meliputi terjadinya sambaran petir, cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM, dan akibat kontak hewan. Gangguan hubung singkat fasaa ke fasa meliputi cuaca yang kurang baik dan cabang pohon yang menyentuh antara fasa dengan fasa saluran SUTM. Sedangkan gangguan tiga fasa meliputi pengsaklaran atau *trip circuit breakertiga fasa*, yang dapat mengakibatkan kedip tegangan di penyulang lain dari GI yang sama. Besarnya kedip tegangan yang dirasakan pada titik tertentu dalam sistem tenaga tergantung pada sejumlah fitur, termasuk topologi jaringan, koneksi transformator, panjang dan jenis penampang, jenis dan durasi kesalahan, dan mekanisme yang tersedia (Heine, 2005). Kedip tegangan akibat gangguan hubung singkat yang terjadi dihitung di titik gangguan 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang saluran distribusi penyulang.

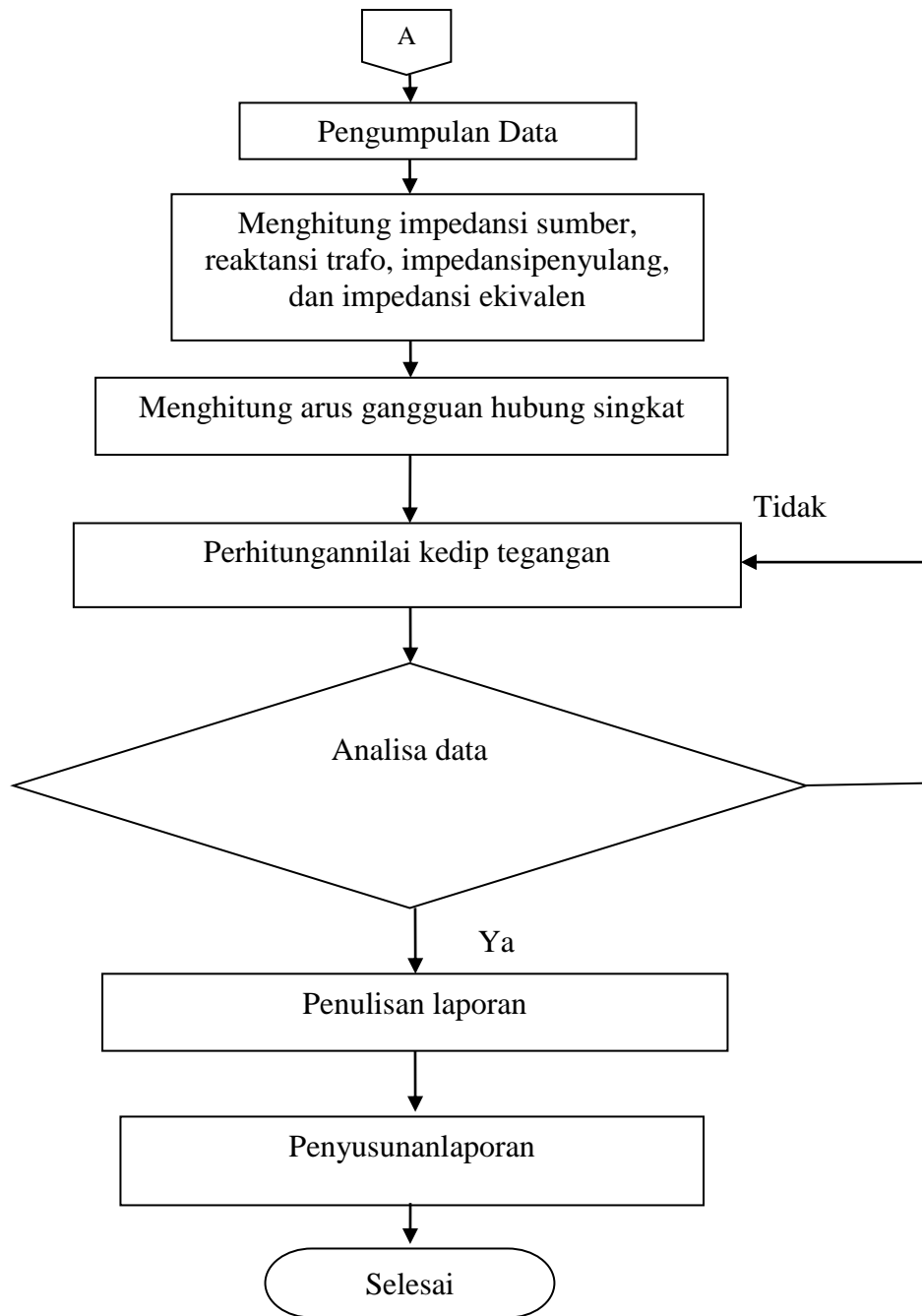
2. METODE

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah mencari refrensi maupun literatur yang berkaitan dengan proteksi dari berbagai sumber. Penelitian dilaksanakan selama 2 minggu di APJ Surakarta guna mendapatkan data yang berkaitan dengan tugas akhir. Data-data tersebut dimeliputi data transformator tenaga 150/20 kV 60 MVA, data hubung singkat di bus 150 kV, dan data saluran distribusi 20 kV penyulang SRAGEN 1. Data yang terkumpul dapat dilakukan proses analisa perhitungan secara manual. Langkah-langkah penyusunan laporan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur, penulis mencari jurnal ilmiah dan mencari materi dari berbagai sumber.
2. Pencarian data, data diperoleh dari Apj Surakarta, apabila data telah terkumpul dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya.
3. Analisis data, melakukan perhitungan kedip tegangan dengan menggunakan data yang telah didapatkan sebelumnya.
4. Kesimpulan, penarikan kesimpulan diambil dari hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan.

Berikut adalah flowchart penelitian





Gambar2. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gardu induk Sragen mempunyai tiga unit transformator tenaga yang menyuplai 14 penyulang, salah satunya adalah penyulang SRAGEN 1. Data-data trafo tersebut adalah sebagai berikut.

Merk = UNINDO

Daya = 60 MVA

Tegangan = 150/20 kV

Impedansi = 12,4 %

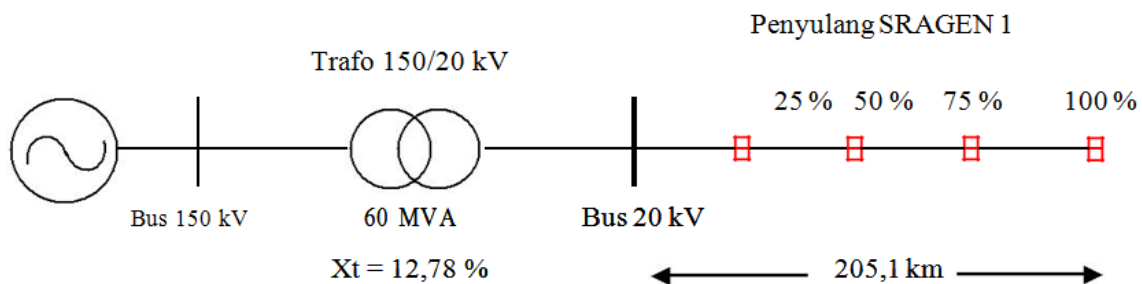
Tahanan = 0,5 ohm

Hub. Belitan = YNyn0

Penentuan Nilai Arus Hubung Singkat

Nilai arus hubung singkat dihitung dititik 25%, 50%, 75%, dan 100% dari panjang penyulang.

Berikut adalah gambar rangkaian penyulang GI Sragen khususnya penyulang SRAGEN 1.



Gambar 3. Penyulang SRAGEN 1

3.1.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Sebelum melakukan perhitungan di sisi sekunder (20 kV) terlebih dahulu menghitung disisi primer (150 kV). Data hubung singkat yang telah didapat pada bus primer adalah 555 MVA.

Impedansi sumber disisi primer adalah:

$$\begin{aligned} X_s(\text{sisi primer}) &= \frac{kV (\text{sisi primer trafo})^2}{MVA (\text{data hubung singkat di bus primer})} \\ &= \frac{150^2}{555} = 40,54 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Menghitung impedansi sumber di sisi sekunder (20 kV) maka dirubah dari 120 kV menjadi 20 kV. Impedansi sumber disisi sekunder adalah:

$$\begin{aligned} X_s(\text{sisi sekunder}) &= \frac{kV (\text{sisi sekunder trafo})^2}{kV (\text{sisi primer trafo})^2} \times X_s (\text{sisi 150 kV}) \\ &= \frac{20^2}{150^2} \times 40,54 = 0,72 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

3.1.2 Penentuan Reaktansi Transformator

Reaktansi transformator tenaga 150 kV, 60 MVA pada GI Sragen dapat diketahui jika reaktansi urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol sudah diketahui. Perhitungan nilai reaktansi tersebut dalam ohm dapat dilakukan apabila nilai reaktansi maksimum diketahui, besarnya nilai reaktansi maksimum adalah:

$$X_t (\text{ohm}) = \frac{kV (\text{sisiprimer})^2}{MV \text{Atrafo}} = \frac{20^2}{60} = 6,67 \text{ Ohm}$$

Nilai reaktansi trafo tenaga :

a. Reaktansi Urutan Positif dan Negatif

Reaktansi urutan positif (X_{t1}) sama dengan urutan negatif (X_{t2}) atau $X_{t1} = X_{t2}$.

Reaktansi tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t (\text{pada } 100\%)$$

$$= 12,78 \times 6,67 \text{ Ohm}$$

$$= 0,852 \text{ Ohm}$$

b. Reaktansi Ututan Nol

Transformator dengan hubungan Y_{nyn0} yang tidak memiliki belitan delta maka nilai X_{t0} adalah antara 9 sampai 14. Perhitungan ini menggunakan $X_{t0} = 10$. Reaktansi urutan positif dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_{t0} = 10 \times X_{t1} = 10 \times 0,852 = 8,52 \text{ Ohm}$$

3.1.3 Penentuan Impedansi Penyulang

Data yang telah didapat, penyulang SRAGEN 1 adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Reaktansi penghantar AAAC tegangan 20 kV (SPLN 64 : 1985)

Jenis Penghantar	Impedansi urutan + (ohm/km)	Impedansi urutan - (ohm/km)	Panjang penghantar (km)
AAAC 3x50 mm	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553	0,60
AAAC 3x70 mm	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447	42,25
AAAC 3x120 mm	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324	3,95
AAAC 3x150 mm	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180	6,25
AAAC 3x240 mm	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034	152,05
TOTAL			205,10

Nilai impedansi suatu penyulang adalah $Z = (R + jX)$. Untuk menghitung Z_1 , Z_2 , dan Z_0 pada titik n perlu diketahui terlebih dahulu panjang penyulang dititik 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan rumus :

$$N = \text{titik gangguan} (\%) \times \text{panjang penyulang}$$

Menentukan impedansi penghantar yang digunakan dititik 25%, 50%, 75%, 100%

$$Z1 = \frac{na}{\Sigma n} (Za) + \frac{nb}{\Sigma n} (Zb) + \frac{nc}{\Sigma n} (Zc) + \dots \dots \dots \dots \dots \text{dan seterusnya}$$

Pada titik 25%

$$N = 25\% \quad 205,1 = 51,275 \text{ km}$$

$$Z1/Z2 \text{ titik } 25\% = \frac{0,6}{205,1} (0,6452 + j 0,3678) + \frac{42,25}{205,1} (0,4608 + j 0,3572) + \frac{3,95}{205,1} (0,2688 + j 0,3376) + \frac{4,475}{205,1} (0,2162 + j 0,3305) = 0,1405 + j0,3823 \text{ ohm}$$

$$Z0 \text{ titik } 25\% = \frac{0,6}{205,1} (0,7932 + j 1,6553) + \frac{42,25}{205,1} (0,6088 + j 1,6447) + \frac{3,95}{205,1} (0,4168 + j 1,6324) + \frac{4,475}{205,1} (0,3631 + j 1,6180) = 0,1437 + j0,4104 \text{ ohm}$$

Dari perhitungan diatas besarnya impedansi penyulang Z1, Z2, dan Z0 di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut adalah

Tabel 2. Impedansi penyulang

Titik (%)	Z1 = Z2 (ohm)	Z0 (ohm)
25	0,1405 + j0,3823	0,1437 + j0,4104
50	0,1745 + j0,4613	0,2149 + j0,8113
75	0,2078 + j0,5403	0,2855 + j1,2122
100	0,2757 + j0,7009	0,4292 + j2,0278

3.1.4 Penentuan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z1 \text{ ekuivalen} = Z2 \text{ ekuivalen} = Zs1 + Zt1 + Z1 \text{ penyulang}$$

$$Z0 \text{ ekuivalen} = Zt0 + 3RN + Z0 \text{ penyulang}$$

Keterangan :

Zs = Impedansi sumber sisi sekunder (ohm)

Zt = Impedansi trafo (ohm)

RN = Tahanan tanah trafo (ohm)

Zpenyulang = Impedansi penyulang (ohm)

Tabel 3. Impedansi ekuivalen jaringan

Titik (%)	Z1 eki = Z2 eki (ohm)	Z0 eki (ohm)
25	$j0,72 + j0,852 + (0,1405 + j0,3823) = 0,1405 + j1,9543$	$j8,52 + (3 \cdot 0,5) + (0,1437 + j0,4104) = 1,6437 + j8,9304$

50	$j0,72 + j0,852 + (0,1745 + j0,4613) =$ $0,1745 + j2,0333$	$j8,52 + (3 \ 0,5) + (0,2149 + j0,8113) =$ $1,7149 + j9,3313$
75	$j0,72 + j0,852 + (0,2078 + j0,5403) =$ $0,2078 + j \ 2,1123$	$j8,52 + (3 \ 0,5) + (0,2855 + j1,2122) =$ $1,7855 + j9,7322$
100	$j0,72 + j0,852 + (0,2757 + j0,7009) =$ $0,2757 + j \ 2,2729$	$j8,52 + (3 \ 0,5) + (0,4292 + j2,0278) =$ $1,9292 + j10,5478$

3.1.5 Arus Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Perhitungan arus hubung singkat fasa ke tanah dihitung dengan rumus:

$$I_{L-G} = \frac{3 \times V}{Z_{1 \text{ eki}} + Z_{2 \text{ eki}} + Z_{0 \text{ eki}}}$$

Arus hubung singkat fasa ke tanah pada titik 25% adalah:

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(0,1405 + j1,9543) + (1,6437 + j8,9304)} = 2799,01 \angle - 81,03^\circ \text{A}$$

Arus hubung singkat fasa ke tanah pada titik 50% adalah:

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(0,1745 + j2,0333) + (1,7149 + j9,3313)} = 2555,41 \angle - 81,24^\circ \text{A}$$

Arus hubung singkat fasa ke tanah pada titik 75% adalah:

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(0,2078 + j \ 2,1123) + (1,7855 + j9,7322)} = 2451,71 \angle - 81,037^\circ \text{A}$$

Arus hubung singkat fasa ke tanah pada titik 100% adalah:

$$I_{L-G} = \frac{3 \times (20000/\sqrt{3})}{2(0,2757 + j \ 2,2729) + (1,9292 + j10,5478)} = 2264,69 \angle - 80,66^\circ \text{A}$$

3.1.6 Arus Hubung Singkat Antar Fasa

Perhitungan arus hubung singkat antar fasa dihitung dengan rumus:

$$I_{L-L} = \frac{V}{Z_{1 \text{ eki}} + Z_{2 \text{ eki}}} = \frac{20000}{2(Z_{1 \text{ eki}})}$$

Arus hubung singkat fasa ke fasa pada titik 25% adalah:

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(0,1405 + j1,9543)} = 5103,75 \angle - 85,88^\circ \text{A}$$

Arus hubung singkat fasa ke fasa pada titik 50% adalah:

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(0,1745 + j2,0333)} = 4900,1 \angle - 85,09^\circ \text{A}$$

Arus hubung singkat fasa ke fasa pada titik 75% adalah:

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(0,2078 + j \ 2,1123)} = 4711,43 \angle - 84,38^\circ \text{A}$$

Arus hubung singkat fasa ke fasa pada titik 100% adalah:

$$I_{L-L} = \frac{20000}{2(0,2757 + j \ 2,2729)} = 4367,65 \angle - 83,08^\circ \text{A}$$

3.1.7 Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Perhitungan arus hubung singkat tiga fasa dihitung dengan rumus:

$$I3 \text{ fasa} = \frac{V}{Z1 \text{ eki}} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{Z1 \text{ eki}}$$

Arus hubung singkat tiga fasa pada titik 25% adalah:

$$I3 \text{ fasa} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{0,1405 + j1,9543} = 5893,3\angle - 85,88^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat tiga fasa pada titik 50% adalah:

$$I3 \text{ fasa} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{0,1745 + j2,0333} = 5658,15\angle - 85,09^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat tiga fasa pada titik 75% adalah:

$$I3 \text{ fasa} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{0,2078 + j 2,1123} = 5440,29\angle - 84,38^\circ \text{ A}$$

Arus hubung singkat tiga fasa pada titik 100% adalah:

$$I3 \text{ fasa} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{0,2757 + j 2,2729} = 5043,33\angle - 83,08^\circ \text{ A}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat

Titik (%)	Jarak (km)	Arus hubung singkat (A)		
		Fasa ke tanah	Fasa ke fasa	Tiga fasa
25	51,275	2799,01 $\angle - 81,03^\circ \text{ A}$	5103,75 $\angle - 85,88^\circ \text{ A}$	5893,3 $\angle - 85,88^\circ \text{ A}$
50	102,55	2555,41 $\angle - 81,24^\circ \text{ A}$	4900,1 $\angle - 85,09^\circ \text{ A}$	5658,15 $\angle - 85,09^\circ \text{ A}$
75	153,825	2451,71 $\angle - 81,04^\circ \text{ A}$	4711,43 $\angle - 84,38^\circ \text{ A}$	5440,29 $\angle - 84,38^\circ \text{ A}$
100	205,10	2264,69 $\angle - 80,66^\circ \text{ A}$	4367,65 $\angle - 83,08^\circ \text{ A}$	5043,33 $\angle - 83,08^\circ \text{ A}$

3.2 Perhitungan Kedip Tegangan

Perhitungan kedip tegangan akibat hubung singkat dilakukan di 4 titik, yaitu titik 25%, titik 50%, titik 75%, dan titik 100% dari panjang penyulang. Ada 3 arus gangguan dalam perhitungan ini, yaitu arus gangguan hubung singkat fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan tiga fasa.

3.2.1 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Fasa ke tanah

a. Tegangan urutan positif (V1)

$$V1 \text{ riel} = V_{\text{bus}} - (IL - G/3) \cdot n \cdot Z1 \cdot \cos \theta$$

$$V1 \text{ imj} = 0 - (IL - G/3) \cdot n \cdot Z1 \cdot \sin \theta$$

b. Tegangan urutan negatif (V2)

$$V2 \text{ riel} = - (IL - G/3) \cdot n \cdot Z2 \cdot \cos \theta$$

$$V2 \text{ imj} = - (IL - G/3) \cdot n \cdot Z2 \cdot \sin \Theta$$

c. Tegangan urutan nol (V0)

$$V0 \text{ riel} = 0 - (IL - G/3) \cdot n \cdot Z0 \cdot \cos \Theta$$

$$V0 \text{ imj} = 0 - (IL - G/3) \cdot n \cdot Z0 \cdot \sin \Theta$$

Keterangan:

$$V_{bus} = \text{Tegangan } 20 \text{ kV}$$

$$Z1 = \text{Impedansi penyulang urutan positif (ohm)}$$

$$Z2 = \text{Impedansi penyulang urutan negatif (ohm)}$$

$$Z0 = \text{Impedansi penyulang urutan nol (ohm)}$$

$$I_{L-G} = \text{Arus hubung singkat (ampere)}$$

$$n = \text{Lokasi gangguan}$$

$$\Theta = \text{Hasil penjumlahan sudut I dan Z}$$

Perhitungan kedip tegangan menggunakan rumus:

$$V_{dip} = \sqrt{(V\Delta riel)^2 + (\Delta V_{imj})^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{\Delta V_{imj}}{\Delta V_{riel}}\right)$$

Keterangan:

$$\Delta V \text{ riel} = V1 \text{ riel} + V2 \text{ riel} + V0 \text{ riel}$$

$$\Delta V \text{ imj} = V1 \text{ imj} + V2 \text{ imj} + V0 \text{ imj}$$

Berdasarkan persamaan tersebut kedip tegangan pada titik 25% ialah:

1. Tegangan urutan positif (V1)

$$V1 \text{ riel} = \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) - \left(\left(\frac{2799,01}{3}\right) \times 25\% \times 0,407 \times \cos(-81,03 + 69,82)\right) = 11453,88 \text{ V}$$

$$V1 \text{ imj} = 0 - \left(\left(\frac{2799,01}{3}\right) \times 25\% \times 0,407 \times \sin(-81,03 + 69,82)\right) = 18,455 \text{ V}$$

2. Tegangan urutan negatif

$$V2 \text{ riel} = - \left(\left(\frac{2799,01}{3}\right) \times 25\% \times 0,407 \times \cos(-81,03 + 69,82)\right) = -93,12 \text{ V}$$

$$V2 \text{ imj} = - \left(\left(\frac{2799,01}{3}\right) \times 25\% \times 0,407 \times \sin(-81,03 + 69,82)\right) = 18,455 \text{ V}$$

3. Tegangan urutan nol

$$V0 \text{ riel} = 0 - \left(\left(\frac{2799,01}{3}\right) \times 25\% \times 0,435 \times \cos(-81,03 + 70,702)\right) = -99,82 \text{ V}$$

$$V0 \text{ imj} = 0 - \left(\left(\frac{2799,01}{3}\right) \times 25\% \times 0,435 \times \sin(-81,03 + 70,702)\right) = 18,19 \text{ V}$$

Perhitungan Vdip saat hubung singkat fasa ke tanah pada titik 25% ialah:

$$\Delta V \text{ riel} = 11453,88 - 93,12 - 99,82 = 11260,94 \text{ V}$$

$$\Delta V \text{ imj} = 18,455 + 18,455 + 18,19 = 55,1 \text{ V}$$

$$V_{dip} \text{ 1 fasa} = \sqrt{11260,94^2 + 55,1^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{55,1}{11260,94}\right) = 11261,074 \angle 0,2803^\circ \text{ V}$$

$$V_{dip}(\text{Selisih antara tegangan normal}) = \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) - (11261,074 \angle 0,2803) = 285,931 \text{ V}$$

$$V_{dip} (\%) = \frac{285,931 \times 100}{\frac{20000}{\sqrt{3}}} = 2,476\%$$

Dari perhitungan diatas besarnya kedip tegangan dititik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah:

Tabel 5. Vdip pada saat gangguan hubung singkat fasa ke tanah

Titik (%)	Vdip (volt)	Presentase
25	285,931 \angle 0,2803°	2,476%
50	745,425 \angle 0,662°	6,455%
75	1451,735 \angle 1,165°	12,57%
100	2635,795 \angle 1,985°	22,82%

3.2.2 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

a. Tegangan urutan positif dan negatif

1. Positif

$$V_{1 \text{ riel}} = V_{bus} - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_1 \cdot \cos \Theta$$

$$V_{1 \text{ imj}} = 0 - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_2 \cdot \sin \Theta$$

$$V_1 = \sqrt{(V_{1 \text{ riel}})^2 + (V_{1 \text{ imj}})^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{V_{1 \text{ imj}}}{V_{1 \text{ riel}}}\right)$$

2. Negatif

$$V_{2 \text{ riel}} = V_{bus} - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_2 \cdot \cos \Theta$$

$$V_{2 \text{ imj}} = V_{bus} - I_{L-L} \cdot n \cdot Z_2 \cdot \sin \Theta$$

$$V_2 = \sqrt{(V_{2 \text{ riel}})^2 + (V_{2 \text{ imj}})^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{V_{2 \text{ imj}}}{V_{2 \text{ riel}}}\right)$$

Keterangan:

$$V_{bus} = \text{Tegangan } 20 \text{ kV}$$

$$Z_1 = \text{Impedansi urutan + (ohm)}$$

$$Z_2 = \text{Impedansi urutan - (ohm)}$$

$$I_{L-L} = \text{Arus hubung singkat (ampere)}$$

$$n = \text{Lokasi gangguan}$$

$$\Theta = \text{Hasil penjumlahan sudut I dan Z}$$

b. Tegangan di setiap fasa saat hubung singkat

1. Fasa R

$$V_R = \sqrt{V_{R\text{ riel}}^2 + V_{R\text{ imj}}^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{V_{R\text{ imj}}}{V_{R\text{ riel}}}\right)$$

Dengan:

$$V_{R\text{ riel}} = V_1\text{ riel} + V_2\text{ riel}$$

$$V_{R\text{ imj}} = V_1\text{ imj} + V_2\text{ imj}$$

2. Fasa S

$$V_S = \sqrt{V_{S\text{ riel}}^2 + V_{S\text{ imj}}^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{V_{S\text{ imj}}}{V_{S\text{ riel}}}\right)$$

Dengan :

$$V_{S\text{ riel}} = V_1 \cos(120 + \Theta) + V_2 \cos(120 + \Theta)$$

$$V_{S\text{ imj}} = V_1 \sin(120 + \Theta) + V_2 \sin(120 + \Theta)$$

3. Fasa T

$$V_T = \sqrt{V_{T\text{ riel}}^2 + V_{T\text{ imj}}^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{V_{T\text{ imj}}}{V_{T\text{ riel}}}\right)$$

Dengan :

$$V_{T\text{ riel}} = V_1 \cos(120 + \Theta) + V_2 \cos(240 + \Theta)$$

$$V_{T\text{ imj}} = V_1 \sin(120 + \Theta) + V_2 \sin(240 + \Theta)$$

Kedip tegangan saat hubung singkat fasa S dan fasa T dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{\text{dip 2 fasa}} = \sqrt{(V_{S\text{ riel}})^2 + (V_{T\text{ imj}})^2 + (V_{S\text{ imj}})^2 + (V_{T\text{ riel}})^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{V_{S\text{ imj}} - V_{T\text{ imj}}}{V_{S\text{ riel}} - V_{T\text{ riel}}}\right)$$

Perhitungan nilai kedip tegangan saat gangguan hubung singkat fasa ke fasa di titik 25%:

1. Tegangan urutan positif

$$\begin{aligned} V_1\text{ riel} &= \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) - (5103,75 \times 25\% \times 0,407 \times \cos(-85,88 + 69,82)) \\ &= 11047,96 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_1\text{ imj} = 0 - (5103,75 \times 25\% \times 0,407 \times \sin(-85,88 + 69,82)) = 143,66 \text{ V}$$

$$V_1 = \sqrt{11047,96^2 + 143,66^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{146,66}{11047,96}\right) = 11048,89 \angle 0,7605^\circ \text{ V}$$

2. Tegangan urutan negatif

$$\begin{aligned} V_2\text{ riel} &= \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) - (5103,75 \times 25\% \times 0,407 \times \cos(-85,88 + 69,82)) \\ &= 11047,96 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2\text{ imj} &= \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) - (5103,75 \times 25\% \times 0,407 \times \sin(-85,88 + 69,82)) \\ &= 11680,66 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_2 = \sqrt{11047,96^2 + 11680,66^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{11680,66}{11047,96}\right) = 16077,78 \angle 46,59^\circ \text{ V}$$

3. Tegangan fasa R

$$V_R\text{ riel} = 11047,96 + 11047,96 = 22095,92 \text{ V}$$

$$V_R\text{ imj} = 143,66 + 11680,66 = 11824,32 \text{ V}$$

$$VR = \sqrt{22095,92^2 + 11824,32^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{11824,32}{22095,92}\right)$$

4. Tegangan fasa S

$$\begin{aligned} VS_{riel} &= 11048,89 \cos(240 + 0,7605) + 16077,78 \cos(120 + 46,59) \\ &= -21036,4 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VS_{imj} &= 11048,89 \sin(240 + 0,7605) + 16077,78 \sin(120 + 46,59) \\ &= -5912,4 \text{ V} \end{aligned}$$

$$VS = \sqrt{-21036,4^2 + -5912,4^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{-5912,4}{-21036,4}\right) = 21851,46 \angle 15,698^\circ \text{ V}$$

5. Tegangan fasa T

$$\begin{aligned} Vt_{riel} &= 11048,89 \cos(120 + 0,7605) + 16077,78 \cos(240 + 46,59) \\ &= -1060,4 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vt_{imj} &= 11048,89 \sin(120 + 0,7605) + 16077,78 \sin(240 + 46,59) \\ &= -5914,05 \text{ V} \end{aligned}$$

$$Vt = \sqrt{-1060,4^2 + -5914,05^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{-5914,05}{-1060,4}\right) = 6008,36 \angle 79,83^\circ \text{ V}$$

Kedip tegangan hubung singkat fasa ke fasa di fasa T dengan fasa S dititik 25%:

Vdip fasa ke fasa

$$\begin{aligned} &= \sqrt{-21036,4^2 + -1060,4^2 + -5912,4^2 + -5914,05^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{(-5912,4) - (-5914,05)}{(-21036,4) - (-1060,4)}\right) \\ &= 22662,367 \angle -0,0047^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Vdip(Selisih antara tegangan normal) = 22662,367 - 20000 = 2662,367 \angle -0,0047° V

$$Vdip (\%) = \frac{2662,367 \times 100}{20000} = 13,31\%$$

Dari perhitungan diatas besarnya kedip tegangan di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah:

Tabel 6. Vdip pada saat gangguan hubung singkat fasa ke fasa

Titik (%)	Vdip (volt)	Presentase
25	2662,367 \angle -0,0047°	13,31%
50	2139,58 \angle -0,0026°	10,69%
75	1523,63 \angle -0,00264°	7,61%
100	664,04 \angle -0,00363°	3,32%

3.2.3 Perhitungan Saat Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Menghitung kedip tegangan 3 fasa menggunakan persamaan:

$$Vdip \text{ 3 fasa} = \sqrt{3} \cdot n \cdot Z1 \cdot I3 \text{ fasa}$$

Keterangan:

- n = Lokasi gangguan
- Z1 = Impedansi urutan +(ohm)
- I 3 fasa = Arus hubung singkat 3 fasa (ampere)
- Vdip 3 fasa $=\sqrt{3} \times 0,25 \times (0,1405 + j0,3823)(5893,3\angle - 85,88^\circ)$
 $= 1039,37\angle - 16,104^\circ\text{V}$
- Vdip(%) = $(1039,37 \times 100) / 20000 = 5,196\%$

Dari perhitungan diatas besarnya kedip tegangan di titik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah:

Tabel 6. Vdip pada saat gangguan hubung singkat 3 fasa

Titik (%)	Vdip (volt)	Presentase
25	$1039,37\angle - 16,104^\circ$	5,196%
50	$2415,65\angle - 15,91^\circ$	12,078%
75	$4091,04\angle - 15,41^\circ$	20,455%
100	$6579,2\angle - 14,55^\circ$	32,896%

4. PENUTUP

Hasil penelitian dan perhitungan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Arus hubung singkat fasa ke tanah dititik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah $2799,01 \angle -81,03^\circ\text{A}$; $2555,41 \angle -81,24^\circ\text{A}$; $2451,71 \angle -81,037^\circ\text{A}$; dan $2264,69 \angle -80,66^\circ\text{A}$. Untuk gangguan fasa ke fasa berturut-turut adalah $5103,75\angle -85,88^\circ\text{A}$; $4900,1\angle -85,09^\circ\text{A}$; $4711,43\angle -84,38^\circ\text{A}$; dan $4367,65\angle -83,08^\circ\text{A}$. Untuk gangguan tiga fasa adalah $5893,3\angle -85,88^\circ\text{A}$; $5658,15\angle -85,09^\circ\text{A}$; $5440,29\angle -84,38^\circ\text{A}$; dan $5043,33\angle -83,08^\circ\text{A}$
2. Besarnya nilai kedip tegangan beserta persentasenya dari tegangan normal 1 fasa saat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dititik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah $285,931\angle 0,2803^\circ\text{V}$ (2,476%); $745,425\angle 0,662^\circ\text{V}$ (6,455%); $1451,735\angle 1,165^\circ\text{V}$ (12,57%); dan $2635,795\angle 1,985^\circ\text{V}$ (22,82%).
3. Besarnya nilai kedip tegangan beserta persentasenya dari tegangan normal saat gangguan hubung singkat fasa ke fasa dititik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah $2662,367\angle -0,0047^\circ\text{V}$ (13,31%); $2139,58\angle -0,0026^\circ\text{V}$ (10,69%); $1523,63\angle -0,00264^\circ\text{V}$ (7,61%); dan $664,04\angle -0,00363^\circ\text{V}$ (3,32%).
4. nya nilai kedip tegangan beserta persentasenya dari tegangan normal saat gangguan hubung singkat 3 fasa dititik 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut ialah $1039,37\angle -16,104^\circ\text{V}$ (5,196%); $2415,65\angle -15,91^\circ\text{V}$ (12,078%); $4091,04\angle -15,41^\circ\text{V}$ (20,455%); dan $6579,2\angle -14,55^\circ\text{V}$ (32,896%).

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang membantu dan mendukung dalam pengerjaan tugas akhir sebagai berikut:

- 1) Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
- 2) Kedua orang tua serta saudara yang selalu mendoakan, atas kelancaran pengerjaan tugas akhir.
- 3) Bapak Umar S.T., M.T. selaku dosen pembimbing.
- 4) Dosen jurusan teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta
- 6) Teman-teman Teknik Elektro UMS angkatan 2014 yang tidak penulis sebutkan satu persatu dalam membantu terselesainya tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Irfan. (2009). *Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa di GI Cawang*. Skripsi Universitas Indonesia Teknik Elektro. Depok.
- Dugan, Roger C. et.al (2002). *Electrical Power Systems Quality* (2nd ed.). New York : McGraw-Hill.
- IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE Std 1159-1995
- Iksan, Venna Athyna Rahmatika (2015). *Analisa Kedip Tegangan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV Akibat Hubung Singkat Pada Penyulang Pedan 1 Klaten*. Skripsi Universitas Muhammadiyah Surakarta Teknik Elektro. Surakarta.
- P. Heine, (2005)“*Voltage sags in power distribution networks*,” Ph.D.dissertation,Dept. Electr. Eng., Aalto Univ., Espoo, Finland.
- R. G. Coney.(1996)“*The impact of power quality on industry in Africa*”, The4th IEEE AFRICON, Stellenbosch, South Africa.
- Samineni, Satish. (2003), “*Modeling and analysis of a flywheel energy storage system for voltage sag correction*”, University of Idaho.
- Sitepu, Edinta Ronika. (2014). *Perhitungan Kedip Tegangan Akibat Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang UNIB Sistem Distribusi PLN Bengkulu*. Skripsi Universitas Bengkulu teknik Elektro. Bengkulu.
- Stevenson, William D & Idris, Kamal. (1994). *Analisis Sistem Tenaga Listrik* (4th ed.). Jakarta : Erlangga.
- Tanjung, Akbar. (2012). *Analisa sistem distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja dan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Transient Analisis Program*. ISSN: 2085-9902