

## Komparasi Gangguan Simetris Pada Penyulang Pajalau 20KV PLN Sulselrabar dengan Menggunakan Metode $MVA_{SC}$ dan Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC

Andi Faharuddin<sup>1</sup>, Antarissubhi<sup>2</sup>, Muh. Febrianto Pualam Putra<sup>3</sup>, Andi Muh. Syahril Fatullah<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Makassar  
e-mail : [afaharuddin@gmail.com](mailto:afaharuddin@gmail.com)<sup>1</sup>, [antarissubhi@unismuh.ac.id](mailto:antarissubhi@unismuh.ac.id)<sup>2</sup>;  
[febriantomuhammad6@gmail.com](mailto:febriantomuhammad6@gmail.com)<sup>3</sup>, [andisyahril322@gmail.com](mailto:andisyahril322@gmail.com)<sup>4</sup>

### Abstrak

Penelitian ini membahas arus gangguan hubung-singkat simetris (gangguan tiga-fase) sebagai salah satu aspek krusial dalam perencanaan dan keandalan Sistem Energi Listrik (SEL). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan level arus gangguan hubung-singkat simetris pada Penyulang Pajalau 20 kV dengan menggunakan metode  $MVA_{SC}$  (*Mega Volt Ampere Short Circuit*) dan perangkat lunak PSCAD (*Power Systems Computer Aided Design*). Penyulang Pajalau mendapatkan suplai daya dari transformator daya penurunan-tegangan 60 MVA, di GI 150 kV, yang tersuplai oleh Sumber Thevenin SEL Sulselrabar, di titik GI 150 kV, Sungguminasa. Lima titik gangguan hubung-singkat yang ditinjau, yakni: rel 150 kV (sisi primer transformator daya), rel 20 kV (rel sisi sekunder transformator daya), serta tiga rel di sepanjang Penyulang Pajalau. Selanjutnya, Penyulang Pajalau yang tersuplai oleh Sumber Thevenin 150 kV, dimodelkan dalam Metode  $MVA_{SC}$  serta Perangkat Lunak PSCAD. Nilai atau level arus hubung-singkat yang diperoleh sebagai akibat dari gangguan di kelima titik gangguan tersebut, kemudian dibandingkan dengan menggunakan kedua metode yang tersebut di atas. Arus gangguan simetris yang dihasilkan dengan metode  $MVA_{SC}$  untuk rel 1 sampai dengan rel 5 adalah secara berurutan 17,549 kA; 12,653 kA; 2,084 kA; 1,638 kA serta 0,614 kA, dan dengan metode PSCAD adalah 17,023 kA; 12,478 kA; 1,962 kA; 1,530 kA dan 0,560 kA. Perbedaan rata-rata hasil antara kedua metode mencapai 5,46%, dengan selisih persentase terendah 1,38% dan tertinggi 9,64%. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh pendekatan pada metode  $MVA_{SC}$  yang mengabaikan nilai resistans dari setiap perangkat. Penelitian ini memberikan informasi penting mengenai tingkat gangguan simetris menggunakan kedua metode, yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menilai kesesuaian *rating* pemutus-daya (*Circuit Breaker*), serta koordinasi relai proteksi arus lebih pada Penyulang Pajalau.

**Kata Kunci:** *Arus Gangguan Hubung-Singkat, Gangguan Simetris,  $MVA_{SC}$ , PSCAD, Penyulang Pajalau.*

### Abstract

This study discusses symmetrical short-circuit current (three-phase fault) as a crucial aspect in the planning and reliability of Electrical Power Systems (EPS). The objective of this research is to analyze and compare the levels of symmetrical short-circuit current on the 20 kV Pajalau Feeder using the  $MVASC$  (*Mega Volt Ampere Short Circuit*) method and PSCAD (*Power Systems Computer Aided Design*) software. The Pajalau Feeder is supplied by a 60 MVA step-down power transformer located at the 150 kV substation, which in turn is energized by the Thevenin equivalent source of the South Sulawesi, Southeast, and West Sulawesi (Sulselrabar) EPS at the 150 kV Sungguminasa substation. Five fault locations were assessed: the 150 kV bus (primary side of the power transformer), the 20 kV bus (secondary side of the power transformer), and three buses along the Pajalau Feeder. The feeder, modeled using both the  $MVASC$  method and PSCAD software with the 150 kV Thevenin source, was subjected to symmetrical fault analysis. The resulting short-circuit current values for the five fault locations obtained using the  $MVASC$  method

were 17.549 kA, 12.653 kA, 2.084 kA, 1.638 kA, and 0.614 kA, respectively, while the PSCAD results were 17.023 kA, 12.478 kA, 1.962 kA, 1.530 kA, and 0.560 kA. The average percentage difference between the two methods was 5.46%, with the smallest difference being 1.38% and the largest 9.64%. These differences are primarily due to the MVASC method's simplification, which neglects the resistance values of the system components. This research provides valuable insights into symmetrical fault current levels using both methods, which can serve as a reference for assessing circuit breaker ratings and overcurrent protection relay coordination on the Pajalau Feeder.

**Keywords:** *Short-Circuit Current, Symmetrical Fault, MVASC, PSCAD, Pajalau Feeder.*

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mendorong pentingnya pengelolaan sistem distribusi tenaga listrik yang aman dan andal. Salah satu tantangan utama dalam sistem tenaga listrik adalah menangani gangguan, khususnya gangguan hubung-singkat. Jenis gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan peralatan, mengganggu stabilitas sistem, dan menurunkan keandalan operasi Sistem Energi Elektrik (SEE) [1]. Oleh karena itu, analisis arus hubung-singkat menjadi elemen kunci dalam perencanaan, pengembangan, dan perluasan sistem distribusi tenaga listrik.

Perhitungan arus hubung-singkat, terutama pada kondisi simetris, harus dilakukan secara teliti untuk memastikan bahwa perangkat proteksi seperti pemutus daya (*circuit breaker*) memiliki kapasitas yang cukup untuk mengisolasi gangguan dan relai proteksi arus lebih, bekerja dengan andal. Kesalahan dalam perhitungan ini dapat mengakibatkan durasi gangguan yang lebih panjang, berkurangnya keandalan sistem, serta meningkatnya risiko kerusakan pada peralatan [2]. Dengan kemajuan teknologi komputer saat ini, metode manual seperti metode Ohmik atau metode Per Unit telah banyak digantikan oleh perangkat lunak analisis yang lebih efektif dan akurat, seperti PSCAD [3].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis arus hubung-singkat simetris pada Penyulang Pajalau 20kV – PLN menggunakan dua pendekatan, yaitu metode *MVA Short Circuit* ( $MVA_{SC}$ ) dan perangkat lunak PSCAD. Studi ini akan menghitung dan membandingkan level arus gangguan simetris pada beberapa titik di penyulang serta menilai tingkat akurasi dan kesesuaian kedua metode dalam menganalisis gangguan simetris. Penelitian ini hanya akan membahas gangguan simetris yang terjadi di Penyulang Pajalau.

### Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kondisi tidak normal pada sistem tegangan yang mengganggu aliran arus listrik secara normal. Sistem tenaga yang meliputi komponen seperti generator, pemutus daya, transformator, rangkaian transmisi, dan distribusi dapat mengalami gangguan akibat kesalahan dalam rangkaian [3]. Selain itu, gangguan tersebut sering kali memicu kondisi abnormal, seperti arus berlebih, hubungan singkat, atau bahkan kegagalan peralatan. Gangguan dapat terjadi akibat kegagalan isolasi yang mengarah pada hubungan singkat atau terganggunya aliran arus dalam sistem, biasanya akibat beban lebih atau tegangan lebih mendadak [4].

Beberapa penyebab utama gangguan pada sistem tenaga listrik adalah:

- Gangguan Alam: Cuaca buruk seperti badai, petir, atau hujan deras dapat merusak infrastruktur listrik dan memicu gangguan.
- Kesalahan Manusia: Kesalahan dalam pengoperasian perangkat atau pemeliharaan, seperti pengaturan yang salah pada pemutus sirkuit, sering kali menjadi penyebab utama gangguan sistem [3].
- Kegagalan Peralatan: Kerusakan pada komponen seperti transformator, isolator, atau pemutus daya dapat menyebabkan arus gangguan yang dapat merusak sistem.
- Beban Berlebih: Ketika beban melebihi kapasitas yang dirancang, sistem dapat mengalami *overheating* dan kegagalan peralatan [4].
- Gangguan Elektromagnetik: Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh perangkat lain dalam jaringan listrik dapat memengaruhi kinerja sistem tegangan tinggi [4].

- Kondisi Lingkungan: Korosi, salju, dan es pada infrastruktur dapat mempercepat kerusakan fisik yang akhirnya memicu gangguan sistem [4].

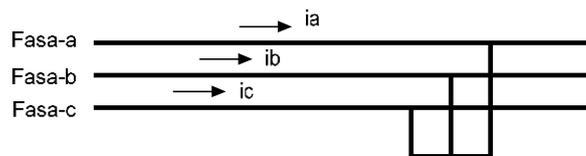
Berdasarkan beberapa penyebab utama gangguan pada sistem tenaga listrik maka, gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibedakan berdasarkan durasinya menjadi gangguan permanen dan temporer. Gangguan permanen terjadi akibat kerusakan peralatan yang memerlukan perbaikan untuk memulihkan sistem, seperti kerusakan mekanis atau material. Sementara itu, gangguan temporer bersifat sementara dan sistem dapat kembali normal tanpa intervensi signifikan [5].

### Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan hubung singkat terjadi saat penghantar bertegangan, terhubung dengan penghantar lain atau tanah, menghasilkan arus yang jauh lebih besar dari arus kondisi normal. Dampak utamanya meliputi gangguan kestabilan sistem, kerusakan peralatan, hingga risiko kebakaran atau ledakan pada komponen dengan minyak isolasi [5]. Selain itu, gangguan ini dapat memicu *cascading*, yaitu kegagalan berantai yang memengaruhi seluruh wilayah layanan listrik [5].

Klasifikasi gangguan hubung singkat berdasarkan bentuknya terbagi atas dua, yaitu Gangguan simetris (hubung singkat tiga-fase) dan gangguan tak simetris antara lain:

- Gangguan simetris merupakan gangguan yang terjadi akibat adanya hubung singkat pada ketiga fase saluran penghantar, gangguan ini tidak akan merubah bentuk ke simetris-an pada sistem. Gangguan ini menghasilkan arus gangguan dengan magnitudo yang sama pada ketiga fasenya ( $I_A$ ,  $I_B$  dan  $I_C$ ), yang mana ketiganya terpisah dengan sudut sebesar  $120^\circ$ .



**Gambar 2.1 Visualisasi Gangguan Simetris Tiga-Fase [6]**

- Gangguan tak simetris yaitu gangguan yang terjadi akibat adanya hubung singkat pada salah satu atau kedua fasenya pada sistem kelistrikan tiga fase, gangguan ini menyebabkan ketaksimetrisan pada sistem. Gangguan tak simetris dapat berupa gangguan satu-fase ke tanah, gangguan dua fase ke tanah dan gangguan antar-fase [3].

### Akibat yang Ditimbulkan oleh Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan seperti transformator dan pemutus sirkuit, pemadaman listrik yang meluas, serta gangguan stabilitas sistem. Selain itu, arus tinggi akibat gangguan dapat memicu kebakaran atau ledakan, yang berpotensi meningkatkan risiko keselamatan personel [5]. Gangguan ini juga berdampak pada ekonomi, seperti tingginya biaya perbaikan dan kerugian produksi akibat pemadaman [5].

### Metode Thevenin untuk Gangguan Simetris

Metode Thevenin digunakan untuk menyederhanakan jaringan listrik kompleks menjadi model rangkaian ekuivalen yang terdiri dari satu sumber tegangan dan impedansi seri. Metode ini mempermudah analisis sistem dengan banyak bus atau *loop*, terutama dalam perhitungan arus pada kondisi gangguan [7].

### Metode $MVA_{SC}$

Metode  $MVA_{SC}$  adalah teknik untuk menghitung hubung singkat *Mega Volt Ampere* ( $MVA_{SC}$ ), yang mewakili total daya nyata yang tersedia selama terjadi gangguan hubung singkat. Metode ini penting dalam menentukan spesifikasi peralatan gardu yang akan digunakan dalam suatu proyek [3].

Metode ini tidak memerlukan dasar  $MVA$  umum seperti yang dibutuhkan oleh metode per-unit. Selain itu, tidak perlu mengonversi impedansi dari satu tingkat tegangan ke tingkat tegangan lain seperti yang diharuskan oleh metode ohmik [3].

**Prosedur Analisis Hubung Singkat Metode  $MVA_{SC}$**

Prosedur yang harus dilakukan dalam metode ini adalah menghitung  $MVA$  hubung singkat ( $MVA_{SC}$ ) setiap komponen atau elemen sistem daya yang ada dalam diagram segaris sistem yang bersangkutan [3].

Formula-formula yang digunakan untuk memperoleh nilai  $MVA_{SC}$  setiap komponen adalah sebagai berikut:

1.  $MVA_{SC} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_{SC} \dots (1)$

dengan:

$V_{LL}$ : Tegangan antarfase (dua-fase)

$I_{SC}$ : Level arus hubung-singkat (kA)

$MVA_{SC}$ : Level hubung-singkat ( $MVA$ )

2. Komponen sistem yang diketahui adalah nilai reaktans komponen dalam persen (%):

$$MVA_{SC} = \frac{MVA_{rated}}{\%X_{equip} (pu)} \dots (2)$$

dengan:

$MVA_{SC}$  : Kapasitas hubung singkat

$MVA_{rated}$  : Kapasitas nominal

$\%X_{equip} (pu)$ : Reaktans divais (pu) dalam persentase

3. Komponen sistem dengan nilai reaktans komponen dalam Ohm ( $\Omega$ ):

$$MVA_{SC} = \frac{(kV_{LL})^2}{X_{act}} \dots (3)$$

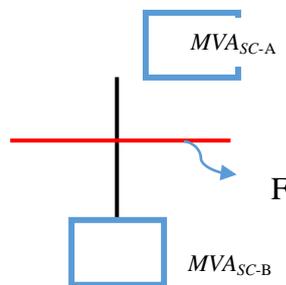
dengan:

$kV_{LL}$  : Tegangan nominal (antarfase)

$X_{act}$  : Reaktans aktual ( $\Omega$ )

Setelah memperoleh nilai  $MVA_{SC}$  pada setiap komponen, kemudian digabungkan hingga membentuk nilai  $MVA_{SC}$  tunggal yang mewakili sistem atau disebut  $MVA_{SC}$  ekuivalen. Nilai  $MVA_{SC}$  yang terhubung paralel, langsung dijumlahkan untuk memperoleh nilai ekuivalennya :

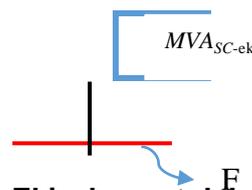
4.  $MVA_{SC-A}$  Paralel dengan  $MVA_{SC-B}$



**Gambar 2. 2  $MVA_{SC}$  yang Terhubung Paralel [3]**

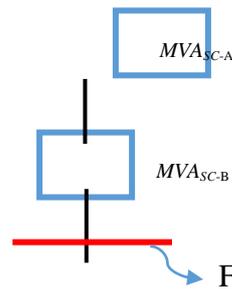
$$MVA_{SC-ek} = MVA_{SC-A} + MVA_{SC-B} \dots (4)$$

Nilai  $MVA$  hubung singkat untuk 2 buah divais  $MVA_{SC}$  yang terhubung paralel (Gambar 2.2) untuk gangguan di  $F$ , seperti pada Gambar 2.3 :



**Gambar 2.3  $MVA_{SC}$  Ekuivalen untuk Lokasi Gangguan di  $F$  [3]**

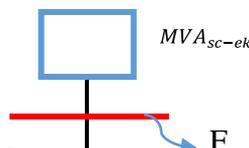
5. Nilai  $MVA_{SC}$  yang terhubung seri, nilai ekivalennya merupakan hasil penggabungan nilai  $MVA_{SC}$  seperti pada impedans yang paralel (Gambar 2.3).



**Gambar 2. 4  $MVA_{SC}$  yang Terhubung Seri [3]**

$$MVA_{SC-A} \text{ seri dengan } MVA_{SC-B}$$

$$MVA_{SC-ek} = \frac{MVA_{SC-A} \times MVA_{SC-B}}{MVA_{SC-A} + MVA_{SC-B}} \dots (5)$$



**Gambar 2.5  $MVA_{SC}$  Ekuivalen untuk Lokasi Gangguan di F [3]**

Ekivalensi antara dua nilai  $MVA_{SC}$  yang seri untuk gangguan di F (Gambar 2.4).

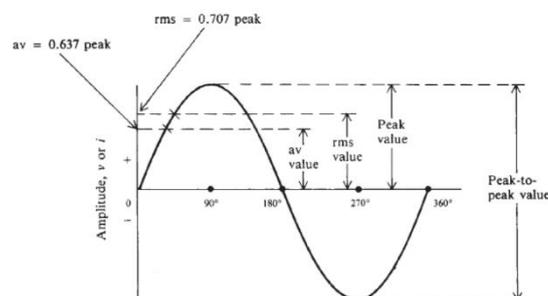
### Metode PSCAD/EMTDC

*PSCAD (Power System Computer Aided Design)/EMTDC (Electro Magnetic Transient DC)* adalah alat simulasi canggih berbasis domain waktu untuk menganalisis perilaku transien jaringan listrik. *PSCAD* berfungsi sebagai antarmuka grafis pengguna, sedangkan *EMTDC* adalah mesin simulasinya. Alat ini sangat efektif untuk memodelkan respons transien elektromagnetik sistem tenaga, mencakup proses perakitan sirkuit, kontrol eksekusi waktu, analisis, hingga pelaporan [8].

*PSCAD/EMTDC* merupakan perangkat lunak yang penting dalam simulasi sistem tenaga listrik dengan perpustakaan ekstensif yang mencakup berbagai model sistem tenaga dan elektronik daya. Perpustakaan ini juga menyediakan komponen dan model relay dasar yang dapat digunakan untuk simulasi perlindungan. Selain itu, *PSCAD/EMTDC* memungkinkan pengguna untuk membuat model dan komponen khusus yang tidak tersedia di perpustakaan, termasuk dukungan untuk model berbasis bahasa *FORTRAN* [8].

### Nilai Karakteristik Sinyal AC

Karena tegangan atau arus gelombang sinus AC memiliki banyak nilai sesaat sepanjang siklus, maka akan lebih mudah untuk menentukan besaran untuk membandingkan satu gelombang dengan gelombang lainnya. Nilai puncak, rata-rata, atau akar kuadrat rata-rata (*RMS*) dapat ditentukan. Nilai-nilai ini berlaku untuk arus atau tegangan [9].



**Gambar 2. 6 Nilai Karakteristik untuk Gelombang Sinus AC [9]**

Nilai efektif tegangan AC kadang-kadang disebut nilai *RMS* (*root mean square*) dari tegangan tersebut. Nilai ini merupakan ukuran efek pemanasan tegangan AC dibandingkan dengan tegangan DC yang ekuivalen [10]. Jadi arus yang bervariasi secara sinusoidal dan yang nilai puncaknya adalah  $I_m$  memiliki nilai efektif  $I_{eff}$  yang diberikan oleh,

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

- $I_{eff}$  (*Root Mean Square* atau *RMS*): Nilai ini merepresentasikan arus DC yang menghasilkan efek pemanasan yang sama dalam suatu resistans dibandingkan dengan arus AC.
- $I_m$  (*Amplitudo Maksimum* atau *Nilai Puncak*): Merupakan nilai tertinggi dari gelombang arus sinusoidal dalam satu siklus.

Sebagian besar instrumen arus bolak-balik dikalibrasi untuk menunjukkan nilai efektif tegangan atau arus dan bukan nilai puncak. Ketika nilai tegangan atau arus bolak-balik diberikan, dipahami bahwa itu adalah nilai efektif. Lebih jauh, subskrip dan  $I_{eff}$  dihilangkan dan nilai efektif tegangan dan arus hanya diwakili oleh simbol  $E$  dan  $I$  [10].

### Nilai Puncak-ke-Puncak Arus ( $I_{PP}$ )

Dalam konteks sistem tenaga listrik, rumus yang lebih sering digunakan adalah tegangan *RMS* (*Root Mean Square*) dari tegangan puncak-ke-puncak (*peak-to-peak*), karena tegangan *RMS* mewakili nilai efektif tegangan atau arus dalam analisis daya AC (arus bolak-balik). Namun, jika ingin melihat rentang total fluktuasi tegangan atau arus pada grafik (Gambar 2.5) [9].

Nilai puncak ke puncak adalah jarak antara puncak positif dengan puncak negatif pada gelombang sinusoidal, yang secara matematis adalah sebagai berikut,

$$I_{PP} = (I_{peak+}) - (I_{peak-})$$

Nilai puncak adalah :

$$I_m = \frac{1}{2} I_{PP}$$

$I_{peak+}$  : Arus puncak tertinggi dari sinyal,

$(I_{peak-})$  : Arus puncak terendah dari sinyal.

$I_{PP}$  : Nilai puncak-ke-puncak,

$I_m$  : Nilai puncak / maksimum

### Nilai Efektif Arus ( $I_{RMS}/I_{eff}$ )

Simulasi arus hubung singkat menggunakan *PSCAD* sangat bergantung pada nilai  $I_{RMS}$  (*Root Mean Square*) untuk mengetahui besarnya arus yang terjadi selama gangguan.  $I_{RMS}$  berperan dalam menentukan parameter penting dalam perancangan sistem proteksi, seperti pemilihan pemutus sirkuit dan pengaturan relai. Melalui simulasi di *PSCAD*, arus hubung singkat yang dihitung berdasarkan  $I_{RMS}$  dapat diperoleh dengan akurat, sehingga memastikan peralatan proteksi bekerja secara efektif dan andal [10].

## METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 2 metode yang kemudian akan di komparasikan hasilnya untuk menampilkan hasil yang didapatkan oleh kedua metode

### Metode *MVA<sub>sc</sub>*

Tahap pertama dalam analisis *MVA<sub>sc</sub>* ini, adalah menentukan arus hubung singkat pada setiap komponen yang ada pada diagram segaris Penyulang Pajalau 20kV. Setelah memperoleh

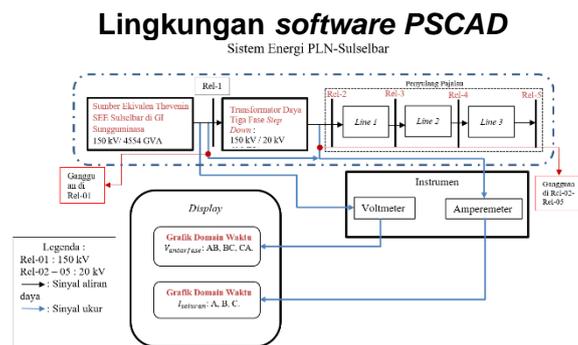
nilai  $MVA_{SC}$  pada setiap komponen, kemudian digabungkan hingga membentuk nilai  $MVA_{SC}$  tunggal yang mewakili sistem atau disebut  $MVA_{SC}$  ekivalen.

**Metode PSCAD/EMTDC**

Membuat model *PSCAD* dari *SEE*, beserta gangguan. Setelah itu dilakukan simulasi dan selanjutnya menganalisis data yang diperoleh akibat gangguan pada *SEE* tersebut. Penelitian ini dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Jl. Sultan Alauddin nomor 259 Makassar.

**Skema Konfigurasi PSCAD/EMTDC**

Skema dapat membantu dalam memvisualisasikan suatu sistem, proses, model atau hubungan antara berbagai komponen dalam Sistem Energi Elektrik. Ini membuat informasi yang kompleks lebih mudah dipahami.



**Gambar 3. 1 Skema/Konfigurasi Simulator Sistem Energi Elektrik dengan Metode Simulasi Software PSCAD**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Data Spesifikasi Penyulang Pajalau**

**1. Data Sumber dan Arus Hubung Singkat di Rel-150 kV Gardu Induk Sungguminasa**

**Tabel 4. 1 Data Arus Hubung Singkat [11]**

NO	Rel	Arus Hubung Singkat 1 Fase (kA)	Arus Hubung Singkat 3 Fase (kA)
1	Rel 1	15,36	17,53
2	Rel 2	15,36	17,53

**2. Penamaan Rel dan Saluran**

**Tabel 4.2 Nama Rel dan Saluran**

NO.	Nama Rel Aktual	Nama Rel Model	Keterangan
1	Rel Sumber	Rel-01	Rel Sumber Thevenin di GI Sungguminasa
2	Rel Distribusi	Rel-02	Tranformator
3	Rel-04	Rel-03	Kabel Jaringan (Saluran 01)
4	Rel-05	Rel-04	Kabel Jaringan (Saluran 02)
5	Ujung Jaringan	Rel-05	Kabel Jaringan (Saluran 03)

### 3. Data Spesifikasi Transformator

**Tabel 4. 3 Data Spesifikasi Transformator [11]**

<b>Daya</b>	60 MVA
<b>Merek</b>	Pauwels Trafo
<b>Tipe</b>	P60LEC495
<b>Rasio Tegangan</b>	150/20 KV
<b>Arus Nominal</b>	1574 A
<b>Vector Group</b>	YNyn0-d
<b>Impedans (%)</b>	12,35%
<b>Rasio (X/R) Transformator</b>	10

### 4. Data Impedans Konduktor Jaringan 20 kV

**Tabel 4. 4 Nilai tahanan, reaktans, dan impedans pada penghantar tipe AAAC [11]**

<b>Luas Penampang(mm<sup>2</sup>)</b>	240
<b>Jari-Jari(mm)</b>	87,386
<b>Urat</b>	19
<b>GMR (mm)</b>	66,238
<b>Impedans Urutan Positif (ohm/KM)</b>	0,1344 + j 0,3158
<b>Impedans Urutan Nol (ohm/KM)</b>	0,2824 + j 1,6034

### 5. Data Panjang dan Impedans Saluran Penyulang Pajalau

**Tabel 4.5 Tabel Panjang, dan Impedans [11]**

Posisi (Rel-PLN)	Posisi (Rel Simulasi)	Jarak dari GI (km)	Panjang Saluran (L) (km)	Konstanta Impedans (Ohm/km)		$z = R + jx$ (Ohm)	
				R	X	R	X
GI [Sisi Primer Trafo]	Rel-01	0	0	0,1344	0,3158	0	0,000
GI [Sisi Sekunder Trafo]	Rel-02	0	0	0,1344	0,3158	0	0,000
Rel-04	Rel-03	14,62	14,62	0,1344	0,3158	1,965	4,617
Rel-05	Rel-04	19,4	4,78	0,1344	0,3158	0,642	1,510
Ujung Jaring	Rel-05	56,592	37,192	0,1344	0,3158	4,999	11,745

### Penentuan Level Hubung Singkat di Rel sumber Thevenin 150 kV di GI Sungguminasa 1 sampai dengan Rel 5

#### 1. Sumber-Grid

Data tegangan :150 kV

Level arus-gangguan, = 17,53 kA

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_{HS}$$

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times 150 \text{ kV} \times 17,53 \text{ kA}$$

$$MVA_{sc} = 4554,428 \text{ MVA.}$$

## 2. Transformator

Nilai MVA : 60

Nilai impedans :12,35%

$$MVA_{sc} = \frac{MVA}{(\%Z)}$$

$$MVA_{sc} = \frac{60 \text{ MVA}}{(12,35 \%)}$$

$$MVA_{sc} = 60.000.000 / 0,1235$$

$$MVA_{sc} = 485,829,960 \text{ MVA} = 485 \text{ MVA}$$

## 3. Saluran 01

Panjang saluran dari Sumber Thevenin adalah 14,62 km, serta konstanta impedans  $0,1344 + j 0,3158 \Omega/\text{km}$ .

$$Z_{tot} = L \times \frac{Z}{\text{km}}$$

$$Z_{tot} = 14,62 \text{ km} \times (0,1344 + j 0,3158) \Omega/\text{km}$$

$$Z_{tot} = (1,964928 + 4,616996) \Omega$$

Nilai resistans diabaikan sehingga nilai impedans sama dengan nilai reaktans. Oleh karena itu, nilai reaktans adalah seperti berikut,

$$X_{akt} = 4,616 \Omega$$

Setelah memperoleh nilai reaktans total  $4,616 \Omega$ , maka akan didapatkan nilai  $MVA_{sc}$  sebagai berikut:

$$MVA_{sc} = \frac{V^2}{X_{akt}}$$

$$MVA_{sc} = \frac{(20.000)^2}{4,616}$$

$$MVA_{sc} = 86,636 \text{ MVA}$$

## 4. Saluran 02

Panjang saluran dari sumber Thevenin adalah 4,78 km, serta konstanta impedans  $0,1344 + j 0,3158 \Omega/\text{km}$ .

$$Z_{tot} = L \times \frac{Z}{\text{km}}$$

$$Z_{tot} = 4,78 \text{ km} \times (0,1344 + j 0,3158) \Omega/\text{km}$$

$$Z_{tot} = (0,642432 + 1,509524) \Omega$$

Nilai resistans diabaikan sehingga nilai impedans sama dengan nilai reaktans. Oleh karena itu, nilai reaktans adalah seperti berikut,

$$X_{akt} = 1,509 \Omega$$

Setelah memperoleh nilai reaktans total  $1,509 \Omega$ , maka akan didapatkan hasil  $MVA_{sc}$  sebagai berikut :

$$MVA_{sc} = \frac{V^2}{X_{akt}}$$

$$= \frac{(20.000)^2}{1,509}$$

$$MVA_{sc} = 265,076 \text{ MVA}$$

## 5. Saluran 03

Panjang saluran dari Sumber Thevenin adalah 37,192 km, serta konstanta impedans :  $(0,1344 + j 0,3158) \Omega/\text{km}$ .

$$Z_{tot} = L \times \frac{Z}{\text{km}}$$

$$Z_{tot} = 37,192 \text{ km} \times (0,1344 + j 0,3158) \Omega/\text{km}$$

$$Z_{tot} = (4,9986048 + 11,7452336) \Omega$$

Nilai resistans diabaikan sehingga nilai impedans sama dengan nilai reaktans. Oleh karena itu, nilai reaktans adalah seperti berikut,

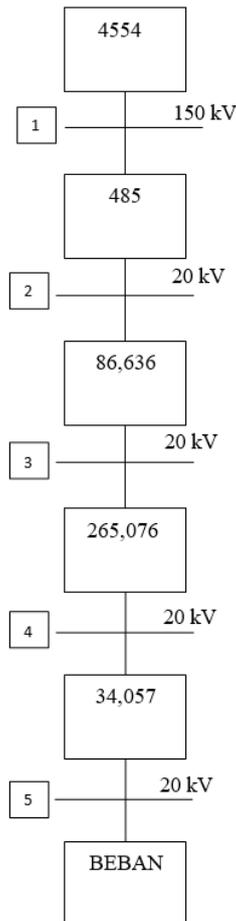
$$X_{akt}=11,745 \Omega$$

Setelah memperoleh nilai reaktans total 11,745Ω, maka akan didapatkan hasil  $MVA_{SC}$  sebagai berikut:

$$MVA_{sc} = \frac{V^2}{X_{akt}}$$

$$MVA_{sc} = \frac{(20.000)^2}{11,745}$$

$$MVA_{sc} = 34,057 MVA$$



Gambar 4.1. Diagram  $MVA_{sc}$  Penyulang Pajalau

### Penentuan Nilai Arus Hubung-Singkat Metode $MVA_{sc}$

Berikut adalah penentuan nilai  $MVA_{SC}$  setiap divais yang mengalami gangguan, kemudian penentuan nilai  $MVA_{SC}$  ekivalen pada setiap divais tersebut.

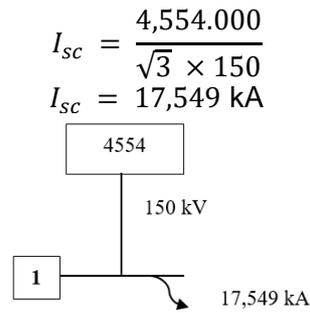
#### 1. Lokasi Gangguan di Rel 01

$$MVA_{SC} = \sqrt{3} V_{LL} \times I_{sc}$$

$$I_{sc} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

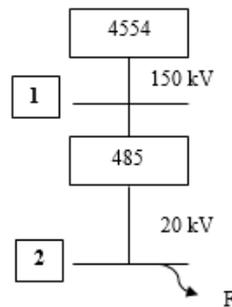
$$I_{sc} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

$$I_{sc} = \frac{4554 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3}$$



Gambar 4.2. Rangkaian ekivalen  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 01

2. Lokasi Gangguan di Rel 02



Gambar 4.3. Rangkaian ekivalen (tahap 1)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 02

$$MVA_{sc \times ek} = \frac{(4554) \times (485)}{(4554) + (485)} = 438,319 \text{ MVA}$$

$$S_{sc} = \sqrt{3} V_{LL} \times I_{sc}$$

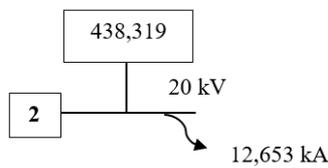
$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

$$I_{sc} = \frac{MVA_{sc}}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

$$I_{sc} = \frac{438,319 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3}$$

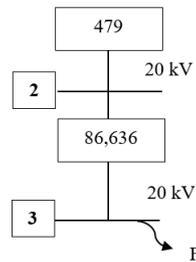
$$I_{sc} = \frac{438.319.000}{\sqrt{3} \times 20.000}$$

$$I_{sc} = 12,653 \text{ kA}$$



Gambar 4.4. Rangkaian ekivalen (tahap 2)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 02

### 3. Lokasi Gangguan di Rel 03



Gambar 4.5. Rangkaian ekivalen (tahap 1)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 03

$$MVA_{sc \times ek} = \frac{(433,412) \times (86,636)}{(433,412) + (86,636)} = 72,203 \text{ MVA}$$

$$S_{sc} = \sqrt{3} V_{LL} \times I_{sc}$$

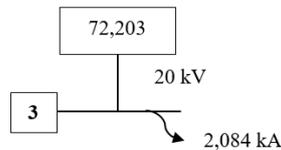
$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

$$I_{sc} = \frac{MVA_{sc}}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

$$I_{sc} = \frac{72,203 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3}$$

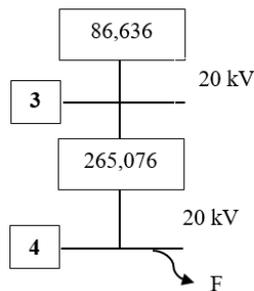
$$I_{sc} = \frac{72.203.000}{\sqrt{3} \times 20.000}$$

$$I_{sc} = 2,084 \text{ kA}$$



Gambar 4.6. Rangkaian ekivalen (tahap 2)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 03

### 4. Lokasi Gangguan di Rel 04



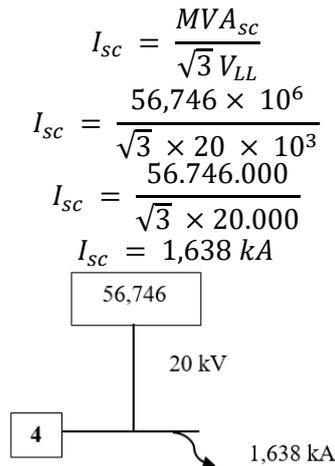
Gambar 4.7. Rangkaian ekivalen (tahap 1)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 04

$$MVA_{sc \times ek} = \frac{(72,203) \times (265,076)}{(72,203) + (265,076)}$$

$$= 56,746$$

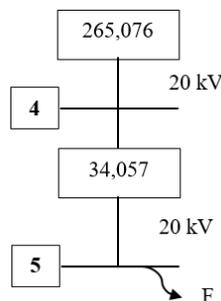
$$S_{sc} = \sqrt{3} V_{LL} \times I_{sc}$$

$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

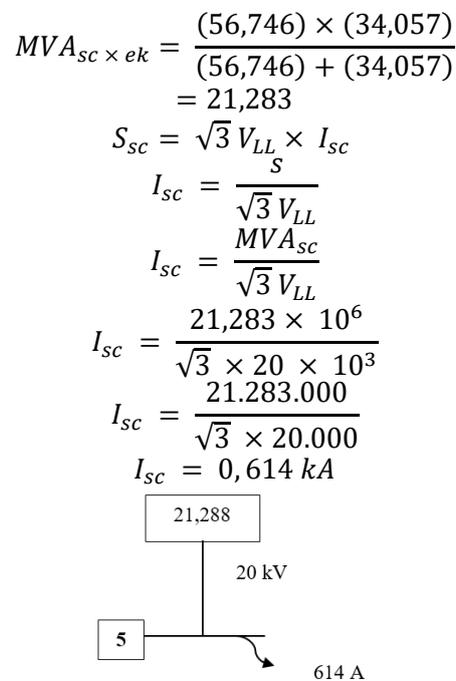


Gambar 4.8. Rangkaian ekivalen (tahap 2)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 04

5. Lokasi Gangguan di Rel 05

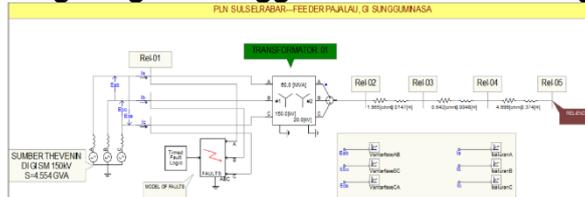


Gambar 4.9. Rangkaian ekivalen (tahap 1)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 05

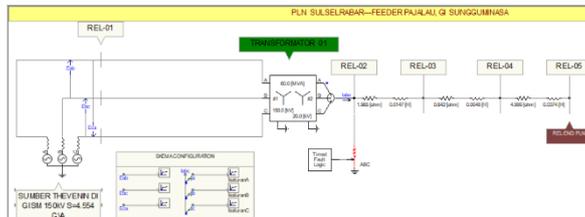


Gambar 4.10. Rangkaian ekivalen (tahap 2)  $MVA_{sc}$  untuk gangguan di Rel 05

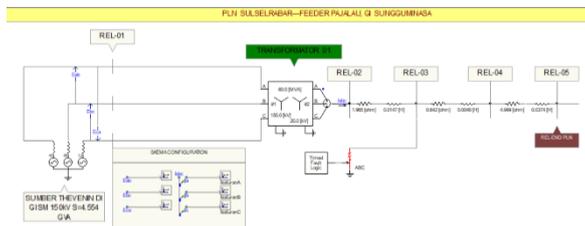
### Penentuan Nilai Arus Hubung-Singkat Menggunakan Model Perangkat Lunak PSCAD



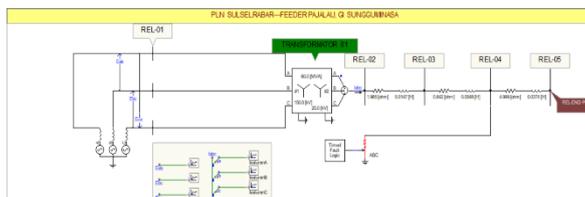
Gambar 4.11. Diagram model PSCAD untuk gangguan di Rel 01



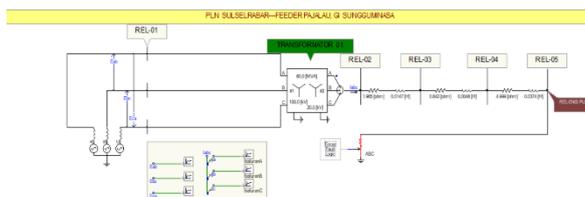
Gambar 4.12. Diagram model PSCAD untuk gangguan di Rel 02



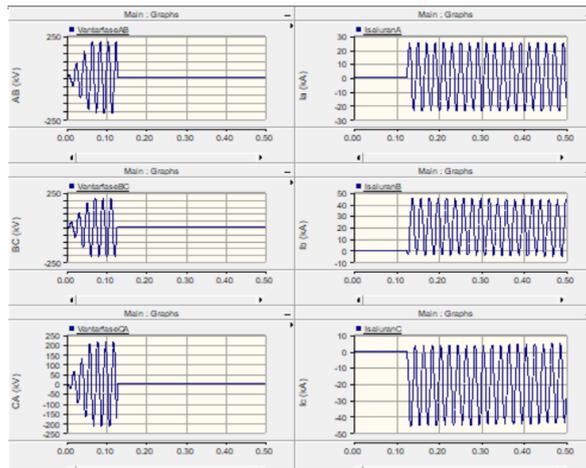
Gambar 4.13. Diagram model PSCAD untuk gangguan di Rel 03



Gambar 4.14. Diagram model PSCAD untuk gangguan di Rel 04



Gambar 4.15. Diagram model PSCAD untuk gangguan di Rel 05



**Gambar 4.16. Grafik arus dan tegangan dari hasil simulasi untuk gangguan di Rel 01**

Dengan menggunakan metode *Peak to Peak*, maka arus yang didapatkan dari nilai yang diperoleh dari grafik (Gambar 4.16) adalah :

$$I_{max} = 24,552 \text{ kA}$$

$$I_{min} = -23,591 \text{ kA}$$

$$I_m = \frac{1}{2} I_{PP}$$

$$I_m = \frac{24.552 - (-23,591)}{2}$$

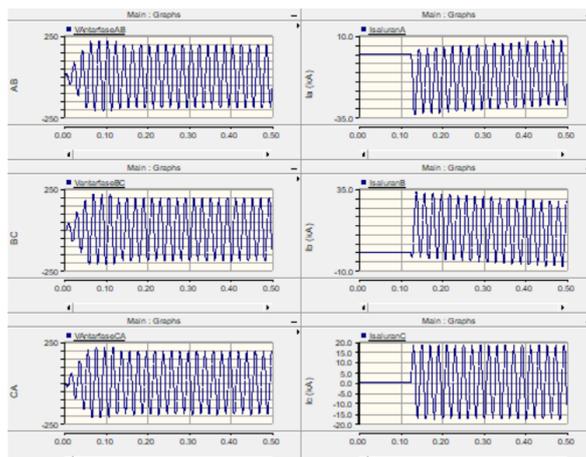
$$I_m = \frac{48,143 \text{ kA}}{2} = 24,071 \text{ kA}$$

Setelah mendapatkan nilai  $I_m$  maka nilai  $I_{RMS}$  dapat diperoleh sebagai berikut :

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = \frac{24,275 \text{ kA}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = 17,023 \text{ kA}$$



**Gambar 4.17. Grafik arus dan tegangan dari hasil simulasi untuk gangguan di Rel 02**

Dengan menggunakan metode *Peak to Peak*, maka arus yang didapatkan dari nilai yang diperoleh dari grafik (Gambar 4.17) adalah :

$$I_{max} = 5,895 \text{ kA}$$

$$I_{min} = -29,393 \text{ kA}$$

$$I_m = \frac{1}{2} I_{PP}$$

$$I_m = \frac{5,895 - (-29,393)}{2}$$

$$I_m = \frac{35,288 \text{ kA}}{2}$$

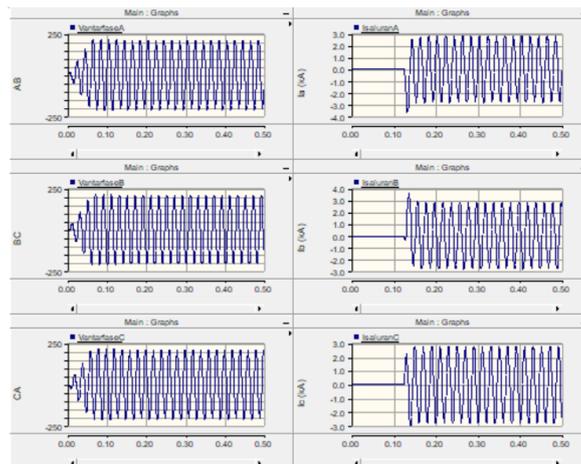
$$I_m = 17,644 \text{ kA}$$

Setelah mendapatkan nilai  $I_m$  maka nilai  $I_{RMS}$  dapat diperoleh sebagai berikut :

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = \frac{17,644 \text{ kA}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = 12,478 \text{ kA}$$



**Gambar 4.18. Grafik arus dan tegangan dari hasil simulasi untuk gangguan di Rel 03**

Dengan menggunakan metode *Peak to Peak*, maka arus yang didapatkan dari nilai yang diperoleh dari grafik (Gambar 4.18) adalah :

$$I_{max} = 2,774 \text{ kA}$$

$$I_{min} = -2,776 \text{ kA}$$

$$I_m = \frac{1}{2} V_{PP}$$

$$I_m = \frac{2,774 - (-2,776)}{2}$$

$$I_m = \frac{5,55}{2} = 2,775 \text{ kA}$$

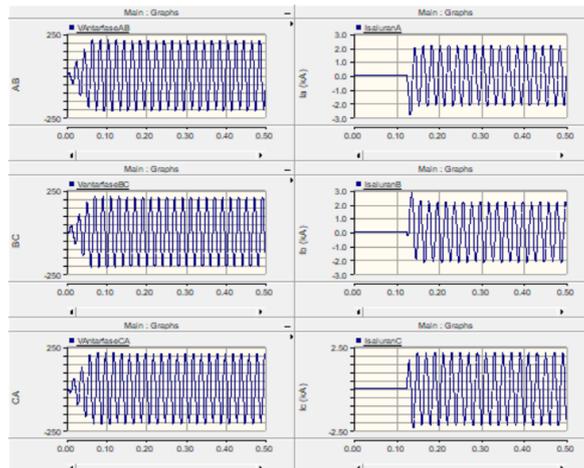
$$I_m = 2,775 \text{ kA}$$

Setelah mendapatkan nilai  $I_m$  maka nilai  $I_{RMS}$  dapat diperoleh sebagai berikut :

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = \frac{2,775 \text{ kA}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = 1,962 \text{ kA}$$



**Gambar 4.19. Grafik arus dan tegangan dari hasil simulasi untuk gangguan di Rel 04**

Dengan menggunakan metode *Peak to Peak*, maka arus yang didapatkan dari nilai yang diperoleh dari grafik (Gambar 4.19) adalah :

$$I_{max} = 2,168 \text{ kA}$$

$$I_{min} = -2,160 \text{ kA}$$

$$I_m = \frac{1}{2} I_{PP}$$

$$I_m = \frac{2,168 - (-2,160)}{2}$$

$$I_m = \frac{4,328 \text{ kA}}{2}$$

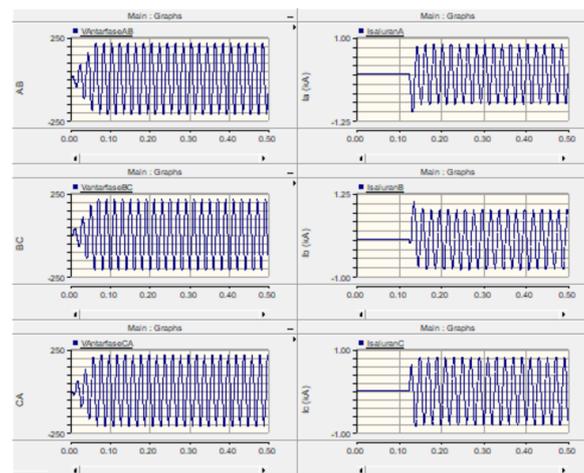
$$I_m = 2,164 \text{ kA}$$

Setelah mendapatkan nilai  $I_m$  maka nilai  $I_{RMS}$  dapat diperoleh sebagai berikut :

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = \frac{2,164 \text{ kA}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = 1,530 \text{ kA}$$



**Gambar 4.20. Grafik arus dan tegangan dari hasil simulasi untuk gangguan di Rel 05**

Dengan menggunakan metode *Peak to Peak*, maka arus yang didapatkan dari nilai yang diperoleh dari grafik (Gambar 4.20) adalah :

$$I_{max} = 0,794 \text{ kA}$$

$$I_{min} = -0,791 \text{ kA}$$

$$I_m = \frac{1}{2} I_{PP}$$

$$I_m = \frac{0,794 - (-0.791)}{2}$$

$$I_m = \frac{1,585 \text{ kA}}{2} = 0,792 \text{ kA}$$

Setelah mendapatkan nilai  $I_m$  maka nilai  $I_{RMS}$  dapat diperoleh sebagai berikut :

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

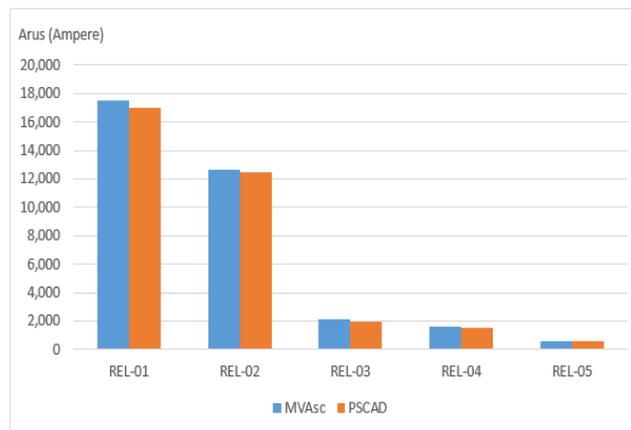
$$I_{RMS} = \frac{0,792 \text{ kA}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{RMS} = 0,560 \text{ kA}$$

**Rekapitulasi Arus Hubung Singkat**

**Tabel 4. 5. Hasil arus hubung singkat dari metode  $MVA_{SC}$  dan metode  $PSCAD$**

Hasil Metode $MVA_{SC}$	Hasil Metode Software $PSCAD$
17,549 kA	17,023 kA
12,653 kA	12,478 kA
2,084 kA	1,962 kA
1,638 kA	1,530 kA
0,614 kA	0,560 kA



**Gambar 4.21. Diagram komparasi arus hubung-singkat antara metode  $MVA_{SC}$  dengan  $PSCAD$**

**Tabel 4.6. Komparasi arus hubung-singkat antara metode  $MVA_{SC}$  dengan  $PSCAD$**

No. Rel	Hasil Metode $MVA_{SC}$	Hasil Metode $PSCAD$	Selisih (Ampere)	Selisih (%)
1	17,549 kA	17,023 kA	526	3,09
2	12,653 kA	12,478 kA	175	1,38
3	2,084 kA	1,962 kA	122	6,21
4	1,637 kA	1,530 kA	107	7
5	0,614 kA	0,560 kA	54	9,64

**SIMPULAN**

Simpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus hubung singkat yang dihasilkan dengan metode  $MVA_{SC}$  untuk gangguan di rel 1 sampai dengan 5 adalah secara berurut 17,549 kA; 12,653 kA;

2,084 kA; 1,638 kA dan 0,614 kA. Sementara itu, dengan metode *PSCAD/EMTDC*, gangguan di rel 1 sampai dengan 5 adalah secara berurutan adalah 17,023 kA; 12,478 kA; 1,962 kA; 1,530 kA dan 0,560 kA.

Metode  $MVA_{SC}$  menghasilkan arus hubung singkat lebih besar dari pada metode *PSCAD/EMTDC* untuk keseluruhan rel yang ditinjau, dengan selisih rata-rata 5,46%. Adapun selisih terendah adalah 1,38% sementara yang tertinggi 9,64%. Level arus hubung singkat yang diperoleh dari metode  $MVA_{SC}$  sedikit lebih besar dari pada metode *PSCAD/EMTDC*, yang dalam hal ini, disebabkan oleh fakta bahwa metode  $MVA_{SC}$  mengabaikan nilai resistansi dari setiap divais, sehingga nilai impedansinya menjadi lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Z. Čonka, K. Máslo, and B. Bátor, "Short circuit current calculations," in *2018 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, May 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/EPE.2018.8396040.
- M.-J. Lin, "Advantage to Short Circuit Current of Calculation on Power System by the MVA Method," *Asian J. Res. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 28–36, 2020, doi: 10.9734/ajrcos/2020/v6i130150.
- A. Faharuddin, "Analisis Gangguan Simetris dengan Menggunakan Metode MVA Hubung-Singkat ( $MVA_{SC}$ )," no. 2, pp. 1–6, 2007.
- [E. D. Widodo, D. Irawan, and R. P. Astutik, "Analisis Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Pada Sistem Kelistrikan Pt. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 Berbasis Algoritma Genetika," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 16, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.30587/e-link.v16i1.2693.
- A. S. Sampeallo, 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*, vol. 8, no. 0380, pp. 79–88, 2019.
- A. Madrensyah and I. M. Ardita Y., "Studi perencanaan koordinasi rele proteksi pada saluran udara tegangan tinggi Gardu Induk Gambir Lama = Planning study on the protecting relay coordination at the high voltage transmission line of Gambir Lama-Pulomas substation," vol. 18, no. 1, pp. 1–63, 2008, doi: 10.1002/pssb.19660180108.
- S. Bahar, "Gangguan hubung singkat simetris pada sistem tenaga," pp. 1–34, 2021, [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/547203102/BAB-4-GANGGUAN-HUB-SKT-SIMETRIS-PADA-SISTEM-TENAGA>
- J. E. Liu, "264 of E," *Dev. Power Syst. Prot. 2004. Eighth IEE Int. Conf.*, pp. 264–267, 2004, [Online]. Available: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=1364857](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1364857)
- M. Gussow, *Basic Electricity*. USA: McGraw-Hill, 2007.
- T. Wildi, "Electrical Machines Drives And Power Systems 6th Edition.pdf." Pearson Education Limited, Essex, England, p. 956, 2014.
- M. A. Bayu, N. Arif, Suryani, and H. Nirwana, "Analisa Penggunaan Recloser 3 Fasa 20 KV Penyulang Pajalau untuk Pengaman Arus Lebih PT . PLN ( PERSERO ) ULP Kalebajeng," vol. 15, pp. 18–28, 2023.