

SKRIPSI

**SIMULASI ELEMEN RELAI-ARAH (*DIRECTIONAL RELAY*) UNTUK
PROTEKSI SALURAN TRANSMISI UDARA BERBASIS *PSCAD/EMTDC***



AGUNG ALDIANSYAH

105.82.1644.15

SUCI HERANI

105.82.1663.15

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2020

SIMULASI ELEMEN RELAI ARAH UNTUK PROTEKSI SALURAN
TRANSMISI UDARA BERBASISKAN PSCAD/ENTDC



AGUNG ALDIANSYAR
105.82.1644.15

SUCHERTANI
105.82.1663.15

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

08/02/2019

1. Sd. Alim

N/008/ELT/2018

ALO



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866-472 Fax (0411) 865-988 Makassar 90221

Website: www.umh.ac.id, e-mail: elektroteknik@umh.ac.id

Website: <http://politeknik.umh.ac.id>

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **SIMULASI ELEMEN RELAI-ARAH (DIRECTIONAL RELAY) UNTUK PROTEKSI SALURAN TRANSMISI UDARA BERBASISKAN PSCAD/EMTDC**

Nama : 1. Agung Aklansyah

2. Suci Hariani

Stambuk : 1. 105 82 1644 15

2. 105 82 1663 15

Makassar, 21 Januari 2020

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Pembimbing II


Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T.


Andi Fatharuddin, S.T., M.T.
NIP. 132169985

Mengetahui,

Kepala Jurusan Elektro



Sugeng, S.T., M.T.
NIP. 1044 202



FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IORA L1. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 255 Telp. (0411) 865 972 Fax (0411) 865 568 Makassar 90211

Website: www.unismuh.ac.id, e-Mail: electro@unismuh.ac.id

Website: <http://teknik.unismuh-makassar.ac.id>

وَسُبِّحْ لِلَّهِ الْقُدْرَةُ الْعَظِيمَةُ PENGESAHAN

Skripsi atas nama Agung Aldiansyah dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 1644 15 dan Suci Heriani dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 1663 15, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor: 0002/SK-Y/2020/091004/2020, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 18 Januari 2020.

Panitia Ujian : Makassar, 26 Jumadi Awal 1441 H
21 Januari 2020 M

1. Pengawas Umum

- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
Prof. Dr. H. Abdul Rahiman Rahim, SE, MM
- b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanudin
Prof. Dr. Ir. H. Muli Arsyad Thaha, MT

2. Penguji

- a. Ketua : Ir. Abdul Hafid, MT
- b. Sekretaris : Adnan, S.T, MT

3. Anggota

1. Dr. H. Zahr Zahrudin, M. Sc
2. Suryani, S.T, MT
3. H. Antaresubih, S.T, MT

Pembimbing I

Mengetahui

Pembimbing II


Rizal Andiyat Duyo, S.T, MT


Andi Fahrudin, S.T, MT
NIP. 132164999

Dekan


Ir. Hamzah Al Imran, S.T, M.T, IPM
NBM : 855 500

KATA PENGANTAR

Bismillahi rahmani rahim.

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahuwata'ala, atas berkat Rahmat dan Hidayah-Nya lah sehingga skripsi ini dapat kami mulai dan selesaikan dengan sebaik mungkin. Salawat dan salam kepada junjungan kita Nabiullah Muhammad Shallallahu'alaihi wasallam.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah: **"Simulasi Elemen Relai Arak untuk Proteksi Saluran Transmisi Udara Berbasiskan PSCAD/EMTDC"**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Huznah Al Enran, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

2. Ibu Adriani, ST., MT. Selaku Ketua Prodi Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Rizal Ahdiyat Doyo, S.T., M.T. Selaku Pembimbing I dan Bapak Andi Fajaruddin, ST., MT selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak/Ibu Dosen serta Staf Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani kami selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayah dan Ibu tercinta, kami mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudara serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik teknikus Resolusi 2015 yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah S.W.T dan skripsi yang sederhana ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Makassar, 04 Februari 2020

Penulis

Agung aldiansyah¹, Suci heriani²

¹Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail : Agungaldiansyahhh@gmail.com

²Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail : Suciherianiuni@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak, Agung Aldiansyah dan Suci Heriani, (2020) Saluran transmisi merupakan komponen vital dalam penyaluran daya, yang menghubungkan unit pembangkit dengan pusat-pusat beban atau kepusat pembangkit lainnya. Saluran transmisi terdiri dari beberapa konduktor *overhead* yang terbentang pada wilayah yang luas dengan berbagai macam kondisi udara, sehingga sangat rentan terjadi gangguan pada saluran tersebut. Salah satu peralatan proteksi yang digunakan adalah relai arah. Relai arah adalah relai yang berfungsi untuk memproteksi saluran udara terhadap antar fase atau tiga fase dan hanya bekerja pada satu arah saja. Penelitian ini menunjukkan performa relai arah terhadap saluran transmisi pada gangguan arah di depan relai dan arah di belakang relai. Elemen arah adalah kunci untuk kontrol dan kecepatan secara perlindungan berbasis komunikasi. Ada tiga tipe gangguan yang akan disimulasikan di *PSCAD/EMTDC* yaitu gangguan dua-fase AB, AC dan ABC, dengan resistansi gangguan 1 ohm, 10 ohm dan 20 ohm. Sistem yang dikaji pada penelitian ini memiliki sumber 230 kV, 3 fase, 50 Hz menggunakan saluran transmisi dengan panjang 130 km. Simulasi gangguan hubung singkat dan relai pada saluran transmisi menggunakan software *PSCAD (Power System Computer Aided Design)*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa relai arah mampu men-trip CB untuk semua gangguan arah di depan relai dan men-blok CB untuk semua gangguan arah di belakang relai.

Kata Kunci: Proteksi saluran transmisi, Relai arah, gangguan hubung singkat, *PSCAD*.

Agung aldiannyah¹, Suci heriani²

¹Electrical Engineering Study Program Faculty of Engineering Unismuh Makassar

E_mail :Agungaldiannyahhh@gmail.com

²Electrical Engineering Study Program Faculty of Engineering Unismuh Makassar

E_mail :Suciherianiuci@gmail.com

ABSTRACT

Abstract, Agung Aldiannyah dan Suci Heriani, (2020) the transmission line is a vital component in the distribution of power, which connects generating units with load centers or the other generators. The transmission line consists of several overhead conductor components that spread over a wide area with a variety of air conditions making it very susceptible to interference with the channel. One of the protective equipment used is the directional relay. Directional relay is a relay that function to protect the air ways against inter phase or three phases and only work in one direction only. This research shows the performance of the direction relay on the transmission line in the direction interference in front of the relay and the direction behind the relay. The direction element is the key to the reliability and speed of communication-based protection schemes. There are three types of interference that will be simulated in PSCAD/EMTDC, namely two-phase AB, AC and three-phase ABC interference with 1 Ohm, 10 Ohm and 20 Ohm interference resistance. The system studied in this study has a 230 kV, 3-phase, 50 Hz source using a 130 km long transmission line. Simulation of short circuit and relay interference on the transmission line using PSCAD (Power System Computer Aided Design) software. The simulation results show that the direction relay is able to trip CB for all direction disturbances in front all disturbances behind the relay.

Keywords: Protection of Transmission lines, Directional relay Short circuit, PSCAD

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Umum	6
B. Area Gangguan Hubung Singkat	7

1. Pengertian Gangguan Hubungan Singkat	7
2. Penyebab Terjadinya Gangguan	7
3. Klasifikasi Gangguan Hubungan Singkat	8
4. Akibat Yang Ditimbulkan Oleh Gangguan Hubungan Singkat	10
C. Sistem Proteksi	11
1. Fungsi Sistem Proteksi	12
2. Syarat-Syarat Relai Pengaman	13
a. Cepat Berespon	13
b. Selektif	14
c. peka/Sensitivity	14
d. Andal/Reliability	15
e. Sederhana/Simplicity	15
f. Murah/economy	16
3. Daerah Proteksi	16
4. Sistem Proteksi Utama Dan Penyangga	16
a. Proteksi Utama	16
b. Proteksi Cadangan	17
5. Komponen Utama Sistem Proteksi	18
a. Relai	18
b. Pemutus Daya	18
c. Transduser (Transformator Tegangan dan Transformator Arus)	19
D. Beberapa Relai Proteksi Untuk Saluran Transmisi	20

1. <i>Distance Relay (Relai Jarak)</i>	20
2. <i>Relai Arus Lebih (Over Current Relay)</i>	20
3. <i>Relai Pilek</i>	21
4. <i>Relai Arah</i>	21
E. <i>Prinsip Kerja Relai Arah</i>	22
1. <i>Relai Cup Induksi (Induction Cup Relay)</i>	22
2. <i>Relai Arah Pembanding Fase</i>	24
F. <i>Konsep Relai Arah</i>	25
G. <i>Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC</i>	27
1. <i>Studi Tipikal PSCAD/EMTDC</i>	27
2. <i>Mengenal dan Menjalankan PSCAD/EMTDC</i>	29
a. <i>Memulai PSCAD</i>	29
1. <i>Title, Menu and Main Tool Bar</i>	29
2. <i>Title Bar and Active Project</i>	30
3. <i>Menu Bar and Menu Items</i>	30
4. <i>Toolbar Buttons</i>	31
5. <i>Workspace and Output Windows</i>	32
6. <i>Loading a Cas Project</i>	33
7. <i>Running and Simulation</i>	35
8. <i>Printing the Circuit</i>	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
A. <i>Waktu Dan Tempat Penelitian</i>	39
B. <i>Alat dan Bahan</i>	39

1. Alat	39
2. Bahan	40
C. Skema Penelitian	40
D. Data Penelitian	41
E. Langkah Penelitian	42
F. Jadwal Penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
A. Penodelan Sistem Daya, Rangkaian Relai Arah (<i>Directional Relay</i>), Sistem Kondisi Normal dan Gangguan Dengan Menggunakan Software <i>PSCAD</i>	44
B. Hasil Simulasi	47
1. Simulasi Kondisi Normal	47
2. Simulasi Gangguan Arah Depan	48
a. Gangguan Dua-Fase (AB)	49
b. Gangguan Dua-Fase (AC)	52
c. gangguan Tiga-Fase (ABC)	55
3. Simulasi Gangguan Arah Belakang	57
a. Gangguan Dua-Fase (AB)	58
b. Gangguan Dua-Fase (AC)	61
c. Gangguan Tiga-Fase (ABC)	64
BAB V PENUTUP.....	68
A. Simpulan	68
B. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2.2 Ilustrasi Untuk Perlindungan Cadangan Bagian Saluran Transmisi (Mason, 1979).....	17
Gambar 2.3 Tipikal Relai Arah Ccp Induksi Elektromekanis (Karl dan Castello, 2010).....	23
Gambar 2.4 Karakteristik Polar Relai Arah (Wadhwa, 1986)	24
Gambar 2.5 Relai Arah Perbandingan Fase (a) Diagram Blok (b) Karakteristik (guthhinker, 1998).....	25
Gambar 2.6 Diagram Favor Arus dan Tegangan Untuk Relai Arah (Rau dan Vishwathama, 1995).....	26
Gambar 2.7 Lingkungan Utama PSCAD (Muller, 2005).....	29
Gambar 2.8 Title, Menu and Main Tool Bar PSCAD (Muller, 2005).....	30
Gambar 2.9 Menu File dari Bilah Menu Utama PSCAD (Muller, 2005)	31
Gambar 2.10 Toolbar Buttons PSCAD (Muller, 2005).....	31
Gambar 2.11 Jendela Ruang Kerja PSCAD (Muller, 2005).....	32
Gambar 2.12 Jendela Keluaran/Output PSCAD (Muller, 2005).....	32
Gambar 2.13 Memuat Proyek PSCAD (Muller, 2005).....	33
Gambar 2.14 Membuka proyek PSCAD (Muller, 2005).....	34
Gambar 2.15 Contoh Sederhana Rangkaian yang Dibuat Dalam PSCAD (Muller, 2005).....	35
Gambar 2.16 Plot Hasil Simulasi PSCAD (Muller, 2005).....	36

Gambar 2.17 Menu untuk Mengetik Rangkaian dan Grafik <i>PSCAD</i> (Muller, 2005)	37
Gambar 3.1 Diagram Balok Skema Penelitian	40
Gambar 3.2 Data Penelitian	41
Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Penelitian	42
Gambar 4.1 Rangkaian Simulasi <i>PSCAD V 4.2.0 Student Version</i> (a) Kondisi Normal (b) Gangguan Arus Depan (c) Gangguan Arus Belakang	45
Gambar 4.2 Model Relai Arus	46
Gambar 4.3 Monitor Keluaran Relai Arus	46
Gambar 4.4 Monitor Gelombang Arus di Titik Relai Arus Keadaan Normal	47
Gambar 4.5 Monitor Gelombang Tegangan di Titik Relai Arus Keadaan Normal	47
Gambar 4.6 Monitor Tegangan Fase (BC)	48
Gambar 4.7 Monitor Arus di Titik Relai Arus	49
Gambar 4.8 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus	49
Gambar 4.9 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AB)	50
Gambar 4.10 Monitor Keluaran Logika Relai Arus	50
Gambar 4.11 Monitor Arus di Titik Relai Arus	52
Gambar 4.12 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus	52
Gambar 4.13 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC)	53
Gambar 4.14 Monitor keluaran logika Relai Arus	53
Gambar 4.15 Monitor Arus di Titik Relai Arus	54
Gambar 4.16 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus	55

Gambar 4.17 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (ABC).....	56
Gambar 4.18 Monitor Keluaran Logika Relai Arus	56
Gambar 4.19 Monitor Arus di Titik Relai Arus	58
Gambar 4.20 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus	59
Gambar 4.21 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AB).....	59
Gambar 4.22 Monitor Keluaran Logika Relai Arus	60
Gambar 4.23 Monitor Arus di Titik Relai Arus	61
Gambar 4.24 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus	62
Gambar 4.25 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC).....	62
Gambar 4.26 Monitor Keluaran Logika Relai Arus	63
Gambar 4.27 Monitor Arus di Titik Relai Arus	64
Gambar 4.28 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus	65
Gambar 4.29 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (ABC).....	65
Gambar 4.30 Monitor Keluaran Logika Relai	66

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	43
Tabel 4.1 Performa Relai Arus Terhadap Gangguan Dua-Fase (AB) di Depan Relai Arus.....	51
Tabel 4.2 Performa Relai Arus Terhadap Gangguan Dua-Fase (AC) di Depan Relai Arus.....	54
Tabel 4.3 Performa Relai Arus Terhadap Gangguan Tiga-Fase (ABC) di Depan Relai Arus.....	57
Tabel 4.4 Performa Relai Arus Terhadap Gangguan Dua-Fase (AB) di Belakang Relai Arus.....	60
Tabel 4.5 Performa Relai Terhadap Gangguan Dua-Fase (AC) di Belakang Relai Arus.....	63
Tabel 4.6 Performa Relai Terhadap Gangguan Tiga-Fase (ABC) di Belakang Relai Arus.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A BENTUK DAN KEGUNAAN KOMPONEN YANG
DIGUNAKAN

LAMPIRAN B GRAFIK KELUARAN SIMULASI UNTUK GANGGUAN
DI DEPAN DAN DI BELAKANG RELAI ARAH



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi	Keterangan
PSCAD	<i>Power System Computer Aided Design</i>
EMTDC	<i>Electro Magnetic Transient DC</i>
CT	<i>Current Transformer</i>
VT	<i>Voltage Transformer</i>
DC	<i>Direct Current</i>
PMU	Sinkor Pemantau tegangan
CB	<i>Circuit Breaker</i>
Hz	Hertz/Frekuensi
kV	Kilo Volt
kA	Kilo Ampere
Ohm	Setoran Impedansi listrik
Steady state	Kondisi Stabil
ZI	Impedansi (Ohm)
I	Arus
I_a	Arus Fase a
I_b	Arus Fase b
I_c	Arus Fase c
V	Tegangan
V_a	Tegangan Fase a
V_b	Tegangan Fase b

V_e

Tegangan Fase e

FFT

Fast Fourier Transform

Argumen

Fasor Arus dibanding Fasor Tegangan



BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Listrik adalah sumber energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat sehingga dalam penyaluran energi tersebut harus benar-benar handal, listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting untuk menunjang kehidupan saat ini dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari, baik dalam rumah tangga maupun dalam bisnis. Secara umum dapat dikatakan bahwa energi listrik merupakan salah satu prasyarat kehidupan manusia dan perkembangan kehidupan manusia memerlukan penyediaan energi listrik (Jasmi, 2013).

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari 3 komponen utama yaitu stadium-stadium pembangkit, saluran-saluran transmisi dan sistem-sistem distribusi. Saluran transmisi merupakan mata rantai penghubung antara stadium pembangkit dan sistem distribusi dan menghubungkan dengan sistem daya lain melalui interkoneksi. Oleh karena itu, saluran transmisi komponen paling vital pada sistem tenaga listrik (Stevenson, 1990).

Suatu sistem tenaga listrik harus memenuhi syarat-syarat dasar. Seperti setiap saat memenuhi jumlah energi listrik yang diperlukan konsumen sewaktu-waktu, mempertahankan suatu tegangan yang tetap dan yang tidak terlalu bervariasi, mempertahankan suatu frekuensi yang stabil dan tidak bervariasi, menyediakan energi listrik dengan harga yang wajar, memenuhi standar

keamanan dan keselamatan dan tidak mengganggu lingkungan hidup (Kadir, 1998).

Relai arah untuk proteksi hubung singkat adalah relai arah yang memungkinkan merasakan hanya untuk arah aliran arus tertentu dan relai lainnya menentukan (1) apakah hubungan arus pendek yang menyebabkan arus mengalir, dan (2) jika korsleting dekat umumnya digunakan untuk melengkap relai lainnya. Cukup sehingga relai harus *trip* pemutus sirkuit. Beberapa relai arah menghubungkan arah dengan fungsi pendeteksian kesalahan dan mencari lokasi kemudian, relai arah akan memiliki *pickup* yang dapat disesuaikan dan karakteristik waktu instan atau terbalik. Bahwa relai arah akan selalu beroperasi ketika relai arah memiliki penyesuaian sudut torsi maksimum untuk memungkinkan penggunaannya dengan berbagai koneksi sumber transformator tegangan atau penyesuaian torsi maksimum dari relai arah secara lebih akurat dengan gangguan aktual saat ini (Mason, 1979).

Elemen arah digunakan untuk menentukan arah gangguan, yang mana untuk mengontrol elemen arus lebih, mengawasi elemen jarak untuk meningkatkan keamanan dan memastikan karakteristik jarak (Karl dan Castello, 2010).

Power System Computer Aided Design (PSCAD) sebuah software yang memungkinkan pengguna untuk melakukan pemodelan sistem daya, relai, gangguan dan lain-lain. Pemodelan yang dilakukan dapat disimulasikan sesuai dengan pemodelan yang telah dirancang dari hasil simulasi penggunaan dapat

mengetahui performa relai terhadap gangguan sesuai dengan pemodelan yang akan dibuat (Muller, 2005).

B. Rumusan Masalah

Atas dasar penjelasan di atas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana model sistem daya, gangguan dan relai arah ?
2. Bagaimana performa relai arah terhadap gangguan di depan, gangguan di belakang dan saat kondisi normal?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk memperoleh model sistem daya, gangguan dan relai arah.
2. Untuk mengetahui performa relai arah terhadap gangguan di depan, gangguan di belakang dan saat kondisi normal.

D. Batasan Masalah

1. Sistem yang akan disimulasikan adalah sistem saluran transmisi dengan panjang saluran 130 Km yang terdiri dari dua seksi/bagian 80 km dan 50 km.
2. Resistansi gangguan 1, 10, 20 ohm.
3. Jenis gangguan dua fase A-B, A-C dan tiga fase A-B-C.
4. Relai yang ditinjau hanya relai difase A.
5. Jumlah komponen yang digambarkan dalam satu rangkaian hanya 15 komponen.

E. Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan bagi penulis tentang sistem transmisi penggunaan Software *PSCAD* yang penulis gunakan dalam penelitian ini.
2. Dapat menjadi tambahan wawasan dan pengetahuan bagi rekan-rekan sesama yang lain dan juga bagi yang membacanya.

F. Sistematika Penulisan

Bab Pertama, Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, serta tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan dari laporan hasil penelitian.

Bab Kedua, Bab ini menjelaskan tentang teori-teori pendukung yang berkaitan dengan judul penelitian.

Bab Ketiga, Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram blok dan gambar rangkaian penelitian, serta metode penelitian yang berisi langkah-langkah dalam proses melakukan penelitian.

Bab Keempat, Bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian, alat dan perhitungan serta pembahasan terkait judul penelitian.

Bab Kelima, Bab ini merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan dan saran terkait judul penelitian.

Daftar Pustaka, Berisi tentang daftar sumber referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian.

Lampiran, Berisi tentang dokumentasi hasil penelitian serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

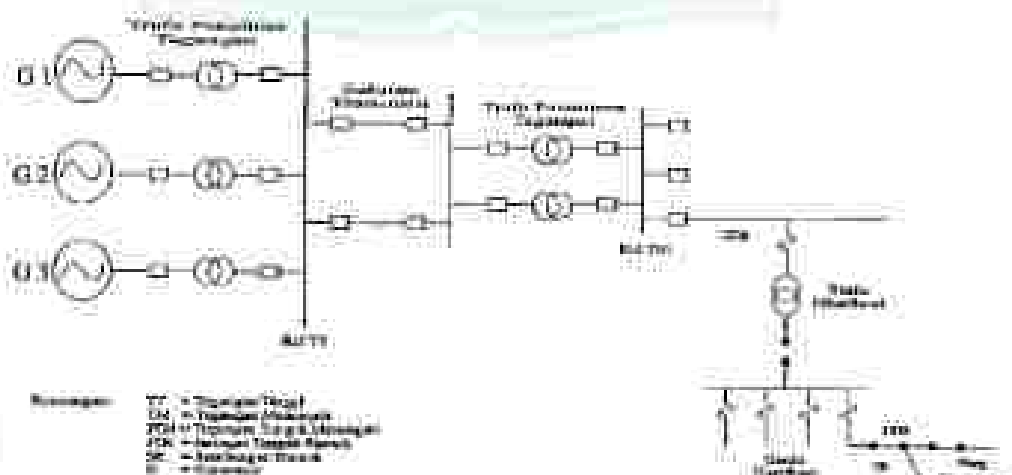


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Menurut Arismunandar dan Kuwahara (1972), sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi dan saluran distribusi. Kadang juga ditemukan bagian yang keempat yaitu bagian subtransmisi. Sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain. Sistem distribusi dimulai dari saluran subtransmisi ke saluran pelayanan konsumen (pusat beban). Gambar 1 berikut memperlihatkan diagram sistem listrik sederhana, terdiri dari tiga generator yang terhubung dengan trafo penaikan tegangan. Daya yang mengalir melalui saluran transmisi diturunkan dulu oleh trafo penurun tegangan sebelum dikirim ke trafo distribusi dan setelah itu baru dialirkan ke pelanggan melalui gardu distribusi.



Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik

Setiap kesalahan dalam satu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus normal disebut gangguan. Sebagian besar gangguan yang terjadi pada saluran transmisi disebabkan oleh petir yang mengakibatkan terjadinya percikan bunga api (*flashover*) pada isolator (Stevenson, 1990).

B. Arus Gangguan Hubung Singkat

1. Pengertian Gangguan

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Salah satu yang menyebabkan kondisi ini adalah gangguan hubung singkat (Yuniaty, 2018).

2. Penyebab Terjadinya Gangguan

Dalam sistem tenaga listrik, bagian yang paling sering terkena gangguan adalah saluran transmisi yang beroperasi pada kondisi udara yang berbeda-beda. Pada sistem transmisi suatu gangguan terjadi disebabkan kesalahan mekanis, *thermal* dan tegangan lebih atau karena material yang cacat atau rusak, misalnya gangguan hubung singkat, gangguan ke tanah dan konduktor yang putus.

Faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tegangan tinggi adalah:

- a. Surja petir
- b. Polusi (debu)
- c. Pohon-pohon yang tumbuh di dekat saluran transmisi
- d. Retak-retak pada isolator

3. Klasifikasi Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung melalui media (resistor/beban) yang tidak semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran 3 fase. Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan, sehingga untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus hubung singkat maka hubungan kelistrikan pada seksi yang terganggu perlu diputuskan dengan peralatan pemutus tenaga atau *Circuit Breaker* (CB). Perhitungan hubung singkat sangat penting untuk menentukan kemampuan pemutus tenaga dan untuk mengkoordinasi pemasangan relai proteksi.

a. Hubung Singkat Satu Fase ke Tanah

Gangguan satu fase ke tanah merupakan jenis gangguan yang sering terjadi. Gangguan ini merupakan 85% dari total gangguan pada transmisi saluran udara. Contoh gangguan satu fase ke tanah adalah gangguan akibat adanya pohon yang menimpah salah satu fase pada saluran transmisi tenaga listrik.

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (1)$$

b. Hubung Singkat Dua Fase

Gangguan dua fase biasanya disebabkan oleh adanya kawat putus dan mengenai fase lain. Pada gangguan ini fase yang terganggu adalah fase b dan fase c. Tetapi pada gangguan dua fase ini tidak terhubung dengan tanah sehingga arus urutan nol bernilai nol.

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

c. Gangguan-Gangguan Tiga Fase

Gangguan tiga fase merupakan gangguan simetris, karena kesimetrisan tegangan dan arus pada saat terjadinya gangguan. Jenis gangguan ini dapat disebabkan oleh kegagalan isolasi pada peralatan atau adanya *flashover* pada saluran yang disebabkan oleh petir atau kesalahan operasi dari petugas. Gangguan ini merupakan jenis gangguan yang paling jarang terjadi namun harus diperhitungkan dalam perencanaan, karena gangguan ini mengakibatkan mengalirnya arus yang sangat tinggi pada peralatan proteksi sehingga harus dapat dideteksi oleh relai.

Sifat arus gangguan ialah transien, artinya arus gangguan akan menuju ke keadaan tetap kuat (*steady state*), tetapi tetap terganggu. Pada gangguan tiga fase, karena kesimetrisannya maka secara teori tidak akan terdapat arus sehingga persamaan arusnya menjadi:

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} \dots \dots \dots (3)$$

4. Akibat yang Ditimbulkan oleh Gangguan Hubung Singkat

Besar dari arus hubung singkat itu tergantung dari sistem, metode hubung netral dari trafo, jarak gangguan dari unit pembangkit, angka pengenal dari alat-alat pengaman.

Akibat-akibat yang dapat ditimbulkan oleh gangguan hubung singkat antara lain:

- a. Pengurangan stabilitas sistem tenaga.
- b. Merusak peralatan karena arus yang besar atau tegangan-tegangan rendah yang ditimbulkan gangguan hubung singkat.
- c. Mengganggu kontinuitas pelayanan daya kepada konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian (sirkuit) atau menyebabkan keluarnya suatu unit pembangkit.
- d. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sehingga menimbulkan kebakaran dan membahayakan orang di sekitarnya.

Pengaruh mana yang akan lebih menonjol dalam suatu kasus tertentu tergantung pada sifat kondisi gangguan dan kondisi kerja sistem daya tersebut.

C. Sistem Proteksi

Sistem proteksi/pengaman suatu tenaga listrik yang membentuk suatu pola pengaman tidaklah hanya relai pengaman saja tetapi juga *Current Transformer* (CT) dan *Voltage Transformer* (VT) yang merupakan perangkat instrumen pada relai pengaman, sumber daya DC merupakan sumber untuk mengoperasikan relai pengaman dan pemutus tenaga (PMT) yang akan menerima perintah akhir dari relai pengaman.

Jadi sistem proteksi/pengaman tenaga listrik adalah satu kesatuan antara CT, VT, Relai, sumber DC, dan PMT. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut akan berakibat sistem tersebut tidak jalan.

Relai proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya. Dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga.

Tugas relai proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya. Dalam beberapa hal relai hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan.

Dari uraian di atas maka relai proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk:

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lainnya yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Untuk mendapatkan daerah pengaman yang cukup baik, dalam sistem tenaga listrik terbagi di dalam suatu daerah pengaman yang cukup dengan pemutusan subsistem seminimala mungkin (Syekriyadin dkk, 2011).

1. Fungsi Sistem Proteksi

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi perubahan parameter sistem, mengevaluasi besar perubahan parameter dan membandingkannya dengan besaran dasar yang telah ditetapkan sebelumnya, serta memberikan perintah kepada peralatan untuk melakukan proses pemutusan guna memisahkan bagian tertentu dari sistem.

Fungsi utama sistem proteksi adalah mencegah bahaya gangguan terhadap manusia, mengurangi segala kerusakan pada peralatan, dengan memutuskan peralatan yang terganggu dari pelayanan atau saat mulai beroperasi pada kondisi yang tidak normal. Jadi, sistem proteksi harus memisahkan bagian yang terganggu dari bagian sistem yang lain, dengan tingkat keandalan yang tinggi dan waktu

pemutusan serta jumlah pemutusan sekecil mungkin. Karena itu pemutusan bagian yang terganggu, pembatasan kerusakan lebih lanjut, dan pencegahan menjalarnya gangguan dalam sistem merupakan fungsi relai proteksi berkaitan dengan peralatan pemutus tenaga (Mitsuo, 1979).

2. Syarat-Syarat Relai Pengaman

Menurut Taqiyuddin, (2006). Syarat-syarat agar peralatan relai pengaman dapat dikatakan bekerja dengan baik dan benar apabila :

a. Cepat Bereaksi

Relai harus cepat bereaksi/bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari relai adalah saat relai mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan *Circuit Breaker* (CB) karena komando dari relai tersebut. Waktu bereaksi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan/kerja abnormal. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan sistem bersifat sementara, maka relai yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (*time delay*), seperti yang ditunjukkan persamaan :

$$T_{op} = t_p + t_{cb} \dots \dots \dots (4)$$

dengan :

t_{op} = total waktu yang dipergunakan untuk memutuskan hubungan

t_p = waktu beraksinya unit relai

t_{CB} = waktu yang dipergunakan untuk pelepasan CB

Pada umumnya untuk t_{op} sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

b. Selektif

selektif adalah kemampuan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, dimana hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan. Untuk mendapatkan kendalian yang tinggi, maka relai pengamanan harus mempunyai kemampuan selektif yang baik.

c. Peleka/Sensitive

Relai harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan didaerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban/*response*.

d. Andal/Reliability

Keandalan relai dihitung dengan jumlah relai bekerja/mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relai dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % - 99 %. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 X dan relai dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 X, maka :

$$\text{keandalan relai} = \frac{23}{25} \times 100 \% = 92 \% \dots\dots\dots (5)$$

Keandalan dapat dibagi 2 :

1. *dependability* : relai harus dapat diandalkan setiap saat
2. *security* : tidak boleh salah kerja/tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

e. Sederhana/Simplicity

Makin sederhana sistem relai semakin baik, mengingat setiap peralatan/komponen relai memungkinkan mengalami kerusakan. Jadi sederhana maksudnya kemungkinan terjadinya kerusakan kecil (tidak sering mengalami kerusakan).

1. Murah/Economy

Relai sebaliknya yang murah, tanpa meninggalkan persyaratan-persyaratan di atas.

3. Daerah Proteksi

Daerah proteksi adalah bagian sistem yang dijaga oleh sistem proteksi yang umumnya berisi satu elemen (maksimum dua) dari sistem. Untuk dapat mengamankan seluruh komponen dan agar sistem pengamanan menjadi selektif, maka sistem tenaga listrik dibagi dalam daerah-daerah pengamanan. Setiap daerah pengamanan pada umumnya terdiri dari satu atau lebih elemen sistem tenaga listrik. Mengingat bahwa seluruh sistem ini harus diamankan, maka tidak ada pilihan lain selain daerah pengamanan ini harus tumpang tindih (*overlap*) (Ram dan Vishwakarma, 1995).

4. Sistem Proteksi Utama dan Cadangan

Sistem proteksi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

a. Proteksi Utama

Proteksi utama merupakan sistem proteksi yang diharapkan segera bekerja ketika terjadi kondisi abnormal atau gangguan pada daerah pengamanannya.

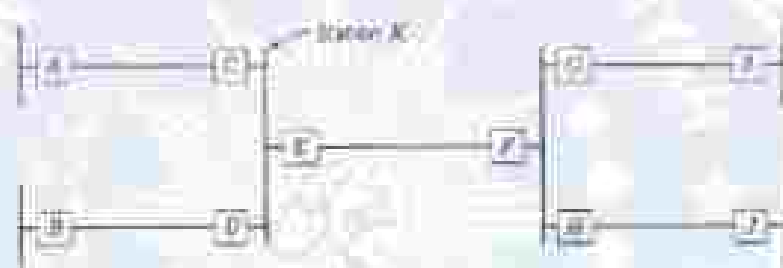
Sistem proteksi utama dapat saja gagal dikarenakan:

1. Peralatan detektor/sensor tidak dapat berfungsi dengan baik
2. Relai proteksi gagal beroperasi

3. CB tidak mau terbuka
4. Kawat-kawat penghubung retak, dll

b. Proteksi Cadangan

Pengaman cadangan diperlukan apabila pengaman utama tidak dapat bekerja atau terjadi gangguan pada sistem pengaman utama itu sendiri.



Gambar 2.2 Ilustrasi Total Perlindungan Cadangan Bagian Saluran Transmisi (Mason, 1979)

Relai cadangan di lokasi A, B dan F memberikan perlindungan cadangan jika terjadi kesalahan Bus di saluran X. Juga, relai cadangan di A dan F menyediakan perlindungan cadangan untuk gangguan di jalur D dan B. Dengan kata lain zona perlindungan relai cadangan meluas dalam satu arah dari lokasi relai cadangan dan setidaknya mencakup tindakan setiap elemen sistem yang berdekatan (Mason, 1979).

5. Komponen Utama Sistem Proteksi

Pada prinsipnya sistem proteksi tenaga listrik terdiri atas beberapa komponen antara lain relai, pemutus daya, sumber penyuplai, transformator arus dan tegangan.

a. Relai

Relai adalah sebuah alat yang menanggapi suatu perubahan dalam rangkaian listrik dengan maksud untuk memberikan perubahan dalam rangkaian listrik itu atau yang lain. Rangkaian yang digerakkan dengan relai itu adalah rangkaian pengendali atau sinyal.

Tugas suatu relai adalah membedakan keadaan di dalam daerah perlingkungannya dengan semua keadaan sistem yang lain. Relai ini harus memberikan daya pada kumparan pemutus (*trip coil*) untuk membuka atau menutup, menyediakan pengaman terhadap pemutuan yang keliru (proses blok) untuk gangguan yang terjadi di luar daerah tersebut. Suatu relai harus mempunyai kemampuan untuk membuat keputusan logis berdasarkan keadaan sinyal masukannya sehingga relai tersebut mampu menghasilkan keluaran yang sinyal masukannya benar untuk setiap kemungkinan keadaan sinyal.

b. Pemutus Daya

Pemutus daya terdiri dari berbagai jenis dan dipasang pada seluruh rangkaian daya untuk membuka dan menutup rangkaian maupun pada saat

gangguan. Pemutus daya harus memiliki nilai nominal sesuai dengan nilai arus dan tegangan nominal saat kondisi berbeban serta kapasitas pemutus daya untuk kondisi gangguan pada tempat yang telah ditentukan dirangkaiannya. Hal ini dimaksudkan untuk mengisolasi suatu gangguan pada elemen sistem daya.

Pemutus daya ini harus memiliki kapasitas yang cukup untuk memiliki arus hubung singkat maksimum sesaat yang dapat mengalir pada pemutus daya dan kemudian memususkannya. Pemutus daya juga harus mampu menahan proses penutupan balik pada saat hubung singkat (*reclosing*) dan kemudian memususkannya menurut standar yang telah ditentukan, (ram dan Vishwakarma, 1995).

c. Transduser (Transformator Tegangan dan Transformator Arus)

Transformator Tegangan (VT) adalah transformator satu fase step-down yang mentransformasi tegangan tinggi atau tegangan menengah ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indicator, alat ukur, relai dan alat sinkronisasi.

Transformator Arus (CT) adalah jenis trafo instrument yang digunakan untuk mengubah arus listrik skala besar ke skala yang lebih kecil. Transformator ini banyak digunakan untuk keperluan pengukuran dan perlindungan.

D. Beberapa Jenis Relai Proteksi Untuk Saluran Transmisi

1. Relai Jarak (*Distance Relay*)

Distance relay merupakan salah satu jenis relai proteksi yang digunakan sebagai pengaman pada saluran transmisi karena kemampuannya dalam menghilangkan gangguan (*fault clearing*) dengan cepat dan penyetelannya yang *relative* mudah.

Prinsip dasar dari relai jarak atau *distance relay* adalah berdasarkan rasio perbandingan tegangan dan arus gangguan yang terukur pada lokasi relai terpasang (*apparent impedance*), untuk menentukan apakah gangguan yang terjadi berada didalam atau diluar zona yang diproteksinya.

2. Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Relai arus lebih juga merupakan perangkat penting sebagai alat proteksi saluran transmisi terhadap gangguan hubung singkat. Dari namanya, relai ini akan bekerja berdasarkan arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat. Apabila terjadi arus lebih akibat hubung singkat karena melebihi *setting* relai maka relai akan memberi perintah trip ke pemutus daya sesuai dengan karakteristik waktunya.

3. Relai Pilot

Relai pilot adalah jenis relai untuk proteksi saluran transmisi, kapanpun dan dimanapun relai pilot digunakan akan memberikan proteksi dengan kecepatan tinggi untuk semua jenis gangguan hubung singkat pada saluran transmisi terganggu. Selama dua bentuk terminal, atau banyak terminal (*multiterminal*), dan seluruh pemutus daya dapat *trip* secara bersamaan, dengan begitu dapat melakukan pemutusan (*trip*) otomatis dengan kecepatan tinggi. Kombinasi pengaliran dan pemutusan otomatis tersebut semestinya membuat sistem transmisi terisi hingga hampir mencapai batas kestabilannya, dengan demikian saluran transmisi dapat menyalurkan tegangan sebaik mungkin untuk dikirimkan.

4. Relai Arah

Relai arah adalah relai yang berfungsi untuk memproteksi saluran udara terhadap gangguan antar fase atau tiga fase dan hanya bekerja pada satu arah saja, karena relai ini dapat membedakan arah arus gangguan, atau relai arah ini juga merupakan relai yang memiliki elemen arah.

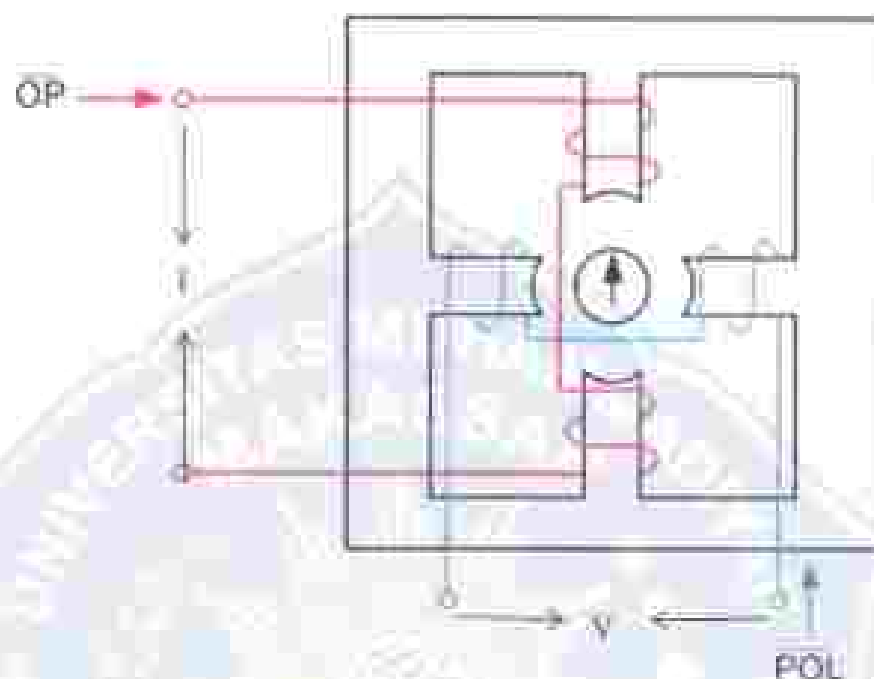
Dua besaran listrik yang dipakai pada relai arah ini adalah besaran tegangan yang berfungsi sebagai patokan untuk sudut fasenya yang tetap dan besaran arus yang berfungsi sebagai besaran kerja karena difasennya tergantung pada lokasi gangguan itu sendiri.

E. Prinsip Kerja Elemen Relai Arah

Elemen arah adalah blok bangunan mendasar dari banyak elemen dan skema perlindungan. Elemen arah terpolarisasi-tegangan memerlukan tegangan dan arus untuk menyatakan kondisi gangguan depan atau belakang. Elemen arah adalah kunci untuk keandalan dan kecepatan skema perlindungan berbasis komunikasi (Armundo dkk., 2019).

1. Relai *Cup* Induksi (*Induction Cup Relay*)

Relai *Cup* induksi elektromekanis pada dasarnya adalah motor dua fase dengan dua lilitan kawat yang dililit disekitar empat kutub elektromagnet seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.2 jumlah polarisasi dan operasi diterapkan secara terpisah pada dua belitan; di bagian tengah adalah inti magnet dengan *Cup* berberak dengan kontak dan pegas untuk memberikan tegangan *reset*. Relai dirancang sedemikian rupa sehingga tidak ada gerakan rotasi atau torsi terjadi ketika fluks magnet dari dua kumparan berada dalam fase. (Karl dan Castello, 2010).



Gambar 2.3 Tipikal Relai Arus Cap Induktif Elektromekanis (Karl dan Castello, 2010)

Torsi yang dibangkitkan oleh nilai arus ini diberikan oleh persamaan:

$$T = (T_{max}(\theta - \tau) - K) \quad (B)$$

dengan

V adalah nilai rms tegangan masukan,

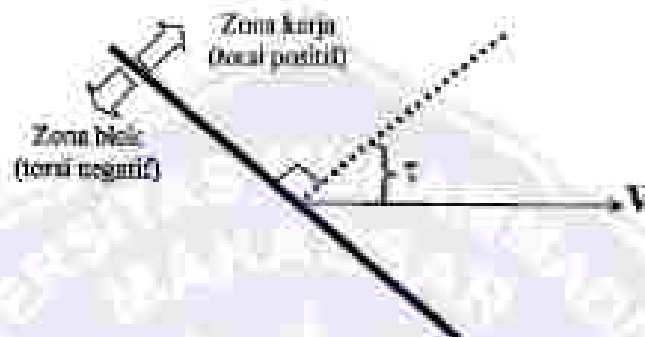
I adalah nilai rms arus masukan,

D adalah konstanta antara I dan V ,

τ adalah sudut torsi maksimum (suatu besaran desimal),

K adalah torsi penahan yang mencakup pegas dan gesekan.

Dibawah ini adalah besaran yang menggambarkan karakteristik polar (Gambar 2.5) relai arah (Wadhwa, 1986).



Gambar 2.4 Karakteristik Polar Relai Arah (Wadhwa, 1986)

Jika vektor arus sedemikian hingga menghasilkan torsi negatif, maka berarti arus masuk ke zona blok yang menandakan gangguan berada "di belakang" relai dan dengan demikian relai "memblok". Sebaliknya, jika vektor arus menghasilkan torsi positif, vektor arus masuk ke zona kerja yang menandakan gangguan berada "di depan" sehingga relai "bekerja".

2. Relai Arah Pembending Fase

Menurut Patharkar (1998) suatu relai arah pada dasarnya membutuhkan piranti (*device*) yang sensitif fase dan memenuhi kriteria (kerja) sudut fase sebagai berikut:

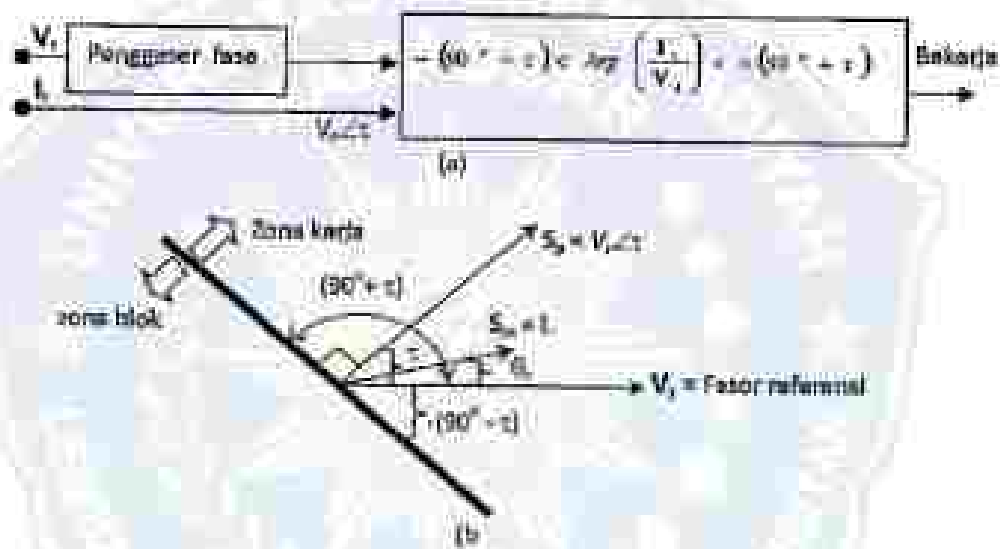
$$-(90^\circ - r) < \text{Arg}\left(\frac{I_r}{V_r}\right) < +(90^\circ + r) \dots \dots \dots (11)$$

Dengan:

V_r adalah tegangan pada lokasi relai;

I_r adalah arus pada lokasi relai;

$\text{Arg}\left(\frac{I_r}{V_r}\right)$ adalah sudut antara I_r dan V_r (θ).

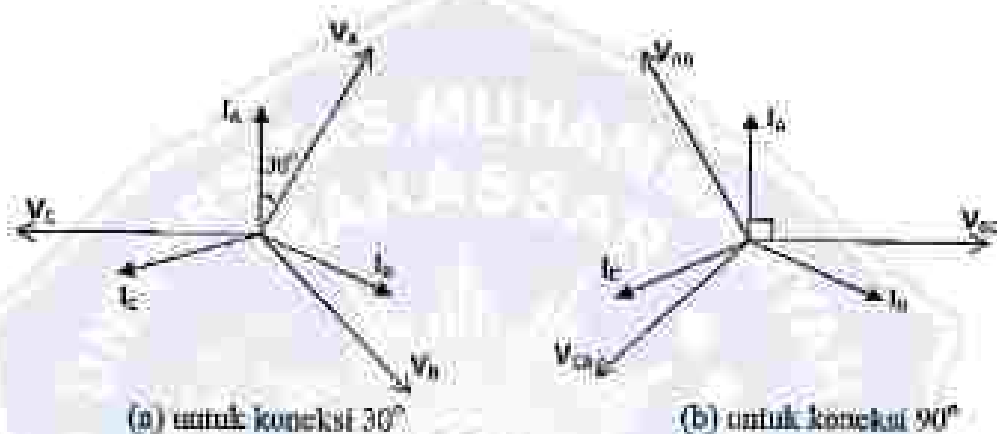


Gambar 2.5 Relai Arah Pembundling Fase (a) Diagram Blok (b) Karakteristik (Paithankar, 1998)

F. Koneksi Relai Arah

Menurut Rao (1992), relai arah elektromagnetik dan statik mempunyai ciri-ciri dan koneksi listrik yang sama. Berdasarkan arus dan tegangan yang akan menjadi masukan bagi relai, ada dua buah metode koneksi yang biasa digunakan yakni koneksi 30° dan 90° . Koneksi 30° menggunakan arus fase-A (I_A) dan tegangan saluran (antar-fase) V_{AC} untuk relai pada fase-A. Arus dan tegangan tersebut diperlihatkan oleh Gambar 2.7 (a). Serupa dengan hal tersebut, relai pada

fase-B menggunakan I_B dan V_{AB} , serta relai pada fase-C dengan I_C dan V_{CA} . Relai ini dirancang untuk menghasilkan torsi maksimum ketika arus sefase dengan tegangannya (α berharga nol derajat).



Gambar 2.6 Diagram Fasa Arus dan Tegangan Untuk Relai Arah
(Ram dan Vishwakarma, 1995)

Koneksi 90° memberikan performa yang lebih baik terhadap hampir semua kondisi. Relai pada fase-A menggunakan masukan I_A dan V_{BC} , relai fase-B menggunakan I_B dan V_{CA} , serta relai fase-C dengan I_C dan V_{AB} , pada koneksi ini. Arus dan tegangan tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.7 (b). Relai ini dirancang untuk membuat torsi maksimum ketika arus mendahului tegangan sebesar 45 derajat (α berharga 45°) dan mempunyai kompensasi internal. Terhadap semua tipe gangguan, dua-fase, satu-fase ke tanah, dua-fase ke tanah, tiga-fase, argumen yang terlihat oleh relai adalah sedemikian hingga torsi relai positif. Koneksi ini memastikan tegangan polarisasi yang cukup, kecuali untuk gangguan tiga-fase

yang sangat dekat (*close-up*) saat tegangan pada semua fase menjadi sangat kecil (Ram dan Vishwakarma, 1995).

G. Perangkat Lunak *PSCAD/EMTDC*

PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) adalah antarmuka pengguna grafis yang kuat dan fleksibel untuk mesin solusi *EMTDC* yang terkenal di dunia. *PSCAD* memungkinkan pengguna untuk membuat skematis sirkuit, menjalankan simulasi, menganalisis hasil dan mengelola data dalam lingkungan grafis yang benar-benar terintegrasi. Fungsi perencanaan online, kontrol dan meter juga disertakan, sehingga pengguna dapat mengubah parameter sistem selama menjalankan simulasi, dan melihat hasilnya secara langsung (Muller, 2005).

PSCAD dilengkapi dengan pustaka model yang telah diprogram dan diuji, mulai dari elemen *passif* sederhana dan fungsi kontrol, hingga model yang lebih kompleks, seperti mesin listrik, perangkat *FACTS*, saluran transmisi dan kabel. Jika model tertentu tidak ada, *PSCAD* menyediakan fleksibilitas pembuatan model khusus, baik dengan merakitnya secara grafis menggunakan model yang ada atau dengan memanfaatkan Editor Desain yang dirancang secara intuitif (Muller, 2005).

H. Studi Tipikal *PSCAD*

Dijelaskan oleh Muller, (2005), pengguna *PSCAD* mencakup insinyur dan ilmuwan dan utilitas, produsen, konsultan, lembaga penelitian dan akademis. Ini

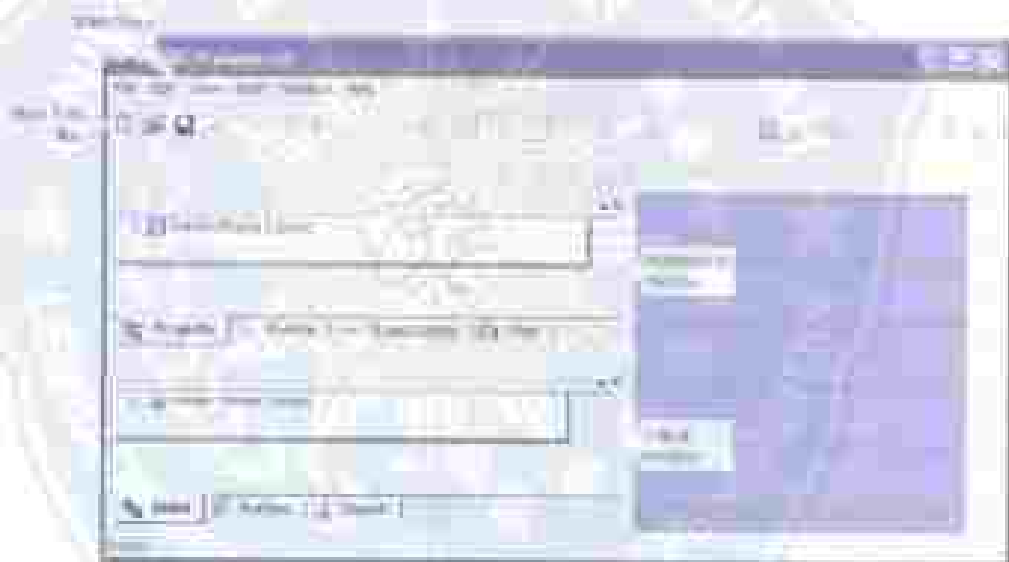
digunakan dalam perencanaan, operasi, desain, komisioning, persiapan spesifikasi tender, pengajaran dan penelitian. Berikut ini adalah contoh dari jenis penelitian yang secara rutin dilakukan menggunakan *PSCAD* :

- a. Studi kontijensi jaringan AC yang terdiri dari mesin berputar, *exciters*, *governor*, turbin, transformator, jalur transmisi, kabel, dan pemutus.
- b. Relai koordinasi.
- c. Efek saturasi trafo.
- d. Koordinasi isolasi transformator, pemutus dan penangkal.
- e. Pengujian impuls transformator.
- f. Studi resonansi sub-sinkron (SSR) jaringan dengan mesin, saluran transmisi, dan sistem *HVDC*.
- g. Evaluasi desain filter dan analisis harmonik.
- h. Kontrol domain sistem dan koordinasi *FACTS* dan *HVDC*, termasuk *STATCOM*, *VSC* dan *cycloconverter*.
- i. Desain parameter pengontrol yang optimal.
- j. Investigasi sirkuit baru dan konsep kontrol.
- k. Sambaran petir, kesalahan atau operasi pemutus arus.
- l. Pembelajaran *Steep front and fast front*.
- m. Investigasi efek pulsing mesin diesel dan turbin angin pada jaringan listrik.

2. Mengenal dan Menjalankan PSCAD

a. Memulai PSCAD

Untuk memulai PSCAD, pergi ke *Start - Program - PSCAD* di Menu Mulai Windows, dan pilih judul PSCAD mana saja yang Ada di dalamnya. Ini akan membuka lingkungan utama PSCAD, seperti yang ditunjukkan di bawah ini (Müller, 2005).



Gambar 2.7 Lingkungan Utama PSCAD (Müller, 2005).

Anda harus melihat daftar item dibagian atas lingkungan (*File, Edit, dll*). Baris-baris ini adalah bagian dari Menu Utama. Tombol-tombol langsung di bawah Menu Utama adalah bagian dari *Toolbar Utama* (Müller, 2005).

1. Title, Menu and Main Tool Bar

Gambar di bawah ini menunjukkan Judul PSCAD V4.2.0 dan Bilah Menu



Gambar 2.8 *Title, Menu and Main Tool Bar PSCAD* (Muller, 2005).

2. *Title Bar and Active Project*

Bagian paling atas dari jendela yang menampilkan *PSCAD (Edition)* disebut Bilah Judul. Bat Judul juga akan mencakup halaman Proyek yang saat ini sedang dilihat di Editor Desain, setelah Proyek dibuka (Muller, 2005).

3. *Menu Bar and Menu Item*

Area di bawah *Title bar* yang terdiri dari item menu dan tombol Menu, disebut Menu Utama. Semua item menu utama adalah Menu *drop-down*, jadi ketika klik kiri dengan penunjuk mouse di atas salah satu menu ini akan melihat daftar yang muncul di bawahnya (Muller, 2005).

Untuk memilih item dari daftar ini, pertama-tama pindahkan penunjuk ke item itu (item menjadi terangkat) lalu klik tombol kiri mouse. Menu berikut menunjukkan cara membuat proyek menggunakan Menu *File* dari bilah Menu Utama (Muller, 2005).



Gambar 2.9 Menu *File* dari Bilah Menu Utama PSCAD (Muller, 2005).

4. *Toolbar Buttons*

Dengan simbol langsung diarahkan bilah Menu Utama terdiri dari bilah Alat Utama.



Gambar 2.10 *Toolbar Buttons* PSCAD (Muller, 2005).

Sementara itu, menu adalah proses dan tahap, *toolbar* menawarkan alternatif lain-lain. Simbol bilah alat Utama memulai tindakan, setelah itu mengkliknya dan karena ini akan lebih mudah digunakan. Untuk alasan ini, operasi yang paling sering digunakan memiliki simbol *toolbar* yang sama (Muller, 2005).

5. *Workspace and Output Window*

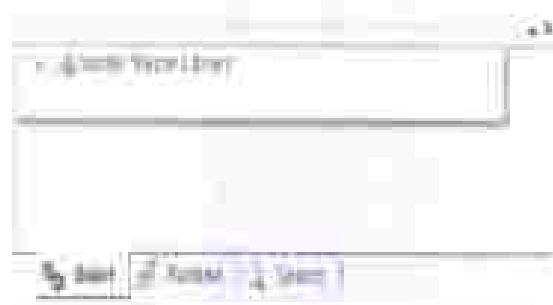
Jika melihat sudut kiri atas lingkungan *PSCAD*, anda akan melihat jendela yang lebih kecil yang disebut sebagai jendela Ruang Kerja. Jika tidak terlihat, buka bilah menu utama dan klik *View – Workspace* (Muller, 2005).



Gambar 2.11 Jendela Ruang Kerja *PSCAD* (Muller, 2005).

Ruang Kerja memberi pandangan menyeluruh tentang pustaka dan status proyek kinas apapun yang dimuat. Untuk memilih komponen dan melakukan banyak kegiatan lainnya (Muller, 2005).

Tepat di bawah jendela *Workspace* atau Ruang Kerja, akan melihat jendela lain yang disebut sebagai jendela *Output*. Jika jendela *Output* tidak terlihat, klik pada *View – Output* (Muller, 2005).

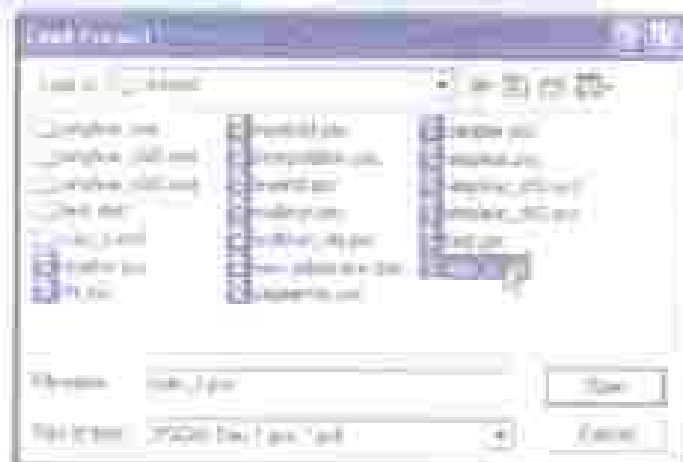


Gambar 2.12 Jendela Keluaran/*Output* *PSCAD* (Muller, 2005).

Semua status, peringatan dan pesan kesalahan yang terlibat dalam prosedur *Build* dan *Run-time* akan dicatat dalam jendela ini, jadi merupakan ide yang baik untuk menjaga jendela ini tetap terbuka dan terlihat setiap saat (Muller, 2005).

b. Loading a Case Project

Kami akan mulai dengan contoh kasus yang paling sederhana untuk tutorial ini. Latihan ini akan membantu kami memastikan bahwa *PSCAD* dan *komputer Survei* yang digunakan dipasang dengan benar. Untuk memulai Proyek Kasus yang ada, klik pada *File* dari Bilah Menu Utama dan pilih *Muat Proyek*. Juga dapat menekan *Ctrl+O* atau klik simbol *Muat* di Bilah Alat Utama atau *Main Tool Bar*. Akan terlihat dialog *Load Project* muncul di layar. Secara default, jenis file yang dipilih adalah *File PSCAD (*.psc, *.pjt)* sebagai bernali dialog. Dengan jenis file yang dipilih, hanya akan melihat file Proyek (*PSCAD*) yang memiliki ekstensi dan direktori **.psc* atau **.pjt*. Ekstensi file terdapat untuk *PSCAD* case atau pustaka *PSCAD* (Muller, 2005).



Gambar 2.13 Memuat Proyek *PSCAD* (Muller, 2005).

Arahkan direktori "tutorial" di dalam direktori instalasi *PSCAD* (yaitu: Program Files\PSCAD4\examples\tutorial). Klik pada file "vdr_1.psc" dan kemudian klik tombol *Open* untuk memuat Proyek Kasus ini ke *PSCAD* (Muller, 2005).

Jendela Ruang Kerja sekarang akan menampilkan proyek kedua yang berjudul 'sdry_1(PembagiTegangan-Fitas Tunggal)/Masing' (di bawah Daftar Perpustakaan Utama). Klik dua kali pada Judul Proyek (atau klik kanan dan pilih Buka) di jendela Workspace untuk membuka dan melihat halaman utama Proyek di jendela Script Editor (Desain (Müller, 2005)).



Gambar 2.14 Membuka Proyek PSCAD (Muller, 2005).

Untuk melihat sirkuit pembagi tegangan yang dirakit seperti diunjukkan di bawah ini, yang terletak di sudut kiri atas halaman utama proyek yang baru saja dibuka. Petak terletak langsung di sebelah kanan sirkuit (Muller, 2005).



Gambar 2.15 Contoh Sederhana Rangkaian yang Dibuat dalam PSCAD (Muller, 2005).

Sekarang kita terdiri dari sumber tegangan resistif fase tunggal yang terhubung ke beban resistif. Karena besarnya resistansi sumber (1Ω) dan resistansi beban sama, tegangan (Muller, 2005).

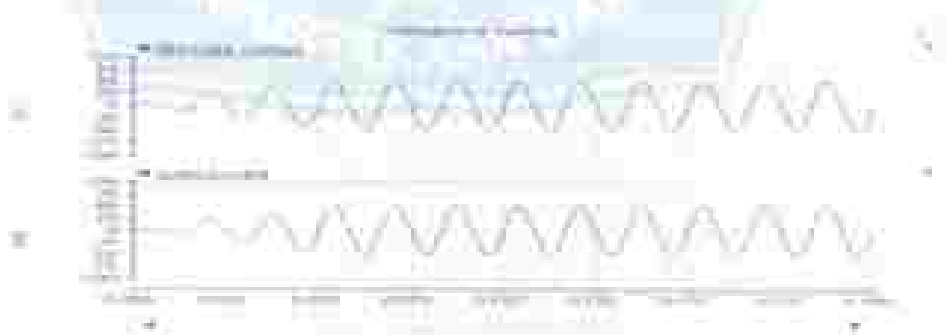
7. *Running and Simulation*

Sebelum kita menjalankan simulasi, kita akan melakukan perhitungan sederhana untuk mencari tahu apa beban tegangan arus dan titik tengah yang harus kita hapkan. Klik dua kali pada komponen sumber untuk membuka dan melihat propertinya - perhatikan bahwa besarnya tegangan sumber adalah 70,71 kV RMS (atau 100 kV peak). Tutup dialog ini dengan mengklik simbol Batal di bagian bawah dialog dan klik kiri di mana saja dalam ruang kosong pada toolbar, untuk menambahkan pilihan komponen sumber yang dipilih ini akan menghentikan komponen dari berkedip. Untuk tegangan sumber 100 kV, kita tahu bahwa tegangan titik tengah kemudian harus menjadi 50 kV puncak, dan arus beban harus 50 kA puncak. Sekarang mari kita jalankan simulasi dan benar-benar memverifikasi bentuk gelombang arus dan tegangan (Muller, 2005).

Untuk menjalankan kasus, cukup klik tombol Jalankan di *Adm Tool Bar*. Ketika tombol ini ditekan, *PSCAD* akan melalui beberapa tahap pemrosesan sirkuit sebelum memulai simulasi *EMTDC*. Akan melihat pesan di bilah status di bagian bawah jendela *PSCAD*, terkait dengan berbagai tahapan proses. Tergantung pada seberapa cepat komputer (Muller, 2005).

Amati grafik saat simulasi berlangsung. Jika melihat di dekat sudut kanan bawah Langkungan *PSCAD*, akan melihat pesan '%s selesai' di ruang '%s' mewakili persentase total panjang simulasi. Di sebelah kanannya juga akan melihat waktu simulasi saat ini, yang berubah dengan simulasi. Sekali lagi, tergantung pada kecepatan komputer, simulasi dapat selesai hampir seketika (Muller, 2005).

Kasus tutorial ini dibuat untuk dijalankan selama 0.2 detik. Di akhir proses, akan melihat pesan '*EMTDC run completed*' di bilah status. Plot harus terlihat mirip dengan yang berikut – tergantung pada pengaturan plot.



Gambar 2.16 Plot Hasil Simulasi *PSCAD* (Muller, 2005).

Ini harus memunculkan dialog *Print* atau *Print Preview Viewer*. Isi dialog *Print* tergantung pada apa yang Anda cetak - klik tombol *OK* untuk melanjutkan. *Print Preview Page* memungkinkan untuk melihat halaman sebelum mencetak (Muller, 2005).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen menggunakan aplikasi *PSCAD/EMTDC* dengan membuat rangkaian sistem tenaga listrik, kemudian menerapkan model Sistem Daya, gangguan dan relai Arak pada sistem tenaga listrik tersebut dan menjalankan simulasinya untuk menganalisis data dari Sistem Daya, Gangguan dan Relai Arak pada sistem tenaga listrik tersebut.

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Juli s/d Desember 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
Jalan Sultan Alauddin No. 259 Makassar.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Laptop Aspire E1-410 dengan spesifikasi:

Prosesor	:	Intel® Celeron® N2820
Prosesor Grafik	:	Intel® HD Graphics
Memori RAM	:	2 GB DDR3
Memori Harddisk	:	320 GB

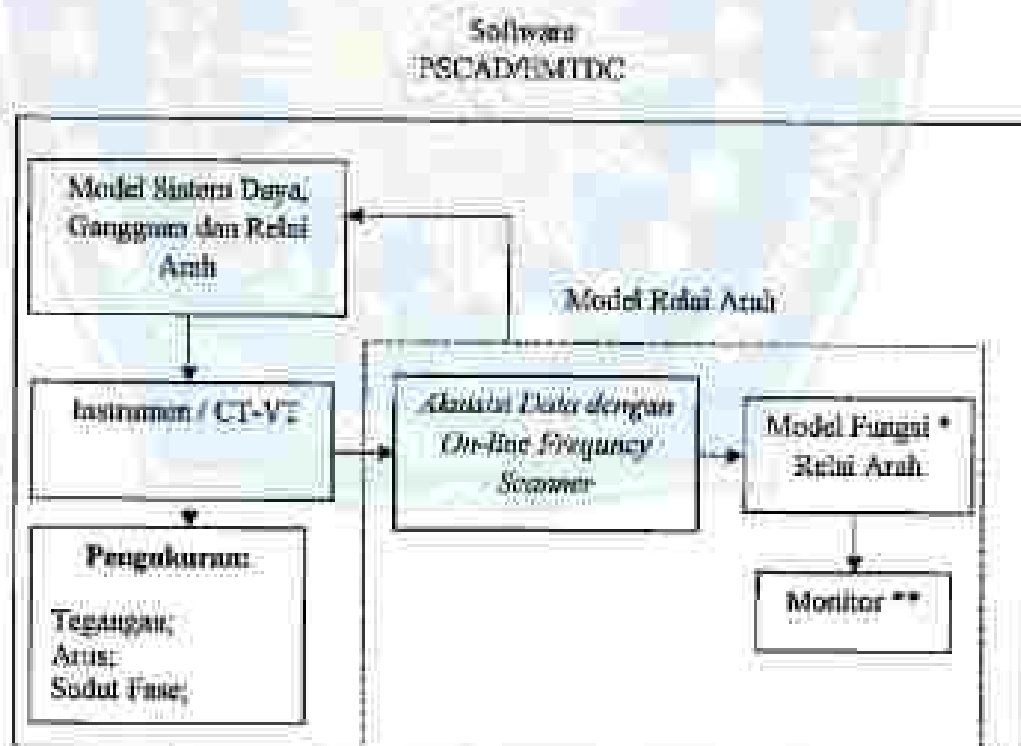
Sistem Operasi : Windows 10

Software : PSCD version student V4.2

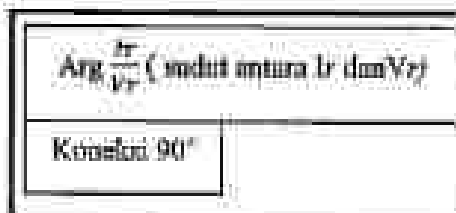
2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buku serta jurnal yang terlampir pada daftar pustaka.

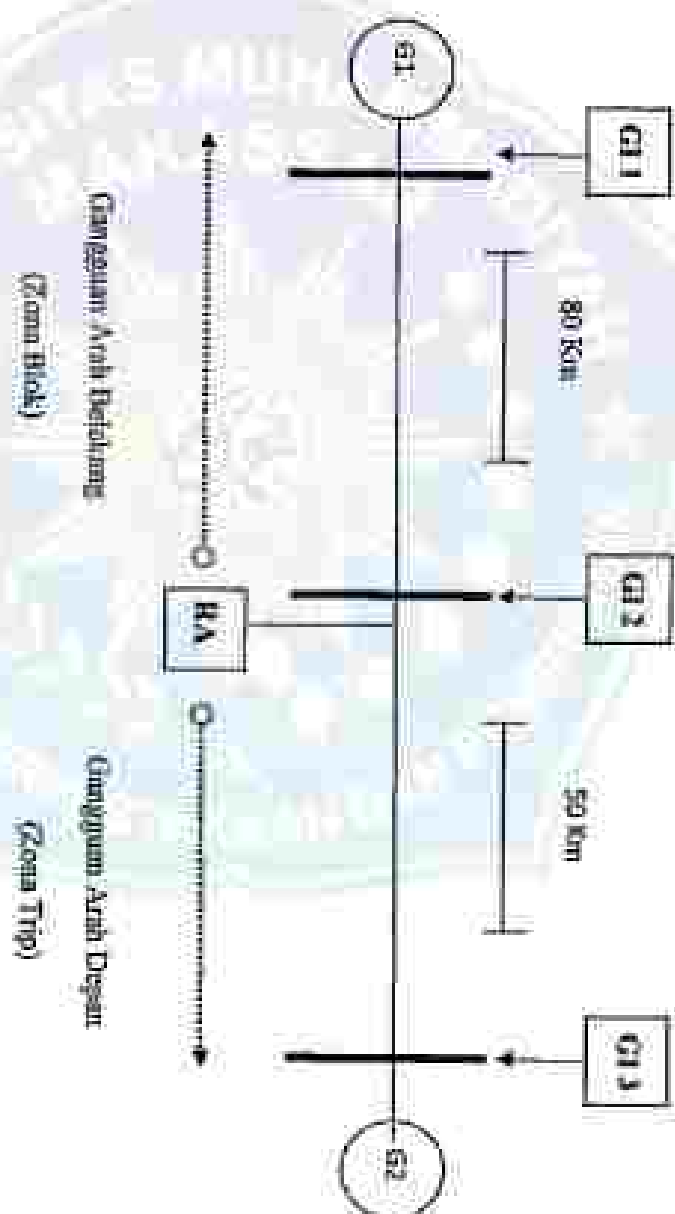
C. Skema Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Balok Skema Penelitian



D. Data Penelitian



Gambar 3.2 Skema penelitian

E. Langkah Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini di tunjukkan pada bagan alir berikut.



Gambar 3.3 Bagan alir proses penelitian

F. Jadwal Penelitian

Tabel 3.1. Jadwal penelitian 2019

No	Kegiatan	Bulan					
		Juli	Agst	Sept	Okt	Nov	Des
1	Mengidentifikasi masalah	■					
2	Studi pustaka	■	■				
3	Pemodelan sistem daya, gangguan dan relai arah			■			
4	Uji coba rangkaian simulasi PS-AD				■		
5	Analisa data hasil pengujian					■	
6	Pembuatan laporan					■	■

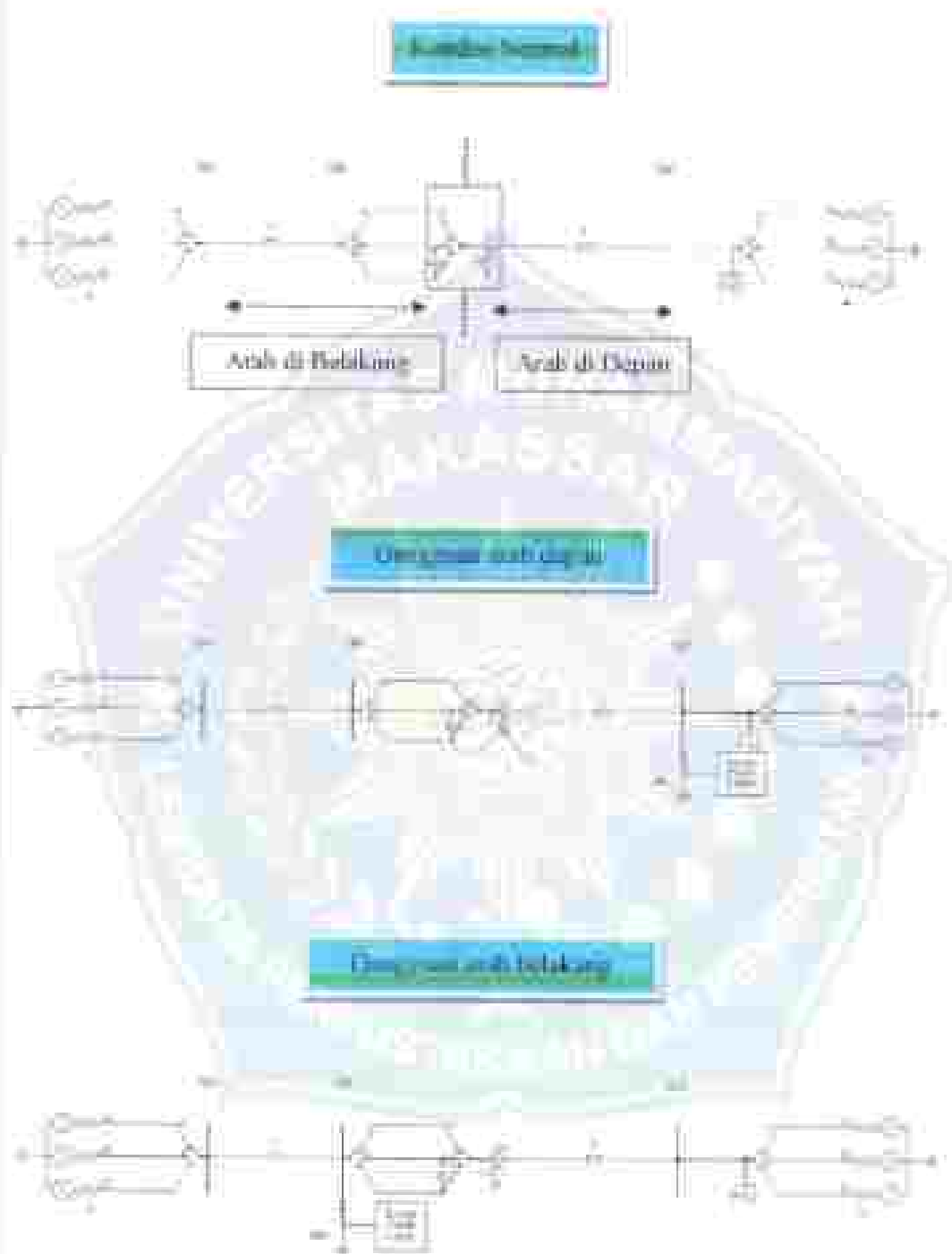
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Sistem Daya, Rangkaian Elemen Relai Arah (*Directional Relay*), Sistem Kondisi Normal dan Gangguan Menggunakan Software *PSCAD*

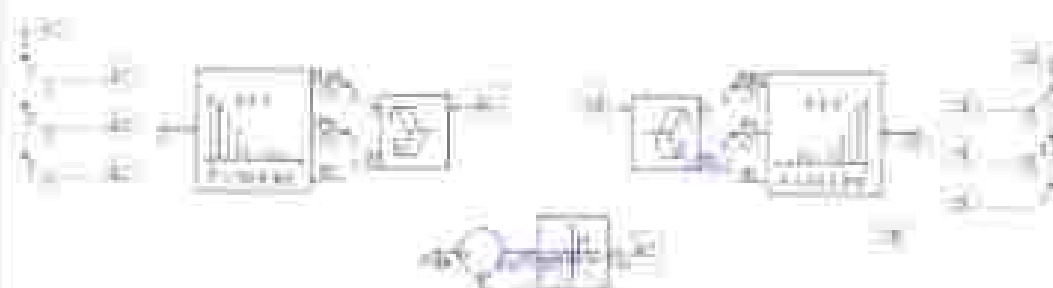
Dalam penelitian ini akan menganalisa bagaimana performansi elemen relai arah terhadap gangguan di depan dan di belakang relai pada saluran transmisi secara tepat berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh dari simulasi *PSCAD*.

Sistem tenaga listrik yang akan disimulasikan adalah sistem tenaga listrik terdiri dari satu sumber ekuivalen 230 kV, 3 fase, 50 Hz, dengan beban reaktif sebesar 100 MVAR dengan menggunakan perangkat lunak *PSCAD V 4.2.0 Student Version*.

Simulasi yang akan dilakukan adalah pada saat kondisi normal, pada saat terjadi gangguan arah depan (*trip*) dan pada saat terjadi gangguan arah belakang (*blok*). Setiap simulasi dilakukan selama 0,5 detik. Berikut Gambar rangkaian yang digunakan di bawah ini yaitu, (a) Gambar kondisi normal, (b) Gambar gangguan arah depan dan (c) Gambar gangguan arah belakang.



Gambar 4.1 Rangkaian Simulasi PSCAD V 4.2.0 Student Version (a) Kondisi Normal, (b) Gangguan Arab Depan dan (c) Gangguan Arab Belakang



Gambar 4.2 Model Elemen Relai Arah

Model elemen relai arah yang terdiri dari beberapa komponen yaitu Data Signal Label, On-line Frequency Scanner (OFT), Voltage Detector dan Output Channel yang untuk menampilkan hasil pengukuran besaran arus atau tegangan (V). Adapun Data Signal Label, Differencing Junctions, Range Comparator dan Output Channel untuk menentukan keluaran logika relai arah yaitu 1.0 (trip) atau 0.0 (lock).



Gambar 4.3 Monitor Keluaran Elemen Relai Arah

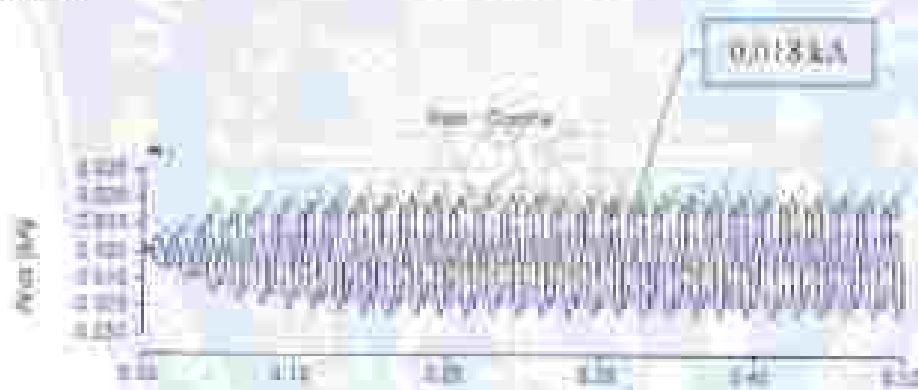
Gambar 4.3 Monitor Faktor arus dan tegangan serta sektion relai arah terdapat gangguan trip (1.0) atau blok (0.0).

B. Hasil Simulasi

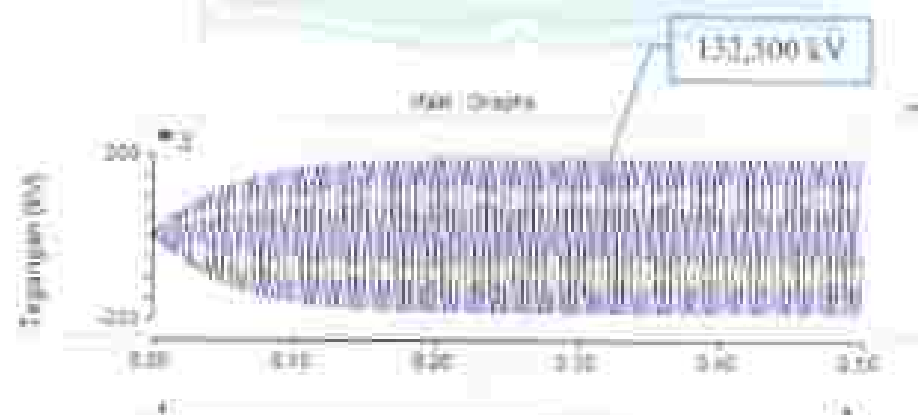
1. Simulasi Kondisi Normal

Simulasi kondisi normal adalah simulasi kondisi sistem yang inam tidak terjadi gangguan. Hasil simulasi berupa gelombang keluaran *PSCAD*, nilai yang diperoleh merupakan nilai maksimum pada keadaan *steady state* (stabil) dan gelombang keluaran generator.

Bentuk gelombang dari hasil simulasi kondisi normal dapat dilihat di bawah ini

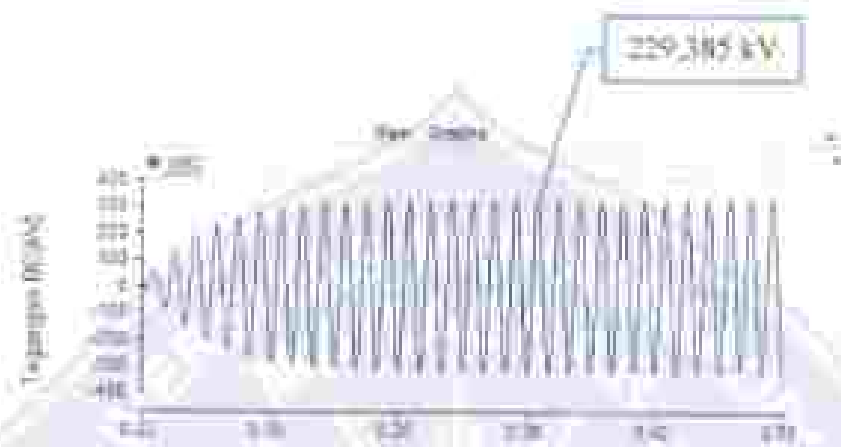


Gambar 4.4 Monitor Gelombang Arus di Titik Relai Arah Kenduan Normal



Gambar 4.5 Monitor Gelombang Tegangan di Titik Relai Arah Kenduan Normal

Bentuk gelombang tegangan dan arus kondisi normal keluaran *PSCAD* pada Gambar 4.4 dan 4.5 tidak terjadi keracunan arus dan jantih tegangan.



Gambar 4.6 Monitor Tegangan Fase BC

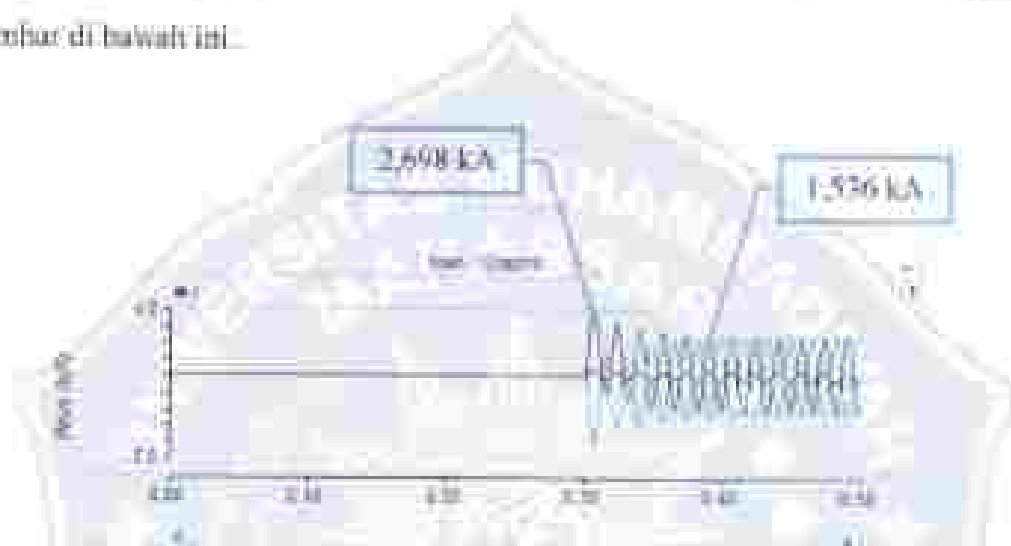
Gambar 4.6 ditunjukkannya tegangan Fase BC dikarenakan sesuai karakteristik dan kondisi elemen relai arak merupakan input untuk komponen *Online Protection Scheme (OPT)*. Dengan *OPT* dapat menghasilkan nilai *amplitude* dan sudut fase pada sistem tersebut.

2. Simulasi Gangguan Arak Depan

Gangguan arak depan adalah gangguan pada saluran transmisi pada saat awal, berlangsung yang difindungi (*trip*) oleh relai arak. Nilai yang diperoleh merupakan nilai maksimum pada saat keadaan *steady state* (normal) dari gelombang keluaran generator. Gangguan divariasikan dengan tiga resistansi gangguan (R_g) dari 1, 10 dan 20 Ω .

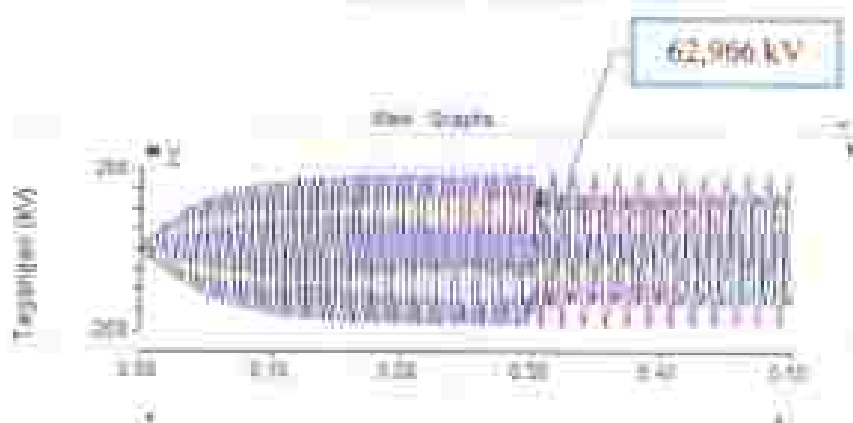
a. Gangguan Dua-Fase (AB)

Gangguan dengan resistansi (R_g) 1 Ohm pada sistem terjadi di waktu 0.3 detik dan durasi gangguan 0.2 detik. Keluarannya dari PSCAD diperlihatkan pada Gambar di bawah ini.



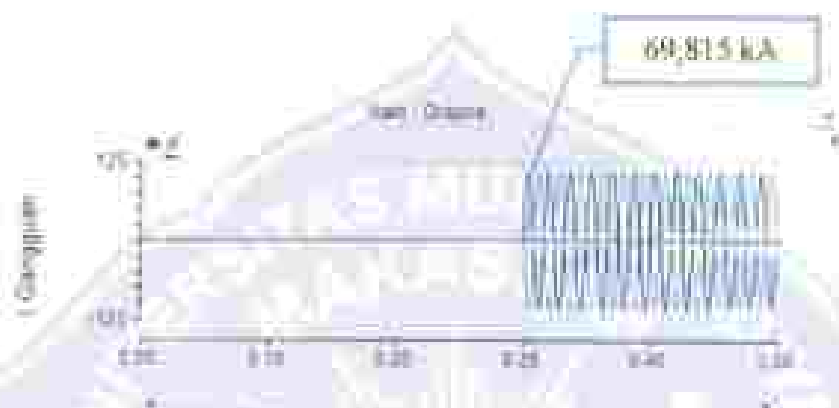
Gambar 4.7 Monitor Arus di Titik Relai Arah

Hasil simulasi keluaran sinyal arus dapat dilihat pada Gambar 4.7. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak/transien yang terjadi bernilai sekitar 2,698 kA, nilai arus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 1,536 kA.



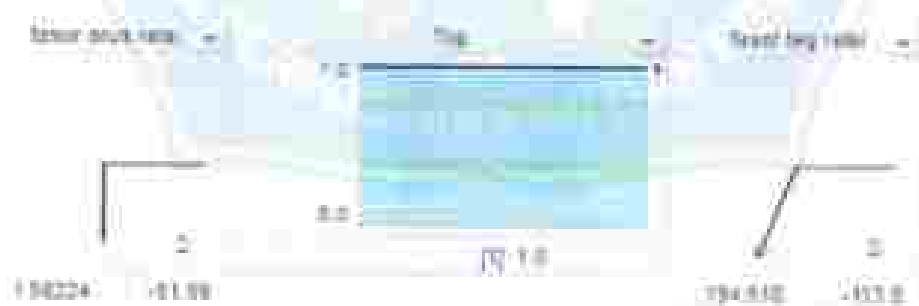
Gambar 4.8 Monitor Tegangan di Titik Relai Arah

Selanjutnya hasil simulasi kelamban gelombang tegangan yang terlihat pada Gambar 4.8 nilai maksimum sekitar 62,966 kV. Nilai tersebut menunjukkan terjadi jatuh tegangan.



Gambar 4.9 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AB)

Hasil simulasi kelamban gelombang sinyal arus di titik gangguan dua-fase (AB) pada relai dapat dilihat pada Gambar 4.9, dari hasil simulasi terlihat kemunculan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Kemunculan arus (fase-A) yang terjadi adalah bernilai 69,815 kA.



Gambar 4.10 Monitor Keluaran Logika Relai Arah

Gambar 4.10 merupakan monitor keluaran relai arah serta, respon relai arah terhadap gangguan dari hasil simulasi kondisi gangguan di depan relai arah

dengan resistansi gangguan $R = 1$ Ohm sehingga menghasilkan keluaran logika relai arah (1.0) sehingga menghasilkan CB trip.

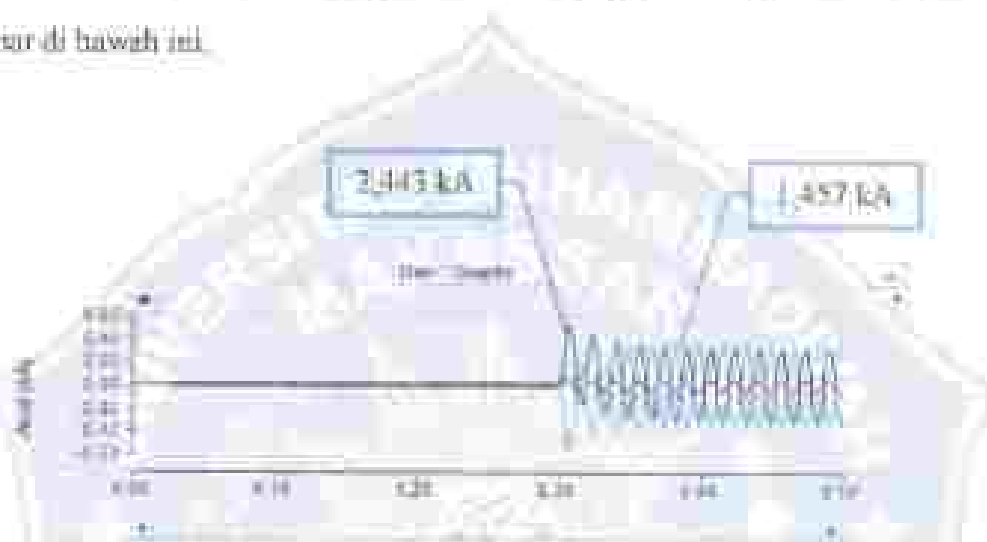
4.1 Tabel performa relai arah terhadap gangguan dua-fase (AB) di depan relai arah

	R	Sudut I	Sudut V	Sudut Argumen	Indicator Relai	Arah Persepsi Relai
	(Ω)					
1	1	-91.99	-113.8	21.79°	Trip (1.0)	Di Depan
2	10	-92.44	-122.8	30.38°	Trip (1.0)	Di Depan
3	20	-93.45	-124.1	30.67°	Trip (1.0)	Di Depan

Dari tabel 4.1 memperlihatkan performa relai terhadap gangguan dua-fase (AB) di depan relai arah. Pada saat terjadi gangguan dua-fase (AB) menghasilkan nilai sudut arus -91.99 kA dan nilai sudut tegangan -113.8 kV, maka dari hasil pengurangan antara nilai sudut arus dan sudut tegangan menghasilkan nilai sudut argument 21.79° sehingga *indicator* bernilai (1.0) atau *trip* yang menandakan bahwa gangguan berada di depan relai arah. Adapun untuk pengukuran ketiga resistansi gangguan yakni $R = 1, 10$ dan 20 Ohm masing-masing *indicator* relai arah bernilai (1.0) atau merespon *trip*.

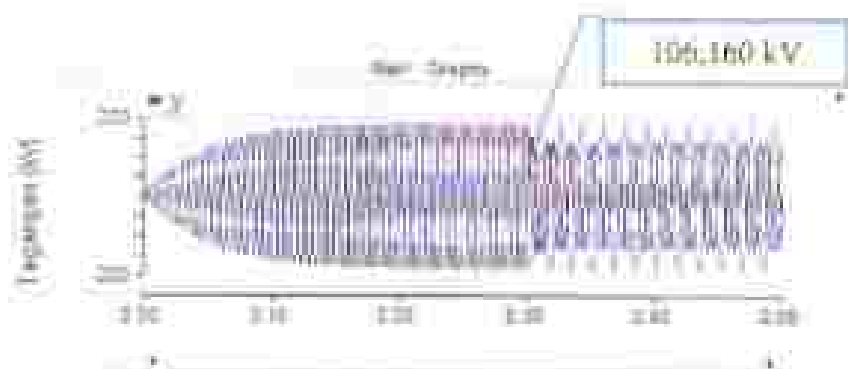
A. Gangguan Dns-Fase (AC)

Gangguan dengan resistansi (R_f) 1 Ohm pada sistem terjadi di waktu 0,3 detik dan durasi gangguan 0,2 detik. Keluaran dari PSCAD diperlihatkan pada Gambar di bawah ini.



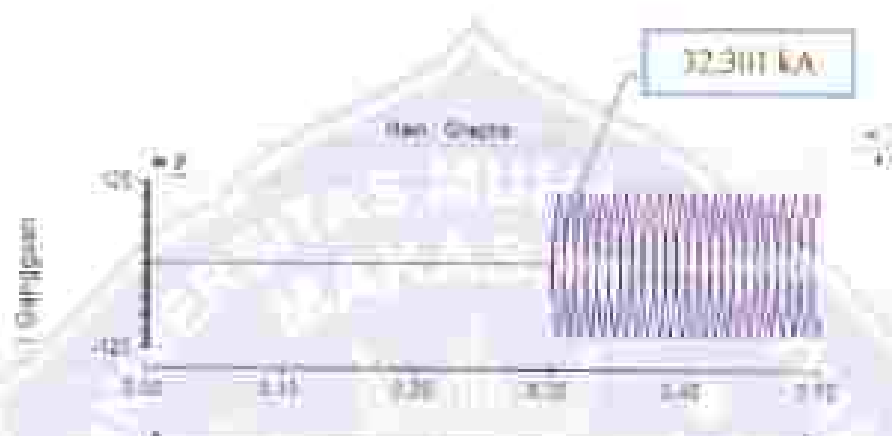
Gambar 4.11 Monitor Arus di Titik Relai Arab

Hasil simulasi keluaran gelombang arus dapat dilihat pada Gambar 4.11 dari hasil simulasi terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan. Awal kenaikan arus (I_{acc-A}) yang terjadi adalah nilai puncak transient yang terjadi bernilai sekitar 3,443 kA, nilai arus maksimum pada keadaan steady state sekitar 1,457 kA.



Gambar 4.12 Monitor Tegangan di Titik Relai

Sedangkan hasil simulasi keaman gelombang tegangan yang terlihat pada Gambar 4.12 sekitar 106,160 kV. Nilai tersebut menunjukkan terjadi jatuhan tegangan.



Gambar 4.13 Monit Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC)

Hasil simulasi keaman gelombang sinyal di titik gangguan dua-fase (AC) pada relai arah dapat dilihat pada Gambar 4.13; dari hasil simulasi terlihat kemutihan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Kemutihan arus (fase-A) yang terjadi adalah bernilai 22,301 kA.



Gambar 4.14 Monitor Keluaran Logika Relai Arah

Gambar 4.14 merupakan monitor hasil relai arah serta, respon relai arah terhadap gangguan dari hasil simulasi kondisi gangguan di depan relai arah

dengan resistansi gangguan $R = 1$ ohm sehingga menghasilkan keluaran logika relai arah 1.0 sehingga menghasilkan CB trip.

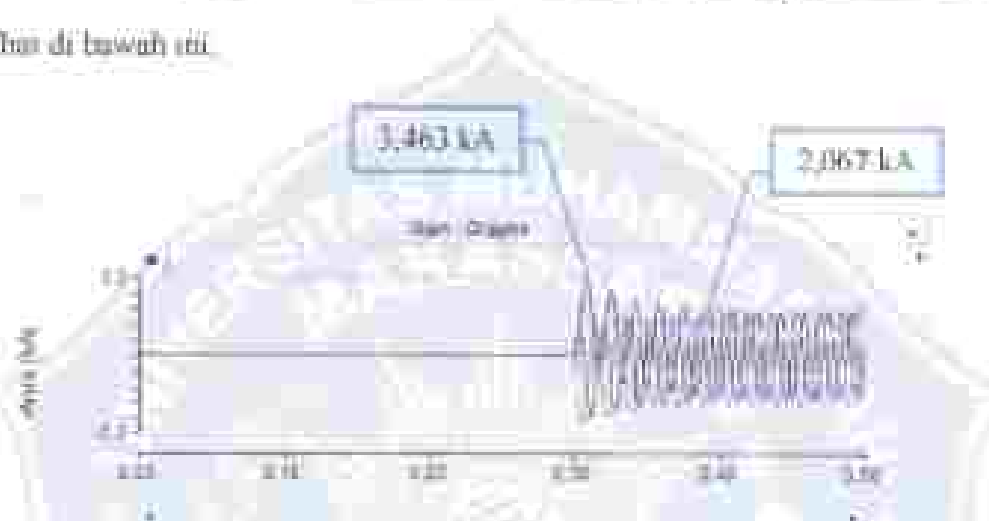
4.2 Tabel performa relai arah terhadap gangguan dua-fase (AC) di depan relai arah

	R	Sudut I	Sudut V	Sudut Argumen	Indicator Relai	Arah Persepsi Relai
	(Ω)					
1	1	-155.7	-138.3	-17.43°	Trip (1.0)	Di Depan
2	10	-154.6	-128.9	-26.03°	Trip (1.0)	Di Depan
3	20	-154	-127.2	-26.80°	Trip (1.0)	Di Depan

Dari tabel 4.2 memperlihatkan performa relai terhadap gangguan dua-fase (AC) didepan relai arah. Pada saat terjadi gangguan dua-fase (AC) menghasilkan nilai sudut arus -155.7 kA dan nilai sudut tegangan 138.3 kV, maka dari hasil pengurangan antara nilai sudut arus dan sudut tegangan menghasilkan nilai sudut argument 17.43° sehingga *indicator* bernilai (1.0) atau *trip* yang menandakan bahwa gangguan berada di depan relai arah. Adapun untuk pengukuran ketiga resistansi gangguan yakni $R = 1, 10$ dan 20 Ohm masing-masing *indicator* relai arah bernilai (1.0) atau merespon *trip*.

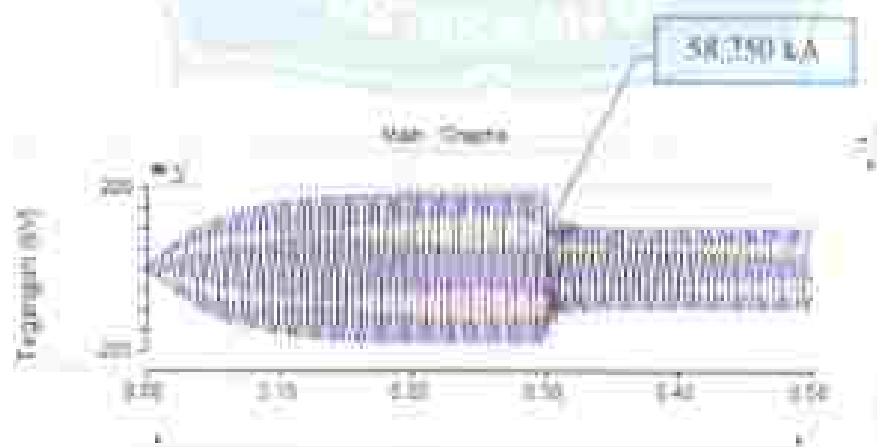
e. Gangguan Tiga-Fase (ABC)

Gangguan dengan resistansi (R_g) 1 Ohm pada sistem terjadi di waktu 0.3 detik dan durasi gangguan 0.2 detik. Kecepatan dari *PSCAD* diperlihatkan pada Gambar di bawah ini.



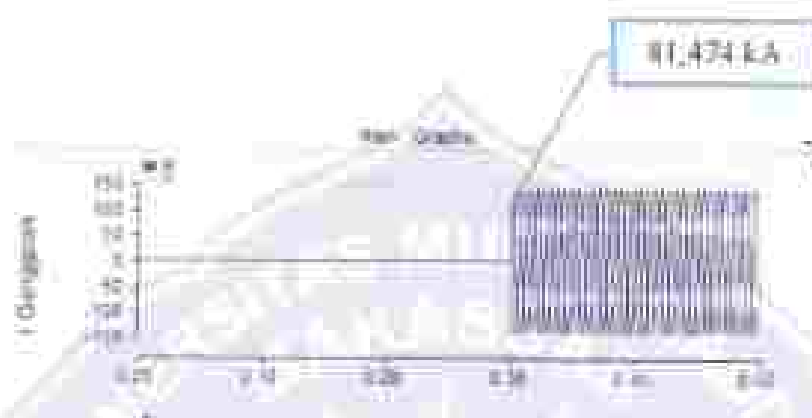
Gambar 4.15 Monitor Arus di Titik Relai Arus

Hasil simulasi keluaran gelombang arus dapat dilihat pada Gambar 4.15. Awal kenaikan arus (I_{acc-A}) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar 3,463 kA, nilai arus maksimum pada keadaan steady-state sekitar 2,067 kA.



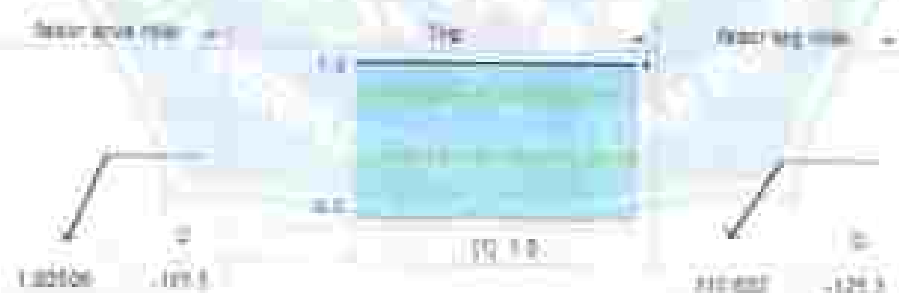
Gambar 4.16 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus

Sedangkan hasil simulasi keluaran gelombang tegangan yang terlihat pada Gambar 4.16 sekitar 58,250 kV. Nilai tersebut menunjukkan terjadi jatuh tegangan.



Gambar 4.17 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (ABC)

Hasil simulasi keluaran gelombang sinyal di titik gangguan tiga-fase (ABC) pada relai arah dapat dilihat pada Gambar 4.17, dari hasil simulasi terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk ketiga fase yang terpengaruh. Kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah bernilai 81,474 kA.



Gambar 4.18 Monitor Keluaran Logika Relai Arah

Gambar 4.18 menunjukkan diagram fasor arus dan tegangan relai arah, serta keluaran logika relai arah saat gangguan tiga-fase (ABC) dengan resistansi gangguan $R = 1 \text{ Ohm}$ menunjukkan $isolation = 1.0$ yang menunjukkan bahwa tiga-fase (ABC) rgt.

4.3 Tabel performa relai arah terhadap gangguan tiga-fase (ABC) di depan relai arah

	R	Sudut (Ω)	Sudut I	Sudut V	Sudut Argumen	Indikator Relai	Arah Persepsi Relai
1	1	-115.5	-125.3		9.78°	Trip (1.0)	Di Depan
2	10	-115.2	-125.7		10.45°	Trip (1.0)	Di Depan
3	20	-155.5	-125.7		10.15°	Trip (1.0)	Di Depan

Dari tabel 4.3 memperlihatkan performa relai terhadap gangguan tiga-fase (ABC) di depan relai arah. Pada saat terjadi gangguan tiga fase (ABC) menghasilkan nilai sudut arus -115.5 kA dan nilai sudut tegangan -125.3 kV, maka dari hasil pengurangan antara nilai sudut arus dan sudut tegangan menghasilkan nilai sudut argument 9.78° sehingga *indicator* bernilai (1.0) atau *trip* yang menandakan bahwa gangguan berada di depan relai arah. Adapun untuk pengukuran ketiga resistansi gangguan yakni $R = 1, 10$ dan 20 Ohm masing-masing *indicator* relai arah bernilai (1.0) atau merespon *trip*.

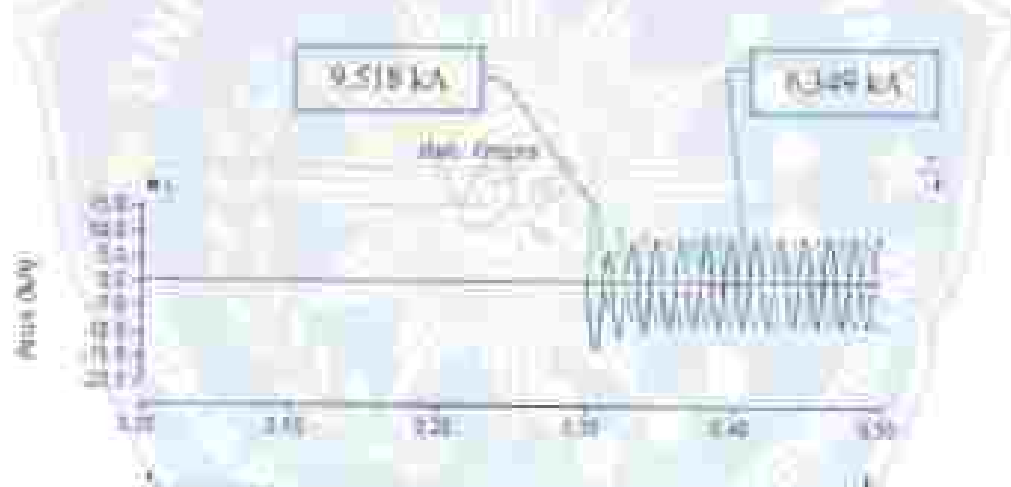
3. Simulasi Gangguan Arah Belakang

Gangguan arah belakang adalah gangguan pada saluran transmisi pada saat simulasi berlangsung yang di *blok* oleh relai arah. Nilai yang diperoleh merupakan:

nilai maksimum pada saat keadaan *steady-state* (normal) dari gelombang keluaran generator. Gangguan divariasikan dengan tiga resistansi gangguan (R_g) dari 1, 10 dan 20 Ohm.

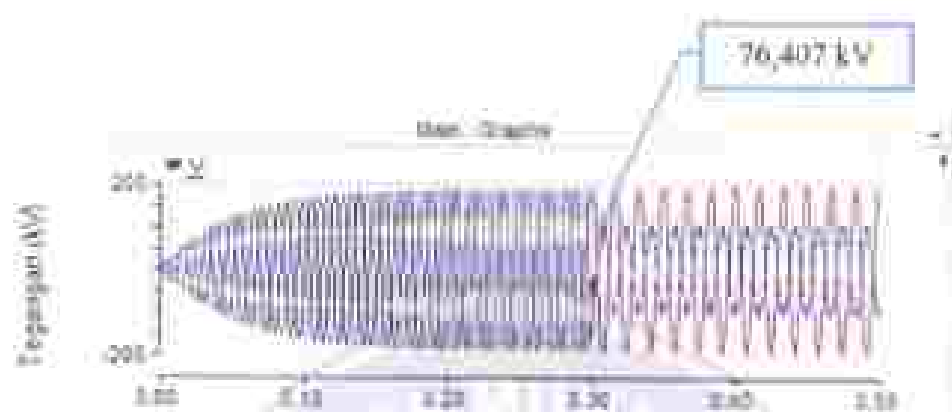
a. Gangguan Dua-Fase (AB)

Gangguan dengan resistansi (R_g) 1 Ohm pada sistem terjadi di waktu 0.3 detik dan durasi gangguan 0.2 detik. Keluaran dari ESI-AT diperlihatkan pada Gambar 4.19 berikut ini.



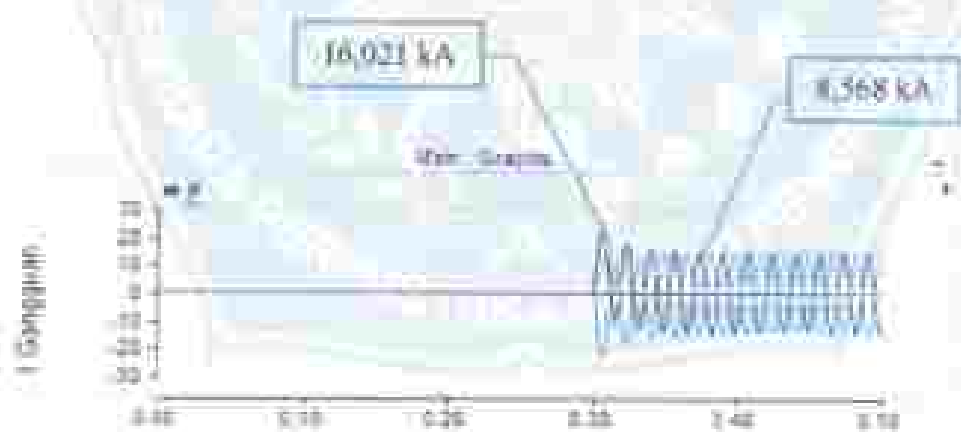
Gambar 4.19 Monitor Arus di Titik Relai Arak

Hasil simulasi keluaran gelombang arus dapat dilihat pada Gambar 4.19 Awal kemunculan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transient yang terjadi bernilai sekitar 9,518 kA, nilai arus maksimum pada keadaan *steady-state* sekitar 6,349 kA.



Gambar 4.20 Monitor Tegangan di Titik Relai Arak.

Bentuk gelombang tegangan kendali normal keluaran $PVC(t)$ pada Gambar 4.20 tidak terjadi lonjakan tegangan yang menandakan adanya gangguan. Nilai maksimum tegangan yang terlihat pada relai arak di waktu 0.3 detik masing-masing sekitar 76,407 kV.



Gambar 4.21 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AB)

Hasil simulasi keluaran gelombang sinyal arus di titik gangguan dua-fase (AB) pada relai arak dapat dilihat pada Gambar 4.21, dari hasil simulasi terlihat lonjakan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal lonjakan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi.

bernilai sekitar 16,021 kA, nilai arus maksimum pada kondisi steady state sekitar 8,558 kA.



Gambar 4.22 Monitor Keluaran Logika Relai Arah

Gambar 4.22 menampilkan diagram flow arus dan tegangan relai arah, serta keluaran logika relai arah yang merupakan indikator relai saat gangguan dua-fase (AD) dengan kondisi gangguan $R = 1$ Ohm menampilkan indikator relai arah 0,0 yang menandakan bahwa dua-fase (AD) blok.

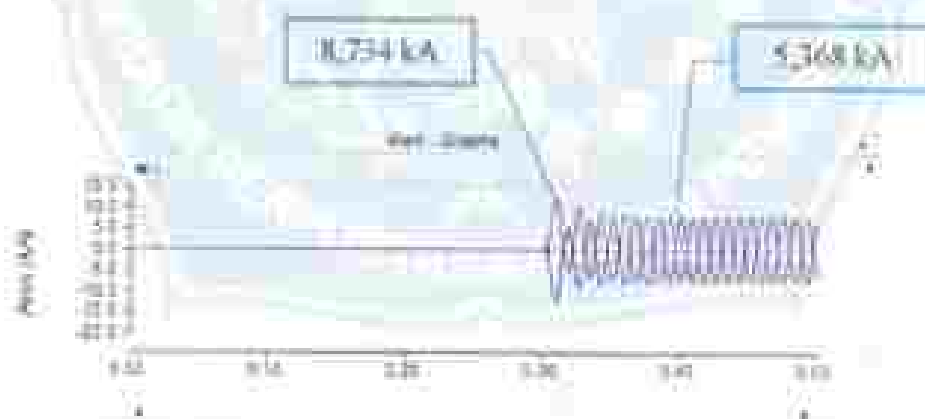
4.4 Tabel performa relai arah terhadap gangguan dua-fase (AD) di belakang relai arah

R	Sudut	Sudut	Sudut Argumen	Indikator Relai	Arah
(Ω)	I	V			Persepsi Relai
1	1	92.06	-109.3	192.34°	Blok (0,0) 1% Belakang
2	10	109.5	-106.8	216.31°	Blok (0,0) 0% Belakang
3	30	123.1	-116.2	239.37°	Blok(0,0) 0% Belakang

Dari tabel 4.4 memperlihatkan performa relai terhadap gangguan dua-fase (AB) di belakang relai arah. Pada saat terjadi gangguan dua-fase (AB) menghasilkan nilai sudut arus 92.06 kA dan nilai moda tegangan -100.3 kV, maka dari hasil pengurangan antara nilai sudut arus dan sudut tegangan menghasilkan nilai sudut argument 192.34° sehingga *index* bernilai (0.0) atau blok yang menandakan bahwa gangguan berada di belakang relai arah. Adapun untuk pengujian ketiga resistansi gangguan yakni $R = 1, 10$ dan 20 Ohm masing-masing *index* relai bernilai (0.0) atau merespon blok.

b. Gangguan Dua-Fase (AC)

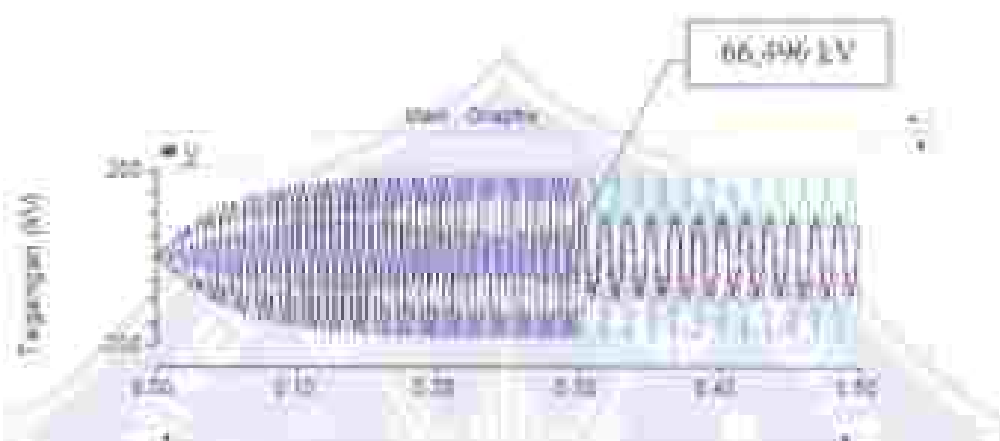
Gangguan dengan resistansi (R_g) 1 Ohm pada sistem terjadi di waktu 0.3 detik dan durasi gangguan 0.2 detik. Keluaran dari PSCAD diperlihatkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 4.23 *Monitor Arus di Titik Relai Arah*

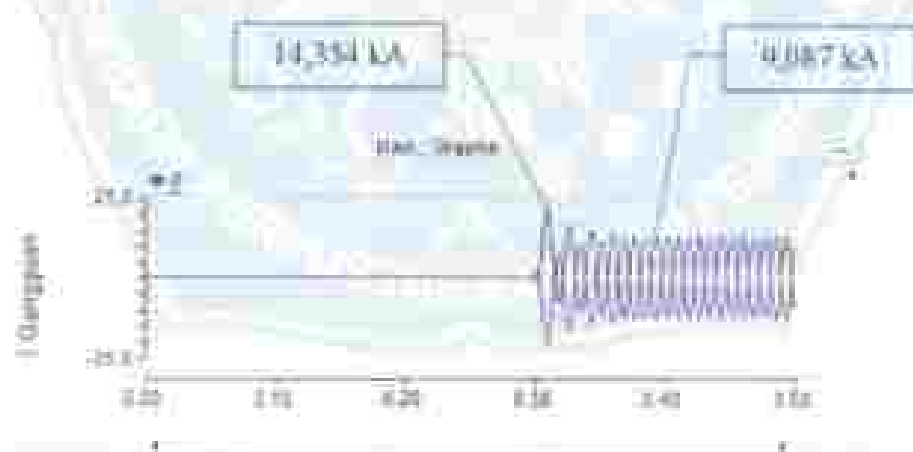
Hasil simulasi keluaran gelombang arus dapat dilihat pada Gambar 4.23 dari hasil simulasi terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi

bernilai sekitar 8,734 kA, nilai arus maksimum pada kondisi *steady-state* sekitar 3,308 kA.



Gambar 4.24 Monitor Tegangan di Titik Relai Arus

Sedangkan hasil simulasi kelamban gelombang tegangan yang terlihat pada Gambar 4.24 sekitar 66,496 kV. Nilai tersebut menunjukkan terjadi jatuah tegangan.



Gambar 4.25 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC)

Hasil simulasi kelamban gelombang sinyal arus di titik gangguan dua-fase (AC) pada relai arus dapat dilihat pada Gambar 4.25, dari hasil simulasi terlihat kemaknaan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal kemaknaan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi

bernilai sekitar 14,354 kA, nilai arus maksimum pada keadaan *steady-state* sekitar 9,087 kA.



Gambar 4.26 Monitor Keluaran Logika Relai Arus

Gambar 4.26 menampilkan diagram fasor arus dan tegangan relai arus serta keluaran logika relai arus yang merupakan indikator relai arus saat gangguan dua-fase (AC) dengan resistansi gangguan $R = 1 \text{ Ohm}$ menampilkan indikator relai arus 0.0 yang menandakan bahwa dua-fase (AC) tidak.

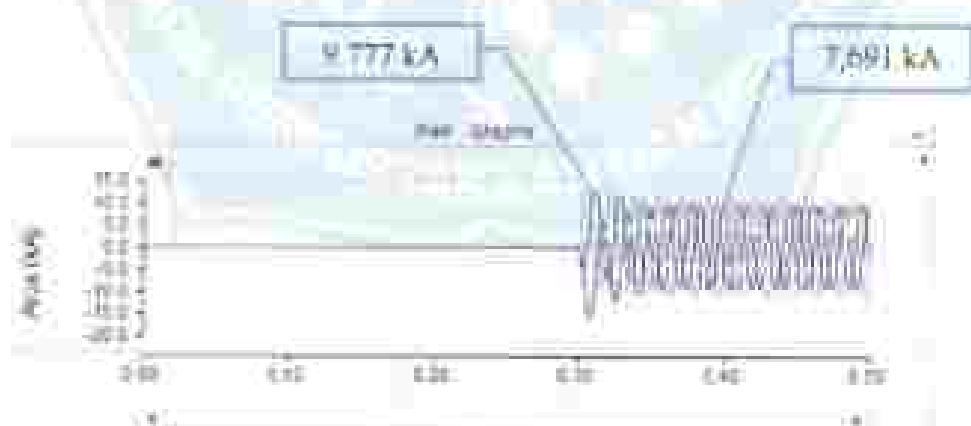
4.5 Tabel perilaku relai arus terhadap gangguan dua-fase (AC) di belakang relai arus

R	Sudut	Sudut	Sudut Argumen	Indicator Relai	Arah	
(Ω)	I	V			Persepsi Relai	
1	1	28.33	-160.6	188.89°	Blok (0.0)	Di Belakang
2	10	90.02	-155.6	205.58°	Blok (0.0)	Di Belakang
3	20	66.68	-148.5	215.18°	Blok (0.0)	Di Belakang

Dari tabel 4.5 memperlihatkan performa relai arus terhadap gangguan dua-fase (AC) di belakang relai arus. Pada saat terjadi gangguan dua-fase (AC) menghasilkan nilai sudut arus 28.33 kA dan nilai sudut tegangan +160.6 kV, maka dari hasil pengurangan antara nilai sudut arus dan sudut tegangan menghasilkan nilai sudut argument 188.89° sehingga *indicator* bernilai (0.0) atau blok yang menandakan bahwa gangguan berada di belakang relai arus. Adapun untuk pengukuran ketiga resistansi gangguan yakni $R = 1, 10$ dan 20 Ohm masing-masing *indicator* relai arus bernilai (0.0) atau mencap blok.

d. Gangguan Tiga-Fase (ABC)

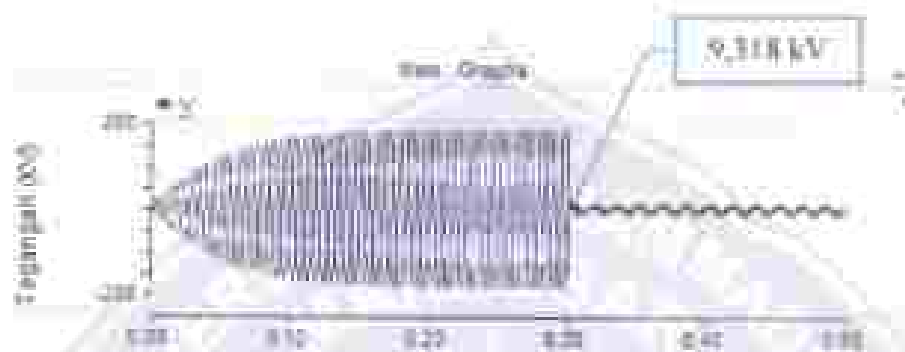
Gangguan dengan resistansi (R) 1 Ohm pada busbar terjadi di waktu 0.3 detik dan durasi gangguan 0.2 detik. Keluaran dari PSCAD diperlihatkan pada Gambar di bawah ini:



Gambar 4.27 Monitor Arus di Titik Relai Arus

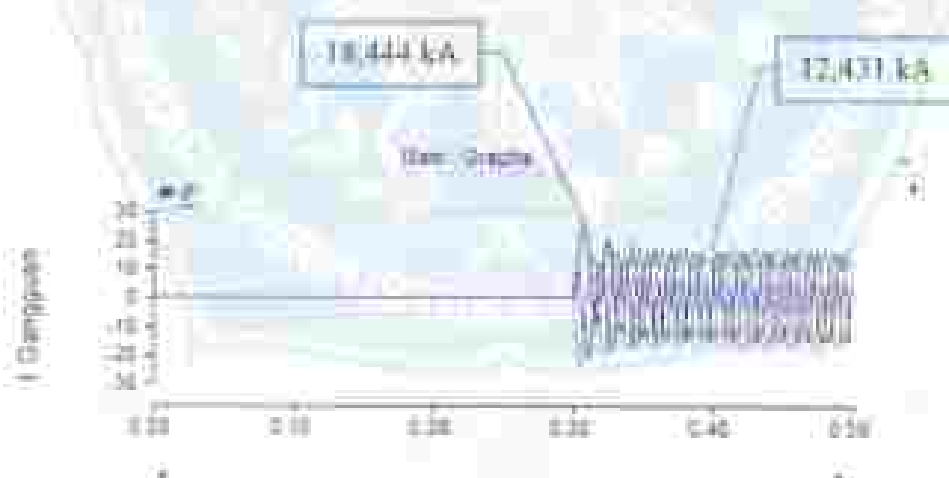
Hasil simulasi keluaran gelombang arus dapat dilihat pada Gambar 4.27. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi

bernilai sekitar 9,777 kA, nilai arus maksimum pada keadaan *steady-state* sekitar 7,691 kA.



Gambar 4.28 Monitor Tegangan di Titik Relai Arah

Sedangkan hasil simulasi keluaran gelombang tegangan yang terlihat pada Gambar 4.28 sekitar 9,777 kV. Nilai tersebut menunjukkan terjadi jatuh tegangan.



Gambar 4.29 Monitor Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (ABC)

Hasil simulasi keluaran gelombang sinyal arus di titik gangguan tiga-fase (ABC) pada relai arah dapat dilihat pada Gambar 4.29, dari hasil simulasi terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak minimum yang terjadi

bernilai sekitar 18,444 kA, nilai arus maksimum pada kondisi asenkronisme sekitar 12,431 kA.



Gambar 4.30 Muntur Keluaran Logika Relai Arah

Gambar 4.30 menampilkan diagram fase arus dan tegangan relai arah, serta keluaran logika relai arah yang merupakan indikator relai arah saat gangguan tiga-fase (ABC) dengan resistansi gangguan $R = 1$ Ohm menampilkan indikator relai arah 0.0 yang menandakan bahwa dua-fase (ABC) blok.

4.6. Tabel performa relai arah terhadap gangguan tiga-fase (ABC) di belakang relai arah

R	Sudut	Sudut	Sudut Argumen	Indicator Relai	Arah
(Ω)	I	V			Persepsi Relai
1	1	67.05	138.3	-71.22°	Blok (0.0) Di Belakang
2	10	79.68	152.5	-72.85°	Blok (0.0) Di Belakang
3	20	90.26	167.1	-76.82°	Blok (0.0) Di Belakang

Dari tabel 4.6 memperlihatkan performa relai arah terhadap gangguan tiga-fase (ABC) di belakang relai arah. Pada saat terjadi gangguan tiga-fase (ABC) menghasilkan nilai sudut arus 67,05 kA dan nilai sudut tegangan 138.3 kV, maka dari hasil pengukuran antara nilai sudut arus dan sudut tegangan menghasilkan nilai sudut argument -71.22° sehingga *indicator* bernilai (0.0) atau blok yang menandakan bahwa gangguan berada di belakang relai arah. Adapun untuk pengukuran ketiga resistansi gangguan yakni $R = 1,10$ dan 20 Ohm masing-masing *indicator* relai arah bernilai (0.0) atau merespon blok.

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Dari penjelasan terkait dengan elemen relai arah hasil simulasi dan analisis menggunakan software *PSCAD V4.2.0 (Student Version)* yang dilakukan dalam tugas akhir ini, maka dapat diambil simpulan bahwa:

1. Model telah berhasil diselesaikan dengan komponen-komponen seperti sumber 3 Fase, *Line Transmisi*, *Multimeter*, *Three Phase Fault*, *Tuned Fault Logic*, *Fixed Load*, *On-line Frequency Scanner*, *Data Signal*, *Label*, *Range Comparator*, *Vector Interface*, *Differencing Junction*, *Output Channel* dan gangguan dua-fase AB, AC dan tiga-fase ABC. Maka dibuatlah 3 model sistem daya proteksi saluran udara menggunakan elemen relai arah yaitu keadaan normal, gangguan arah di depan relai dan gangguan arah di belakang relai.
2. Performansi relai arah terhadap tipe gangguan arah di depan relai dan belakang relai dengan tiga resistansi gangguan $R = 1, 10$ dan 20 Ohm dengan tiga varian gangguan yaitu dua fase AB, AC dan tiga fase ABC. Relai menunjukkan sensitivitasnya dalam mendeteksi gangguan dimana relai memerintahkan CB (*Circuit Breaker*) untuk trip dan blok.

B. Saran

Dikarenakan keterbatasan versi *PSCAD/EMTDC* yang digunakan dalam melakukan penelitian ini, hanya menggunakan *V4.2.0 (Student Version)* karena

penggunaan komponen terbatas hanya 15 komponen, maka di lampirkan untuk menggunakan versi yang lebih tinggi (*Full Version*) dari versi yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Arismanandar dan Kurniawati. 1993, Teknik Tenaga Listrik, Jilid II Saluran transmisi, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.
- Ariwibowo, Didik dan Desmita. 2016, Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 KV Unit Pelebaran Transmisi Cilong Baru – Cibinong Vol.1.
- Badi Ram, D.N., Vishwakarma, 'Power System Protection and Switchgear' Tata McGraw Hill, Publishing Co Ltd, New Delhi 1995.
- Faharudin, Andi. "Sistem Proteksi Saluran Transmisi Udara Tiga-Termal Dengan Menggunakan Relai Pilot Perbandingan Arah Berbasis Relai Arah" (2002) : Yogyakarta.
- Guzman, Armando, Mangapathirao V Myrnan, Veselin Skendzie, and Jean Leon Enardod, 'Directional Elements – How Fast Can They Be?', Schweitzer Laboratories, Inc.
- Kadir, Abdul. 1998, Transmisi Tenaga Listrik, Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Muller, Craig P. Eng. 2005, *On the use of PSCAD (Power System Computers Aided Design)*, Research Centre, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Mason, C. Rulles. 1979, *The Art and Science of Protective Relaying*.
- Pathanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003, Fundamentals Of Power System Protection, Meeeneshi Printers, Delhi.
- Ravindranath, B and Chander, N, 'Power System Protection and Switchgear', Wiley.
- Stevenson, W. D. Jr. 1990, Analisis Sistem Tenaga Listrik, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Sultan, AR, MW Mustafa, dan M Saini. 2012. Ground Fault Arus Dalam Unit Generator-Transformator di Berbagai Konfigurasi NGR dan Transformator

- Rao, 'switchgear and protection', Khanna Publisher, New Delhi, 1992.
- Syukriyadin, Syahrizal dan Cut Rizky Nakhriya. 2011, 'Analisis Proteksi Relay Differensial Terhadap Gangguan Internal dan Eksternal Transformator Menggunakan PSCAD/EMTDC' Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 9.
- Taqiyyuddin, Muhammad Alawi, 2006. Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Relay Elektromagnetis, Universitas Islam Malang.
- Wardlaw C.L., 'Electrical Power System', New Age Internasional (P) Ltd., Publisher, 1986.
- Y.G. Pathanker and S.R Bhade, 'Fundamental of Power System Protection', Printice Hall of India Pvt, Ltd., New Delhi, 1998.
- Yusnanti. 2018. Analisa Gangguan Arus Lebih Terhadap Kondisi Netral *Ground Resistance* Aplikasi PT.PLN(PERSERO) Gardu Induk Lahotma, Vol.1.
- Zimmerman, Karl and David Costello, 2010. 'Fundamentals and Improvements for Directional Relays', Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.



LAMPIRAN A

BENTUK DAN KEGUNAAN

KOMPONEN YANG DIGUNAKAN

LAMPIRAN A

Komponen-komponen yang digunakan dalam pemodelan rangkaian simulasi gangguan pada PSCAD, antara lain:

1. Three-Phase Voltage Source Model 1



Gambar A.1 Bentuk Komponen Sumber Tiga-Phasa

Three-Phase voltage source model 1 adalah komponen yang memberikan input tegangan (kV), frekuensi (Hz) dan tipe impedansi yang diinginkan.

2. Multimeter



Gambar A.2 Bentuk Komponen Multimeter

Multimeter adalah komponen yang berfungsi untuk mengukur nilai arus (kA), tegangan (kV), tegangan RMS (kV) dan sudut phasa (derajat atau radians).

3. Transmission Lines



Gambar A.3 Bentuk Komponen *Transmission Lines*

Transmission lines adalah komponen yang berfungsi sebagai saluran transmisi yang dapat diantar panjang saluran yang diinginkan dan frekuensi steady state yang diinginkan

A. On-line Frequency Scanner (FFT)



Gambar A.4 Bentuk Komponen *FFT*

FFT adalah sebuah komponen yang dapat memproses nilai arus atau tegangan untuk menghasilkan nilai magnitude dan sudut fase. Nilai magnitude atau sudut fase berupa nilai domain waktu ($I + \theta$) dimana nilai I adalah magnitude dan θ adalah sudut fase.

5. *Summing/Difference Junction*



Gambar A.5 Bentuk Komponen *Diffjunction*

Summing/Difference Junction adalah sebuah komponen yang dapat menjumlahkan atau mengurangkan nilai yang diinginkan.

6. *Output Channel*



Gamabar A.6 Bentuk Komponen *Output Channel*

Output Channel adalah suatu komponen yang berfungsi keluaran sinyal dari sebuah simulasi, keluaran yang berupa kurva atau grafik, polimeter, meter dan lain-lain.

7. *Range Comparator*



Gamabar A.7 Bentuk Komponen *Range Comparator*

Adalah suatu komponen yang berfungsi sebagai *detector* pita yang menghasilkan satu nilai yang input berada di antara 2 batas dan nilai yang berbebeda di antara 2 batas.

8. *Vector Interlace*



Gamabar A.8 Bentuk Komponen *Vector Interlace*

Komponen ini mengatur dua arah vector sinyal (arus) ke dalam arus output hubungan. Komponen ini sangat berguna untuk menggabungkan arus dengan besaran polar sehingga mereka di format untuk input langsung ke PhasorMeter.

10. *Three-Phase and Two Phase Fault*



Gamabar A.10 Bentuk Komponen *Three-Phase Fault*

Three-Phase Fault adalah sebuah komponen untuk melakukan pemodelan gangguan pada sistem daya

11. *Timed Fault Logic*

Timed
Fault
Logic

Gambar A.11 Bentuk Komponen *Fault Logic*

Timed Fault Logic adalah komponen yang berfungsi untuk pengukuran waktu gangguan. Waktu yang diukur berupa saat mulai gangguan (*start fault*) dan lama waktu terjadi gangguan (*Duration fault*)

12. *Fixed Load*

Fixed
Load

Gambar A.12 Bentuk Komponen *Fixed Load*

Komponen ini menyediakan karakteristik beban sebagai fungsi dari besarnya tegangan dan frekuensi, di mana beban nyata dan daya reaktif kami dipertimbangkan secara terpisah

13. *Voltmeter Line-Line*

Voltmeter
Line-Line

Gambar A.13 Bentuk Komponen *Voltmeter Line-Line*

Meter tegangan digunakan untuk membuat sinyal, yang mewakili perbedaan potensial (dalam kV) antara dua node dalam gambar rangkaian. Sinyal ini diberikan nama oleh pengguna. Untuk mengakses sinyal, pengguna harus menggunakan nama sebagai Label Data pada Kawat atau pada koneksi input komponen control

14. Signal Name



Gambar A.14 Bentuk Komponen Signal Name

Label Data dapat digunakan untuk menciptakan nama sinyal ke Kawat yang membawa sinyal data. Jika Nama Sinyal Data input cocok dengan nama sinyal data lain dalam Modul Halaman yang sama (atau halaman utama), kedua sinyal ini dianggap terhubung bersama.

Label Data terutama digunakan untuk mentransfer sinyal data dalam suatu halaman, atau untuk menyediakan titik koneksi untuk setiap sinyal output internal yang dihasilkan dalam komponen. Label Data tidak dapat digunakan untuk mentransfer data antar halaman.

15. Three Phase to SLD Electrical Wire Converter (Split Single Line to 3 Phases)

Gambar A.15 Bentuk Komponen Split Single Line to 3 Phase

Komponen ini dapat digunakan untuk membagi sinyal listrik 3-fase (yaitu dalam tampilan garis tunggal) menjadi tiga sinyal listrik satu-fase yang terpisah. Tenta juga, ini juga dapat digunakan untuk melakukan sebaliknya, yaitu menggabungkan tiga sinyal listrik fase tunggal yang terpisah menjadi sinyal listrik 3 fase (single-line).

16. BUS

Gambar A.16 Bentuk Komponen BUS

Bus ming dengan komponen Kawat, di mana mereka dapat digunakan untuk bergabung dengan komponen lain bersama-sama dalam gambar rangkaian.

Namun, bus harus digunakan terutama untuk mewakili satu titik bus listrik (yaitu sebuah simpul), yang dengannya banyak objek dapat dihubungkan.

Bus adalah 'komponen yang dapat diregangkan', yang panjangnya dapat diubah agar sesuai dengan penggunaan yang diperlukan. Diagram berikut menunjukkan bagaimana bus dapat digunakan.

17. Margex Data Signal Info an Array



Gambar A.17 Bentuk Komponen *Margex Data Signal Info an Array*

Komponen ini menggabungkan hingga 12 sinyal skalar individu ke dalam *array* satu dimensi (data vektor).

Semua sinyal yang terhubung ke terminal input dikonversi ke tipe output yang dipilih. Nilai input *INTEGER* dikonversi ke tipe *REAL* dan nilai input *REAL* dikonversi ke integer terdekat menggunakan fungsi Fortran *NINT*. Konversi input *LOGICAL* ke tipe *REAL* atau *INTEGER* tidak dilakukan secara otomatis. Jika input dari tipe yang berbeda, gunakan komponen Konversi Jenis untuk mengonversikannya terlebih dahulu dengan tipe yang diperlukan, dan kemudian menggabungkannya.

18. Data Tape



Gambar A.18 Bentuk Komponen Data Tape

Kabel adalah garis grafis yang digunakan untuk menghubungkan Mesin Virtual komponen bersama-sama pada kanvas *Sirkuit PSCAD*. Sebuah kawat dapat membawa sinyal listrik, dalam hal ini bertindak untuk menghubungkan node secara elektrik. Kawat juga dapat digunakan sebagai jalur sinyal data, di mana koneksi antara dua titik data memaksa titik yang terhubung sama satu sama lain. Kabel dapat ditambahkan secara manual ke kanvas seperti yang dijelaskan dalam Menambahkan Komponen ke Proyek dan Menghubungkan Komponen Bersama, atau ditarik menggunakan Mode Kawat.

Kawat adalah 'komponen yang dapat diregangkan', yaitu panjangnya dapat diubah agar sesuai dengan penggunaan yang diperlukan. Kabel dapat dihubungkan bersama dengan memastikan bahwa titik akhir dari salah satu kabel yang bergabung menyentuh bagian mana pun dari label lainnya. Kabel dapat dilintasi (atau tumpang tindih) tanpa koneksi, selama titik akhir maupun simpul tidak menyentuh Kawat lainnya. Kabel juga dapat terdiri dari beberapa segmen ortogonal, di mana seluruh kawat dapat dimanipulasi secara keseluruhan.

Baik sinyal listrik dan data yang dibawa oleh kawat bisa multi-dimensi, yaitu sinyal dapat dilewatkan sebagai *array* (vektor). *PSCAD* akan secara otomatis

mendeteksi jenis sinyal apa yang akan dilewatkan, serta dimensi titik-titik di mana Kawai terhubung.



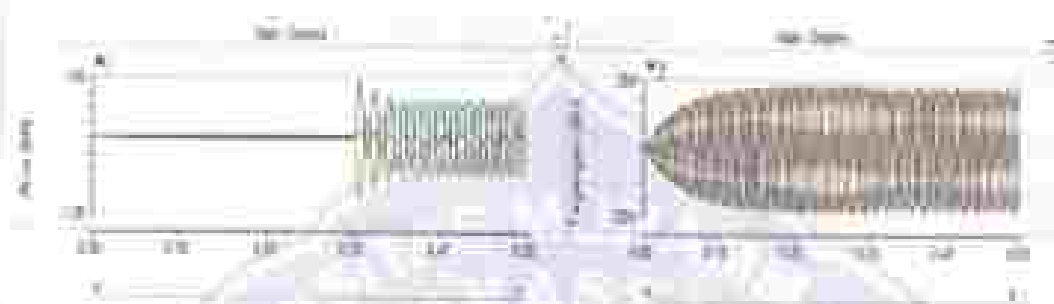
LAMPIRAN B

GRAFIK KELUARAN SIMULASI

UNTUK GANGGUAN DI DEPAN DAN DI BELAKANG RELAI

Lampiran B.1 Gangguan Dua-Fase (AB) di Depan Relai Arus

- Resistansi Gangguan 10 Ohm



Gambar B.1.1 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arus

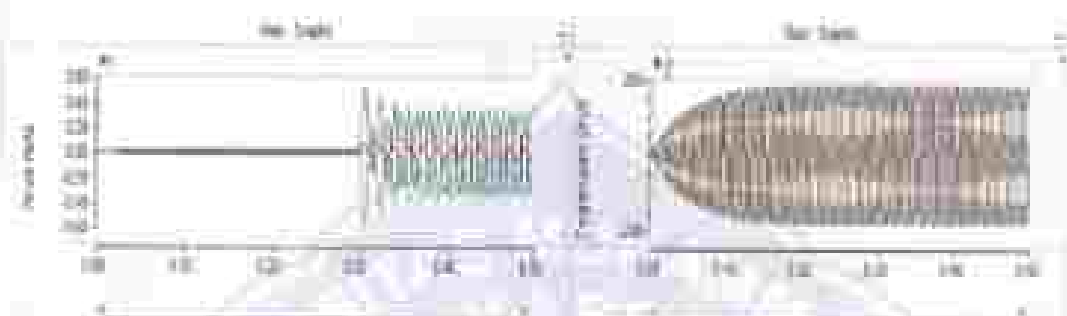


Gambar B.1.2 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AB)

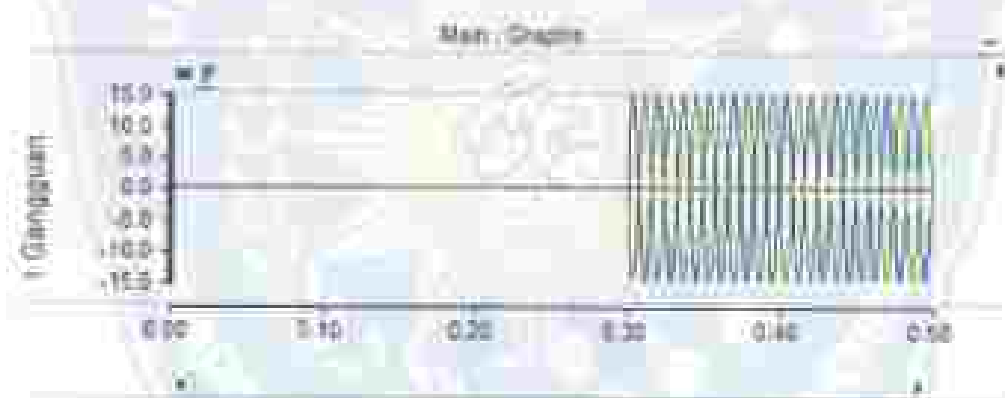


Gambar B.1.3 Keturunan Logika Relai Arus

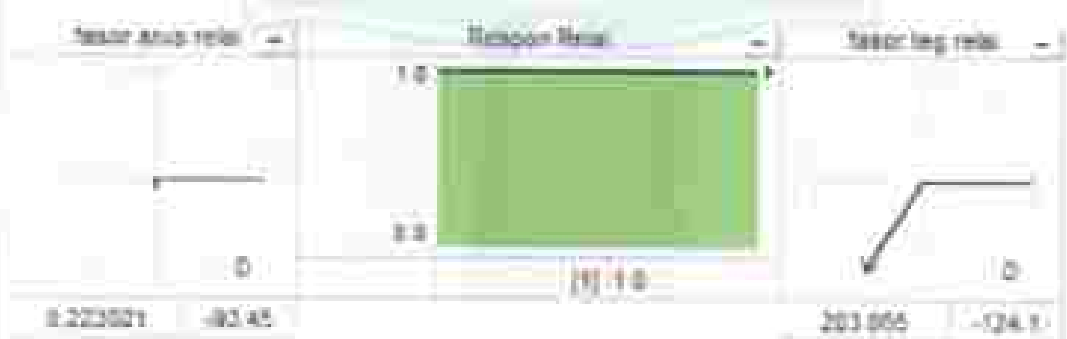
- Resistansi Gangguan 20 Ohm



Gambar B.1.4 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arah



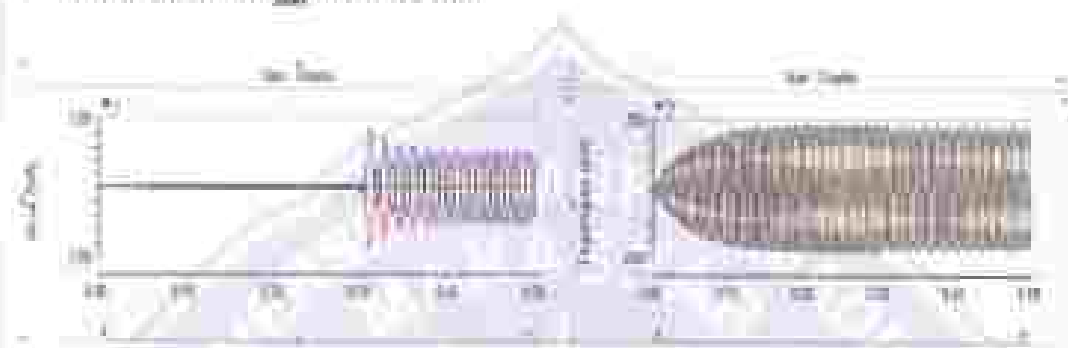
Gambar B.1.5 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (AR)



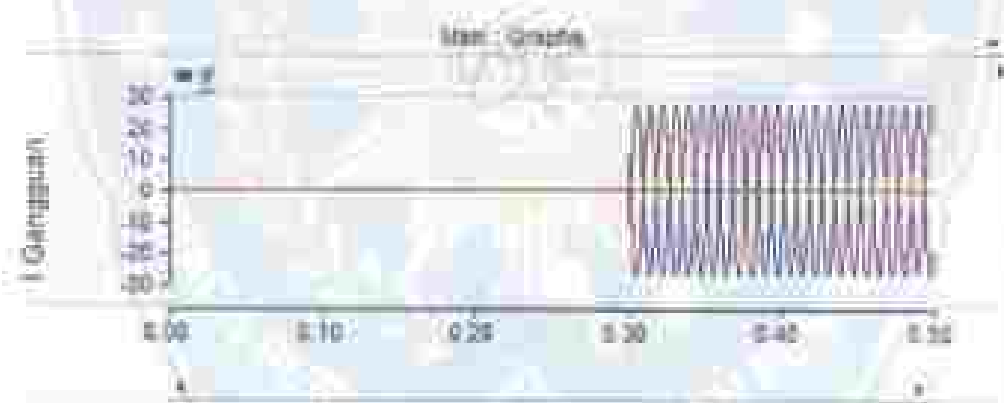
Gambar B.1.6 Monitor Keluaran Logika Relai Arah

Lampiran B.2 Gangguan Dua-Fase(AC) di Depan Relai Arah

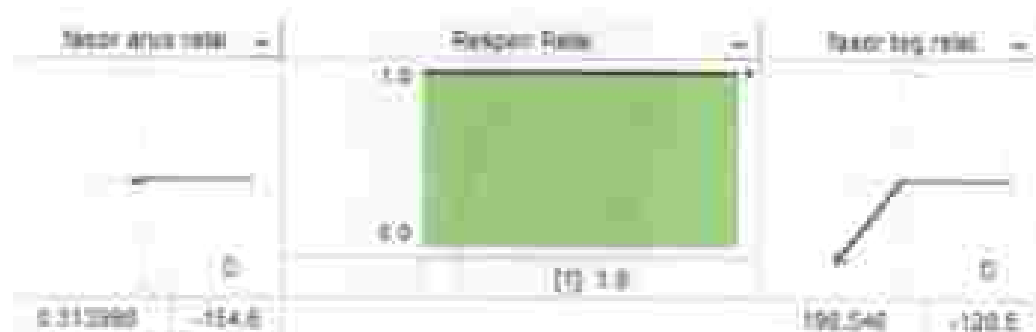
- Resistansi Gangguan: 10 Ohm



Gambar B.2.1 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arah



Gambar B.2.2 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC)

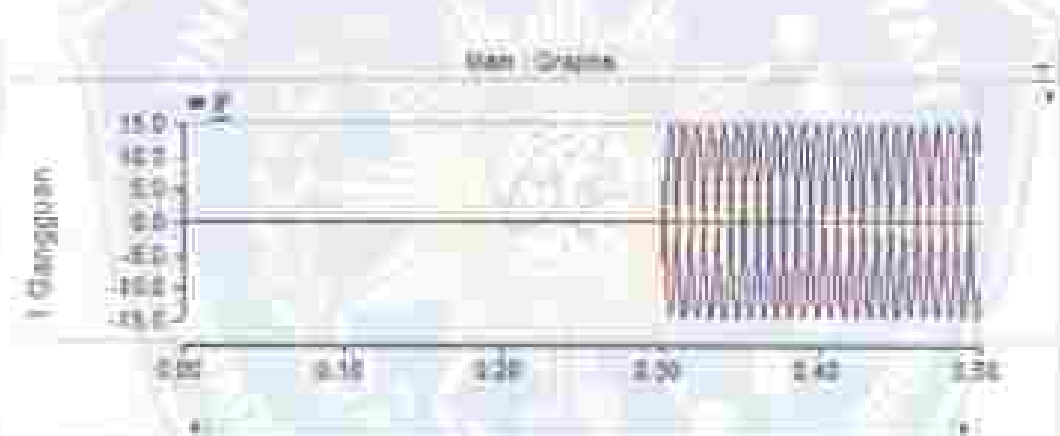


Gambar B.2.3 Monitor Keluaran Logika Relai Arah

- Resistansi Gangguan 20 Ohm



Gambar B.2.4 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arak



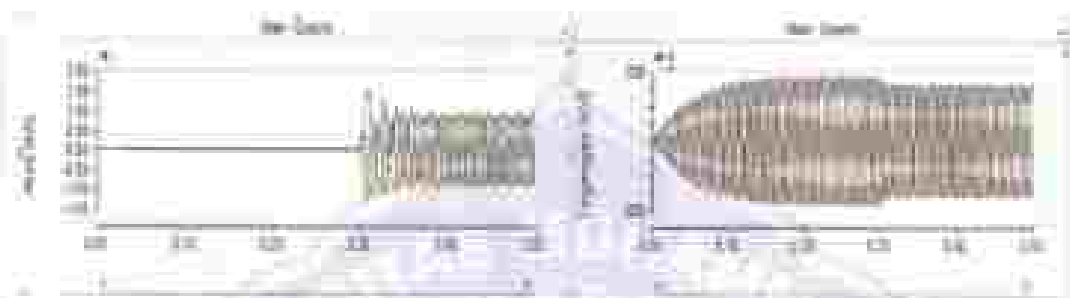
Gambar B.2.5 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC)



Gambar B.2.6 Monitor Keluaran Logika Relai Arak

Lampiran B.3 Gangguan Tiga-Fase(ABC) di Depan Relai Arus

- Resistansi Gangguan 10 Ohm



Gambar B.3.1 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arus

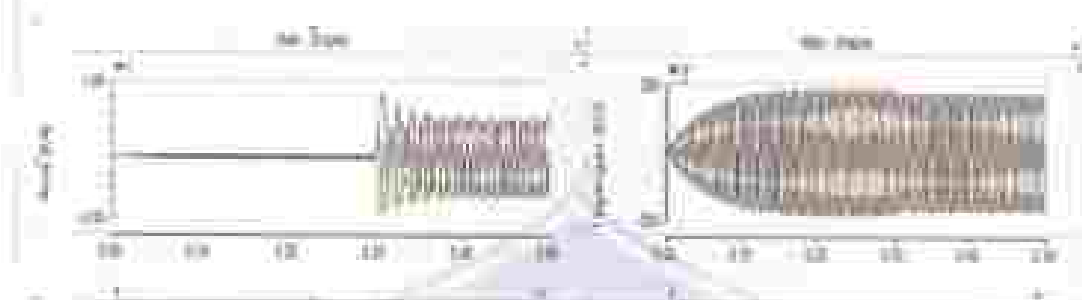


Gambar B.3.2 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (ABC)

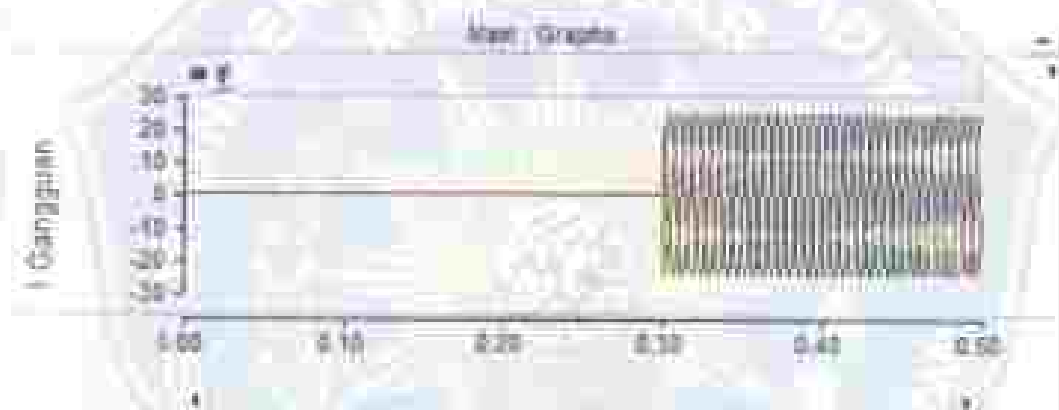


Gambar B.3.3 Monitor Keluaran logika relai

• Resistansi Gangguan 20 Ohm



Gambar B.3.4 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arus



Gambar B.3.5 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (ABC)



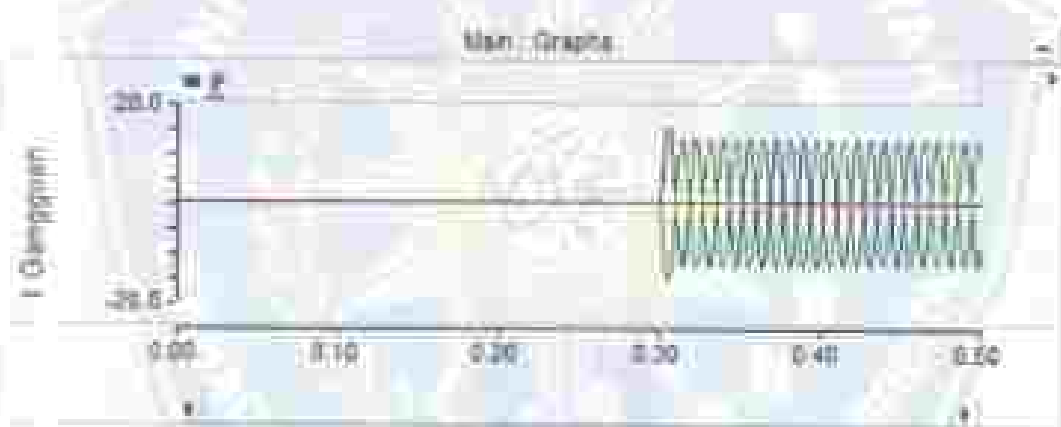
Gambar B.3.6 Monitor Keluaran Logika Relai Arus

Lampiran B.4 Gangguan Dua-Fase (AB) di Belakang Relai Arus

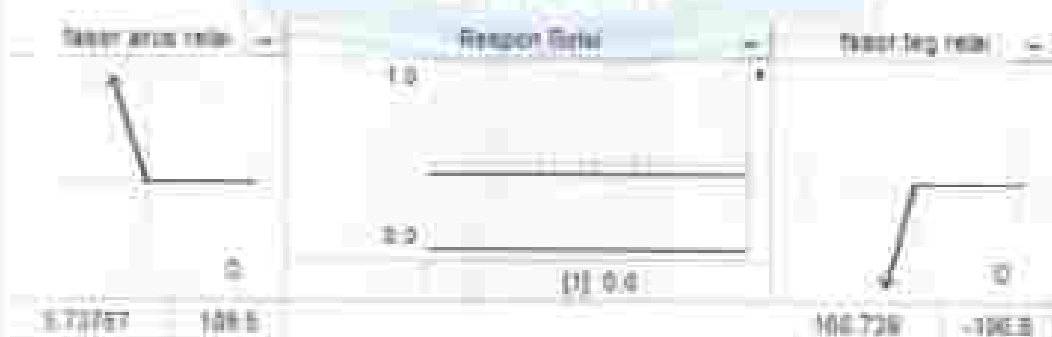
- Resistansi Gangguan 10 Ohm



Gambar B.4.1 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arus



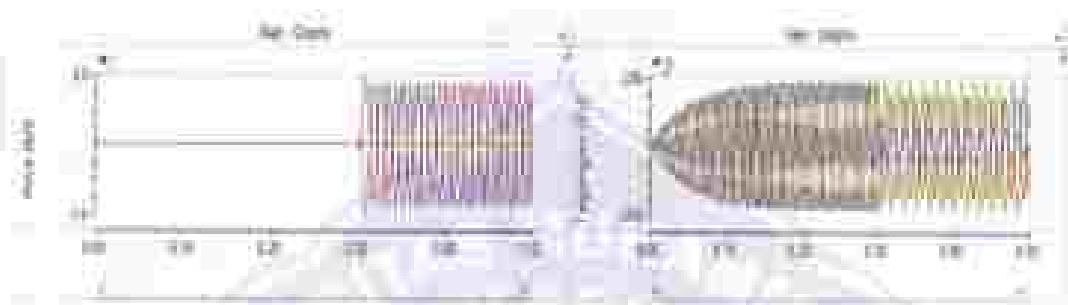
Gambar B.4.2 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AB)



Gambar B.4.3 Monitor Keluaran Logika Relai Arus

Lampiran B.5 Gangguan Dua-Fase (AC) di Belakang Relai Arah

- Resistansi Gangguan 10 Ohm



Gambar B.5.1 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik relai Arah

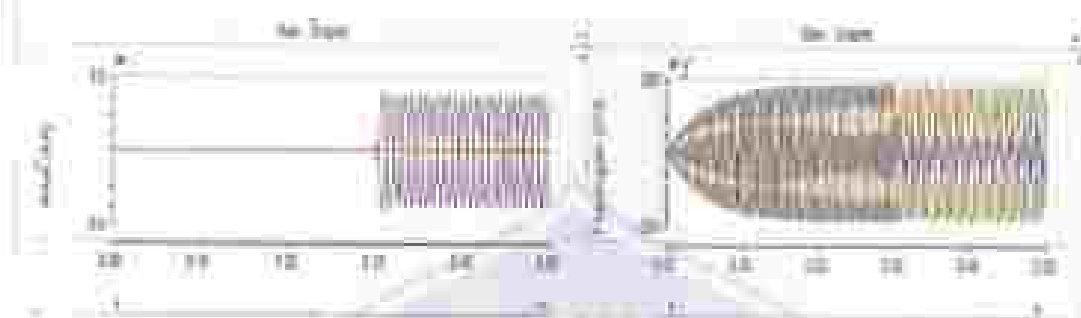


Gambar B.5.2 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC)



Gambar B.5.3 Monitor Keluaran Logika Relai Arah

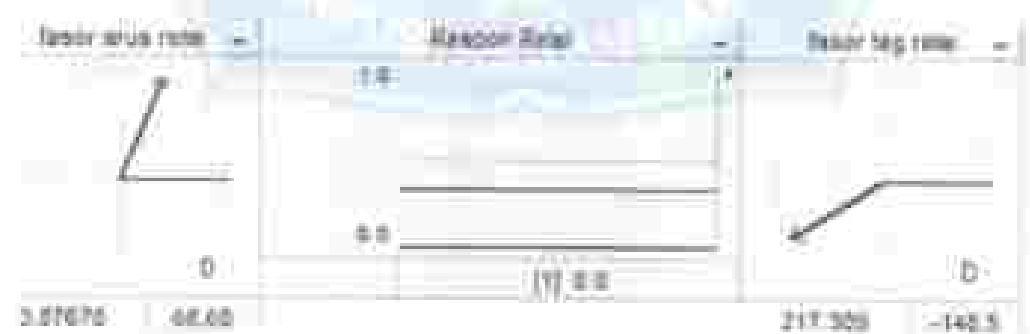
- Resistansi Gangguan 20 Ohm



Gambar B.5.4 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arak



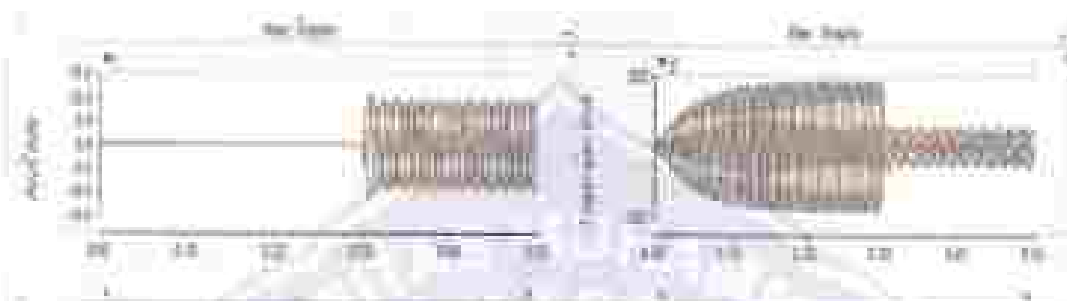
Gambar B.5.5 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Dua-Fase (AC)



Gambar B.5.6 Minibar Keluaran Logika Relai Arak

Lampiran B.6 Gangguan Tiga-Fase (ABC) di Belakang Retal Arah

- Resistansi Gangguan 10 Ohm



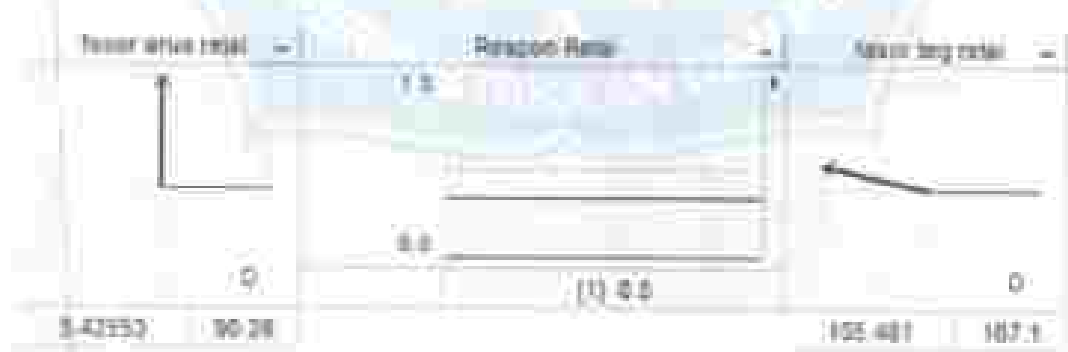
• Resistansi Gangguan 20 Ohm



Gambar B.6.4 Sinyal Arus dan Tegangan di Titik Relai Arah



Gambar B.6.5 Tampilan Sinyal Arus di Titik Gangguan Tiga-Fase (ABC)



Gambar B.6.6 Monitor Keluaran Logika Relai Arah