

Simulasi Hubung Singkat Pada Sistem Jaringan Listrik Menggunakan ETAP 19.0.1

Rahmat Hasrul¹, Rifqi Ali Wafa², Muh. Agung Suardi³, Rizki Dwi Saputra⁴, Fatur Rahman⁵

1,2,3,4,5 Universitas Mulawarman ; Jalan Sembaliung Nomor 9 Samarinda 75119, Telp. (0541) 736834, Fax (0541) 749315

1,2,3,4,5 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

E-mail : rhasrul12@gmail.com

Submitted : Juni 2022

Accepted: 28 Desember 2023

DOI: 10.31849/sainetin.vxix.xxx

Abstrak

Salah satu gangguan pada sistem distribusi adalah hubung singkat, yaitu hubungan konduksi yang disengaja atau tidak disengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua titik atau lebih yang biasanya mempunyai beda potensial. Tujuan penelitian ini yaitu untuk dapat mengetahui besar arus dan tegangan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat 1 fasa ke tanah, hubung singkat 2 fasa ke tanah dan hubung singkat antar fasa dengan cara melakukan simulasi hubung singkat pada ETAP. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu simulasi hubung singkat ½ cycle yang terjadi pada Bus 2. Arus dan tegangan fasa hubung singkat 3 fasa yang diperoleh yaitu 3,956 kA dan 0 kV. Arus dan tegangan fasa hubung singkat 1 fasa ke tanah yaitu 4,586 kA dan 0 kV. Arus dan tegangan hubung singkat 2 fasa ke tanah yaitu 4,393 kA dan 0 kV. Arus dan tegangan hubung singkat antar fasa yaitu 3,426 kA dan 1,91 kV.

Kata Kunci: ETAP, Hubung Singkat, Arus, Tegangan

Abstract

One of the disturbances in the distribution system is short circuit, which is connection of intentional or unintentional conduction through a fairly low resistance or impedance between two or more points that usually have a potential difference. The purpose of this study is to be able to determine the magnitude of the current and voltage of the 3-phase short circuit, 1-phase short circuit to the ground, 2-phase short circuit to the ground and the short circuit between phases by conducting a short circuit simulation on the ETAP. The simulation carried out in this study is a 1/2 cycle short circuit simulation that occurs on Bus 2. The 3-phase short-circuit phase current and voltage obtained are 3.956 kA and 0 kV. The current and phase voltage of the 1-phase short circuit to the ground are 4.586 kA and 0 kV. The 2-phase short circuit current and voltage to the ground are 4,393 kA and 0 kV. The inter-phase short circuit current and voltage are 3,426 kA and 1.91 kV.

Keywords: ETAP, Short Circuit, Current, Voltage

1. PENDAHULUAN

Salah satu gangguan pada sistem distribusi adalah hubung singkat, yaitu hubungan konduksi yang disengaja atau tidak disengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua titik atau lebih yang biasanya mempunyai beda potensial. Gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi terdiri dari 4 (empat) jenis gangguan, yaitu: gangguan hubung

singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa (fase-fase), gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. dan gangguan dua fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu gangguan hubung singkat simetris dan gangguan hubung singkat asimetris (asimetris). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetris adalah gangguan hubung singkat tiga fasa,

sedangkan gangguan lainnya adalah gangguan hubung singkat asimetris [1].

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, baik itu korsleting antara kawat fasa ke ground dan hubung singkat antara kabel fasa yang berbeda. Ketika terjadi gangguan, arus yang mengalir pada saluran transmisi ke pusat gangguannya sangat besar, sehingga akan mempengaruhi stabilitas keseluruhan sistem [2]. Untuk itu diperlukan peralatan proteksi yang diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan hubung singkat yang terjadi kemudian dapat mengisolasi rangkaian yang mengalami gangguan agar tidak merusak rangkaian yang masih normal. Jika gangguan ini dibiarkan dalam waktu lama, maka akan merusak sistem maupun peralatan yang terhubung.

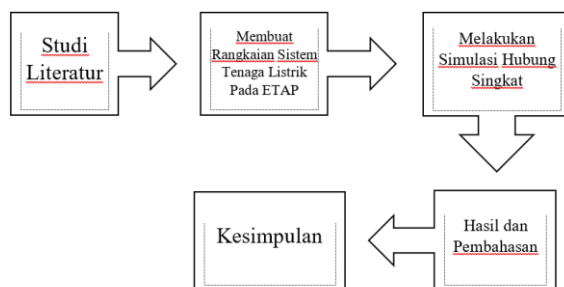
Gangguan hubung singkat akan menghasilkan arus yang cukup besar, sehingga perlu dilakukan analisis atau perhitungan terhadap parameter-parameter pada sistem tenaga listrik, untuk mengetahui parameter-parameter yang akan dianalisis maka diperlukan simulasi hubung singkat pada suatu sistem tenaga listrik. Simulasi ini dapat dilakukan pada aplikasi ETAP.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk dapat mengetahui besar arus hubung singkat pada suatu jaringan distribusi jika terjadi gangguan hubung singkat dengan cara melakukan simulasi hubung singkat pada ETAP. Hasil simulasi ini nantinya dapat dijadikan referensi untuk menentukan kapasitas peralatan proteksi untuk sebuah sistem tenaga listrik yang diharapkan dapat mendeteksi gangguan hubung singkat agar dapat meminimalisir kerusakan yang mungkin terjadi akibat hubung singkat.

2. METODE PENELITIAN

Blok Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian ini adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Alur Penelitian

Gangguan Hubung Singkat

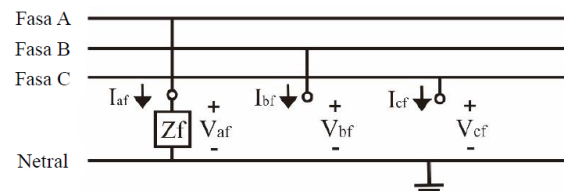
Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Korsleting dapat menyebabkan arus yang besar mengalir, besarnya arus listrik yang mengalir dapat merusak peralatan listrik jika tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat. Besar kecilnya arus hubung singkat dipengaruhi oleh letak gangguan. Jika gangguan lebih dekat ke sumber, arus gangguan akan lebih besar dan sebaliknya [3]. Gangguan hubung singkat ini dapat juga terjadi karena terdapat isolasi yang rusak yang diakibatkan oleh tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam ataupun dari luar seperti sambaran petir. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dalam waktu yang lama, maka banyak pengaruh yang tidak diinginkan dapat terjadi [4].

Gangguan hubung singkat bisa dibedakan menjadi 2 berdasarkan durasi gangguan, yaitu gangguan temporer dan gangguan permanen. Gangguan temporer adalah gangguan yang terjadi dalam waktu singkat dimana kemudian sistem dapat kembali menjadi normal. Sedangkan gangguan permanen adalah gangguan yang dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan sehingga gangguan ini akan hilang setelah kerusakan tersebut diperbaiki [5].

Gangguan hubung singkat sendiri memiliki 4 jenis gangguan, yaitu: gangguan hubung singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa (fase-fase), gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dan gangguan dua fasa ke tanah [1].

Hubung Singkat 1 Fasa

Gangguan hubung singkat satu fasa adalah gangguan yang paling sering terjadi jika dibandingkan dengan jenis hubung singkat lainnya dalam sistem tenaga listrik. Hal ini dapat disebabkan karena terdapat satu fasa yang bersentuhan dengan tanah. Gangguan ini termasuk gangguan tidak seimbang atau asimetris [6].



Gambar 2. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa

Untuk hubung singkat satu fasa akan muncul arus urutan positif, arus urutan negatif dan arus urutan nol. Untuk mengetahui besarnya arus urutan positif, negatif dan nol dapat menggunakan persamaan

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E_a}{Z_{th0} + Z_{th1} + Z_{th2} + 3Z_f} \quad (1)$$

Untuk tegangan urutan nol, positif dan negatif dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$V_0 = -I_0 Z_{th0} \quad (2)$$

$$V_1 = E_1 - I_1 Z_{th1} \quad (3)$$

$$V_2 = -I_2 Z_{th2} \quad (4)$$

Untuk mengetahui besarnya arus dan tegangan pada masing-masing fasa dapat digunakan matriks transformasi simetris atau *symmetrical components transformation matrix* (SCTM).

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

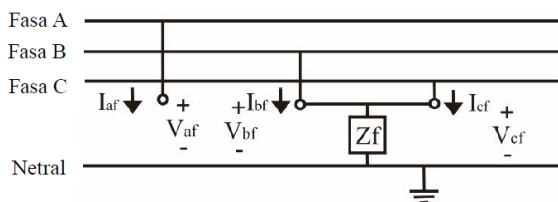
Nilai I_a, I_b, I_c adalah arus fasa a, b, c secara urut, sedangkan I_0, I_1, I_2 adalah arus urutan nol, positif dan negatif. Notasi seperti ini juga berlaku pada persamaan tegangan di atas. Untuk nilai a pada persamaan di atas adalah [6] :

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + 0,866j$$

$$a = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - 0,866j$$

Hubung Singkat 2 Fasa

Hubung singkat dua fase ke tanah adalah gangguan di mana kedua fase terhubung ke tanah. Gangguan ini termasuk gangguan tidak simetri (asimetri) [6].



Gambar 3. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Untuk menghitung nilai arus urutan hubung singkat 2 fasa dapat menggunakan persamaan berikut [6] :

$$I_1 = \frac{E_a}{Z_2(Z_0 + 3Z_f)} \quad (5)$$

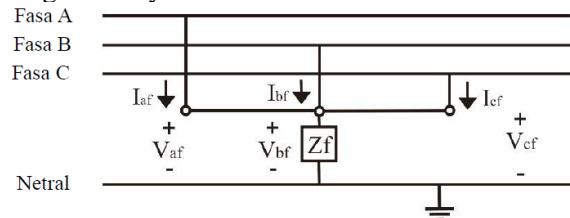
$$I_0 = -\frac{E_a - Z_1 I_1}{Z_0 + 3Z_f} \quad (6)$$

$$I_2 = -\frac{E_a - Z_1 I_1}{Z_2} \quad (7)$$

Ketika nilai arus untuk semua urutan telah diperoleh, maka dapat ditemukan tegangan untuk setiap urutan dengan persamaan yang digunakan untuk hubung singkat satu fasa ke tanah. Dengan menggunakan matriks SCTM dapat diperoleh nilai masing-masing fasa baik arus maupun tegangan [6].

Hubung Singkat 3 Fasa

Hubungan singkat tiga fasa ke tanah adalah gangguan yang terjadi pada tiga fasa yang bersentuhan dengan tanah. Gangguan ini merupakan gangguan simetris. Peristiwa hubung singkat tiga fasa sangat jarang terjadi karena kemungkinan terjadinya sangat kecil dibandingkan jenis peristiwa hubung singkat lainnya.



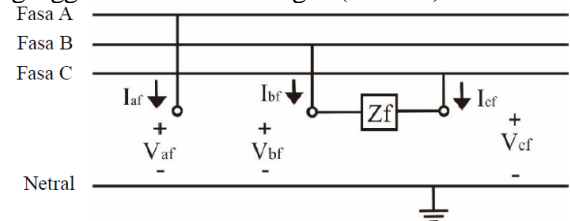
Gambar 4. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Pada gambar di atas, besar arus dan tegangan tiap fasanya adalah sama [6].

$$I_a = I_b = I_c = \frac{V}{Z + Z_f} \quad (8)$$

Hubung Singkat Fasa dengan Fasa

Hubung singkat fasa-ke-fasa dapat terjadi karena ada penghantar fasa yang bersentuhan langsung dengan fasa lain. Jenis gangguan ini adalah gangguan ketidakseimbangan (asimetri).



Gambar 5. Gangguan Hubung Singkat Fasa dengan Fasa

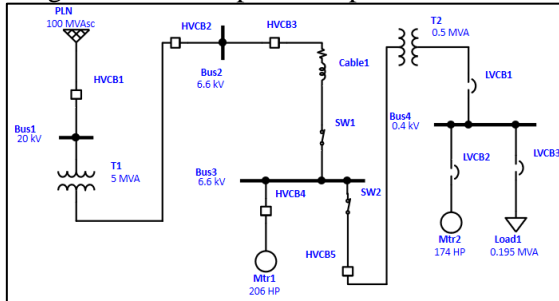
Pada jenis gangguan ini, arus urutan nol tidak muncul karena tidak ada hubungan ke tanah, hanya ada arus urutan positif dan negatif yang terjadi yang dapat dihitung menggunakan persamaan [6] :

$$I_1 = -I_2 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian SLD

Simulasi ini menggunakan standar ANSI dengan frekuensi 50 Hz. Rangkaian SLD sistem tenaga listrik 4 bus dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. SLD Sistem Tenaga Listrik

Spesifikasi Komponen

Spesifikasi komponen-komponen yang digunakan dalam simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen

No	Komponen	Spesifikasi
1	Power Grid	20 kV ; 100 MVA
2	Transformator 1	20/6,6 kV ; 5 MVA
3	Transformator 2	6,6/0,4 kV ; 500 kVA
4	HVCB1	27 kV ; 25 kA
5	HVCB2, HVCB3, HVCB4, HVCB5	8,25 kV ; 17,45 kA
6	Cable	100 ft ; 6 mm ² ; 3 fasa
7	SW1, SW2	13,8 kV ; 1200 A
8	LVCB1, LVCB2, LVCB3	0,48 kV ; 18 kA
9	Motor 1	206 HP ; 6,6 kV ; pf = 91,72%
10	Motor 2	174 HP ; 0,4 kV ; pf = 91,65%
11	Static Load	0,195 MVA ; 0,4 kV ; pf = 93,7%

Melakukan Simulasi Hubung Singkat

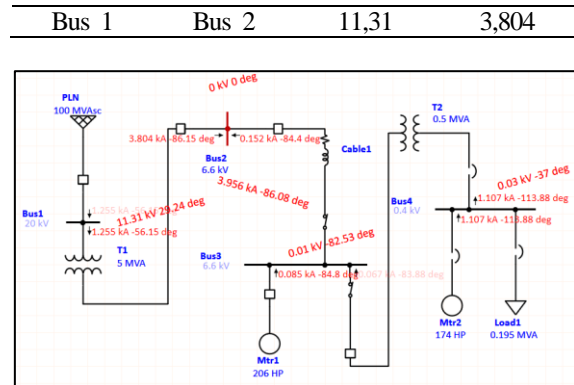
Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi hubung singkat ½ cycle yang terjadi pada Bus 2. Hasil dari simulasi ini yaitu berupa nilai arus fasa dan tegangan fasa pada masing-masing jenis gangguan yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat 1 fasa ke tanah, hubung singkat 2 fasa ke tanah dan hubung singkat antar fasa.

Hubung Singkat 3 Fasa

Hasil simulasi hubung singkat 3 fasa dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 8.

Tabel 2. Hubung Singkat 3 Fasa

From Bus	To Bus	V (kV)	I (kA)
Bus 2	Total	0	3,956
Bus 3	Bus 2	0,01	0,152



Gambar 7. Hasil Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa

Berdasarkan data pada Tabel 2 diketahui nilai arus fasa dan tegangan fasa pada gangguan hubung singkat 3 fasa yang terjadi pada Bus 2. Untuk Bus Total didapat nilai arus adalah 3,956 kA dan nilai tegangan adalah 0 kV. Untuk antara Bus 3 dan Bus 2 didapat nilai arus adalah 0,152 kA dan nilai tegangan adalah 0,01 kV. Sedangkan, antara Bus 1 dan Bus 2 didapat nilai arus adalah 3,804 kA dan nilai tegangan adalah 11,31 kV.

Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

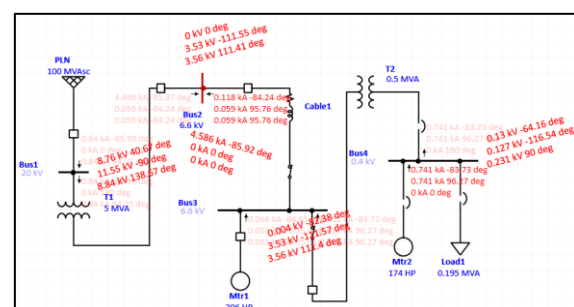
Hasil simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4 dan Gambar 9.

Tabel 3. Arus Fasa Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

From Bus	To Bus	Arus Fasa (kA)		
		I _a	I _b	I _c
Bus 2	Total	4,586	0	0
Bus 3	Bus 2	0,118	0,059	0,059
Bus 1	Bus 2	4,468	0,059	0,059

Tabel 4. Tegangan Fasa Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

From Bus	To Bus	Tegangan Fasa (kV)		
		V _a	V _b	V _c
Bus 2	Total	0	3,53	3,56
Bus 3	Bus 2	0,004	3,53	3,56
Bus 1	Bus 2	8,76	11,55	8,84



Gambar 8. Hasil Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Berdasarkan data pada Tabel 3 dan Tabel 4 dapat diketahui nilai arus fasa dan tegangan fasa pada gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah yang terjadi di Bus 2. Untuk Bus Total diketahui nilai arus I_a adalah 4,586 kA sedangkan arus I_b dan I_c adalah 0 kA dan nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 0 kV, tegangan V_b adalah 3,53 kV dan tegangan V_c adalah 3,56 kV. Untuk antara Bus 3 dan Bus 2 diketahui nilai arus I_a adalah 0,118 kA sedangkan arus I_b dan I_c adalah 0,059 kA dan untuk nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 0,004 kV, tegangan V_b adalah 3,53 kV dan tegangan V_c adalah 3,56 kV. Sedangkan, antara Bus 1 dan Bus 2 diketahui nilai arus I_a adalah 4,468 kA sedangkan arus I_b dan I_c adalah 0,059 kA dan untuk nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 8,76 kV, tegangan V_b adalah 11,55 kV dan tegangan V_c adalah 8,84 kV.

Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

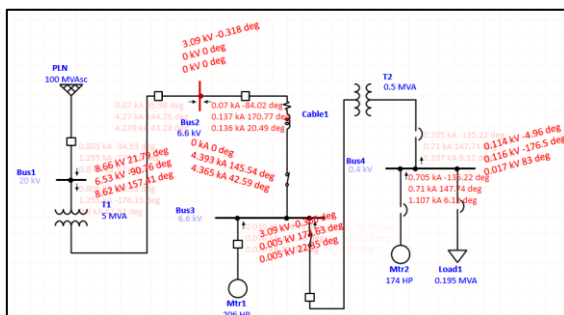
Hasil simulasi hubung singkat 2 fasa ke tanah dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6 dan Gambar 10.

Tabel 5. Arus Fasa Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

From Bus	To Bus	Arus Fasa (kA)		
		I_a	I_b	I_c
Bus 2	Total	0	4,393	4,365
Bus 3	Bus 2	0,07	0,137	0,136
Bus 1	Bus 2	0,07	4,27	4,239

Tabel 6. Tegangan Fasa Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

From Bus	To Bus	Tegangan Fasa (kV)		
		V_a	V_b	V_c
Bus 2	Total	3,09	0	0
Bus 3	Bus 2	3,09	0,005	0,005
Bus 1	Bus 2	8,66	6,53	8,62



Gambar 9. Hasil Simulasi Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Berdasarkan data pada Tabel 5 dan Tabel 6 dapat diketahui nilai arus fasa dan tegangan fasa

pada gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah yang terjadi di Bus 2. Untuk Bus Total diketahui nilai arus I_a adalah 0 kA, arus I_b adalah 4,393 kA, dan I_c adalah 4,365 kA sedangkan untuk nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 3,09 kV, untuk tegangan V_b dan V_c bernilai sama yaitu 0 kV. Untuk antara Bus 3 dan Bus 2 diketahui nilai arus I_a adalah 0,07 kA, arus I_b adalah 0,137 kA, dan I_c adalah 0,136 kA sedangkan untuk nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 3,09 kV, untuk tegangan V_b dan V_c bernilai sama yaitu 0,005 kV. Sedangkan, antara Bus 1 dan Bus 2 diketahui nilai arus I_a adalah 0,07 kA, arus I_b adalah 4,27 kA, dan I_c adalah 4,239 kA sedangkan untuk nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 8,66 kV, tegangan V_b adalah 6,53 kV dan V_c bernilai 8,62 kV.

Hubung Singkat Antar Fasa

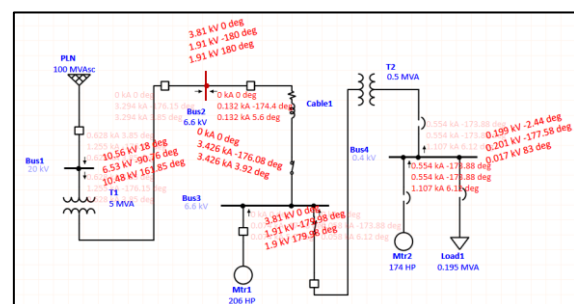
Hasil simulasi hubung singkat antar fasa dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8 dan Gambar 11.

Tabel 7. Arus Fasa Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

From Bus	To Bus	Arus Fasa (kA)		
		I_a	I_b	I_c
Bus 2	Total	0	3,426	3,426
Bus 3	Bus 2	0	0,132	0,132
Bus 1	Bus 2	0	3,294	3,294

Tabel 8. Tegangan Fasa Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

From Bus	To Bus	Tegangan Fasa (kV)		
		V_a	V_b	V_c
Bus 2	Total	3,81	1,91	1,91
Bus 3	Bus 2	3,81	1,91	1,91
Bus 1	Bus 2	10,56	6,53	10,48



Gambar 10. Hasil Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa

Berdasarkan data pada Tabel 7 dan Tabel 8 dapat diketahui nilai arus fasa dan tegangan fasa pada gangguan hubung antar fasa yang terjadi di Bus 2. Untuk Bus Total diketahui nilai arus I_a adalah 0 kA sedangkan arus I_b dan I_c adalah

3,426 kA dan nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 3,81 kV, sedangkan tegangan V_b dan V_c bernilai sama yaitu 1,91 kV. Untuk antara Bus 3 dan Bus 2 diketahui nilai arus I_a adalah 0 kA sedangkan arus I_b dan I_c adalah 0,132 kA dan nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 3,81 kV, sedangkan tegangan V_b dan V_c bernilai sama yaitu 1,91 kV. Sedangkan, antara Bus 1 dan Bus 2 diketahui nilai arus I_a adalah 0 kA sedangkan arus I_b dan I_c adalah 3,294 kA dan nilai tegangan diketahui tegangan V_a adalah 10,56 kV, tegangan V_b adalah 6,53 kV dan V_c adalah 10,48 kV.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan yaitu simulasi gangguan hubung singkat yang terjadi pada Bus 2, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Arus hubung singkat 3 fasa yang terjadi pada bus 2 yaitu sebesar 3,956 kA. Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah pada fasa A yaitu sebesar 4,586 kA. Arus hubung singkat 2 fasa ke tanah pada fasa B dan C yaitu 4,393 kA dan 4,365 kA. Arus hubung singkat antar fasa yang terjadi antara fasa B dan C yaitu sebesar 3,426 kA.
2. Tegangan hubung singkat 3 fasa yaitu 0 kV. Tegangan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada fasa A yaitu sebesar 0 kV. Tegangan hubung singkat 2 fasa ke tanah pada fasa B dan C yaitu 0 kV. Tegangan hubung singkat antar fasa yang terjadi antara fasa B dan C yaitu sebesar 1,91 kV.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak media Jurnal Sains, Energi, Teknologi dan Industri (SainETIn) Universitas Lancang Kuning Pekanbaru yang bersedia menjadi media publikasi jurnal ilmiah ini. Demikian ucapan terima kasih kami sampaikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. F. Galla, A. S. Sampeallo, and J. I. 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," *J. Media Elektro*, vol. IX, no. 2, pp. 101–112, 2020, doi: 10.35508/jme.v0i0.3208.
- [2] Dasman, "Studi Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Pada Sutt 150 Kv (Aplikasi Gi Pip – Pauh Limo)," *Jte - Itp Issn*, vol. Volume 5, no. 2, pp. 113–119, 2016.
- [3] V. B. Saputra, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik Di KSO Pertamina EP–GEO Cepu Indonesia Distrik 1 Kawengan Menggunakan Software ETAP 12.6." Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.
- [4] Amira and A. Effendi, "STUDI ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH PADA SUTT 150 KV UNTUK SETTING RELAY OCR (APLIKASI GI PIP – PAUH LIMO) Amira * Asnal Effendi ** Mahasiswa *, Dosen ** Jurusan Teknik Elektro , Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang," *J. Tek. elektro ITP*, vol. 3, no. 2, pp. 95–104, 2014.
- [5] A. S. Sampeallo, N. Nursalim, and P. J. Fischer, "Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Pemakaian Sendiri Pltu Bolok PT. Smse (Ipp) Unit 3 dan 4 Menggunakan Software Etap 12.6. 0," *J. Media Elektro*, pp. 76–85, 2019.
- [6] T. Akhir, W. T. Nrp, D. P. Prof, and O. Penangsang, "Pemodelan Jaringan Distribusi Tidak Seimbang Dan Terhubung Distributed Generation (Dg)," 2018.