

SKRIPSI

**SIMULASI RELAI PILOT TEKNIK PERBANDIGAN-FASE UNTUK
SALURAN TRANSMISI UDARA MENGGUNAKAN
PERANGKAT LUNAK *PSCAD(POWER SYSTEM
COMPUTER AIDED DESAIN)/EMTDC***



SUPRIADI

10582 1503 14

INDRI NIRWANA

10582 1477 14

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019

SIMULASI RELAI PILOT TEKNIK PERBANDIGAN-FASE UNTUK
SALURAN TRANSMISI UDARA MENGGUNAKAN
PERANGKAT LUNAK *PSCAD(POWER SYSTEM
COMPUTER DESAIN)/EMTDC*

Skripsi

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh:

SUPRIADI

105 82 1503 14

INDRI NIRWANA

105 82 1477 14

PADA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
MAKASSAR

2019



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.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 RELAY PILOT TEKNIK PERBANDINGAN – FASE UNTUK SALURAN TRANSMISI UDARA MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK PSCAD (POWER SYSTEM COMPUTER AIDED DESAIN) IEMTDC**

Nama : 1. Indri Nirwana
2. Supriadi

Stambuk : 1. 10582 1477 14
2. 10582 1503 14

Makassar, 12 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.


Andi Fahrudin, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro


Adrian, S.T., M.T.
NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Indri Nirwana** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1477 14 dan **Supriadi** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1503 14, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/SK-Y/20201/091004/2019, 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 09 Februari 2019.

Makassar, 07 Jumadil Akhir 1440 H

12 Februari 2019 M

Panitia Ujian :

I. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

II. Penguji

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

b. Sekretaris : Suryani, S.T., M.T

III. Anggota

1. Andi Abd Halik Lateko Tj, S.T., M.T

2. Adriani, S.T., M.T

3. Ir. Abdul Hafid, M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.


Andi Fawaruddin, S.T., M.T

Dekan


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

KATA PENGANTAR

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللهُ بِسْمِ

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt, karena Rahmat dan Hidayah Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah:

“ Simulasi Relai Pilot Teknik Perbandigan-Fase Untuk Saluran Transmisi Udara Menggunakn Perangkat Lunak *PSCAD/EMTDC*”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, 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 Hamzah Al Imran, ST, MT., sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc selaku Pembimbing I dan Bapak Andi Fazaruddin, S.T.,M.T selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.

4. Bapak dan Ibu Dosen serta Staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, Penulis mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus Vektor 2014 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah Swt dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan masyarakat serta bangsa dan Negara.Amin.

Makassar, 22 Januari 2019

penulis

Indri nirwana¹. Supriadi²

¹Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail :indrinirwana14@gmail.com

²Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

E_mail :adipry8@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Indri Nirwana dan Supriadi, (2019) Saluran transmisi merupakan komponen vital dalam penyaluran daya, yang menghubungkan unit pembangkit dengan pusat-pusat beban atau ke pusat pembangkit lainnya. Saluran transmisi terdiri dari sekelompok konduktor overhead yang terbentang pada wilayah yang luas dan kondisi geografi yang berbeda dengan berbagai macam kondisi udara, sehingga sangat rentan terjadi gangguan pada saluran tersebut. Salah satu peralatan proteksi yang digunakan adalah relai pilot perbandingan fase. Yang membedakannya adalah daerah yang diamankan cukup panjang sehingga diperlukan sarana komunikasi antara ujung saluran dengan menggunakan relai sejenis pada ujung saluran. Penelitian ini menunjukkan performa relai pilot perbandingan fasa arus terhadap saluran transmisi pada gangguan internal dan eksternal. Ada empat tipe gangguan yang akan disimulasikan di PSCAD/EMTDC yaitu gangguan satu fase ke tanah, dua fase ke tanah, dua fase dan tiga fase, dengan resistansi gangguan 2 ohm dan 5 ohm. Sistem yang dikaji pada penelitian ini memiliki sumber 230 kV, 3 fase, 50 Hz menggunakan saluran transmisi dengan panjang 100 km. Simulasi gangguan hubung singkat dan relai pada saluran transmisi menggunakan software PSCAD (Power System Computer Aided Design). Hasil simulasi menunjukkan bahwa relai pilot perbandingan fasa, mampu men-trip CB untuk semua gangguan internal dan memblok CB untuk semua gangguan eksternal.

Kata Kunci: Saluran transmisi, Relai pilot perbandingan fasa, gangguan hubung singkat, PSCAD

Indri nirwana¹. Supriadi²

¹ Product of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh, Makassar

E_mail : indrinirwana14@gmail.com

²Product of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh, Makassar

E_mail : adipry8@gmail.com

ABSTRACT

Abstract; Indri Nirwana and Supriadi, (2019) Transmission lines are a vital component in power distribution, which connects generating units with load centers or to other power centers. The transmission line consists of a group of overhead conductors that extend over a wide area and different geographical conditions with various air conditions, so it is very susceptible to interference with the channel. One of the protective equipment used is a pilot phase comparison relay. What distinguishes it is that the secured area is long enough so that a means of communication between the ends of the channel is needed by using a similar relay at the end of the channel. This study shows the pilot relay performance of the current phase comparison to the transmission line in internal and external interference. There are four types of interference that will be simulated in PSCAD / EMTDC, which are one-phase to ground, two-phase to ground, two-phase and three-phase interference, with 2 ohms and 5 ohms interference resistance. The system studied in this study has a source of 230 kV, 3 phases, 50 Hz using a transmission line with a length of 100 km. Simulation of short circuit interference and relays on transmission lines using PSCAD (Power System Computer Aided Design) software. The simulation results show that the pilot relay phase comparison, is able to trip CB for all internal disturbances and block CB for all external interference.

Keywords: transmission line, pilot relay phase comparison, short circuit interference, PSCAD

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
 BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Batasan Masalah.....	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistemasi Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Umum.....	5

B. Arus Gangguan Hubung Singkat.....	6
1. Pengertian Gangguan	6
2. Penyebab Terjadinya Gangguan	6
3. Klasifikasi Gangguan Hubung Singkat.....	7
4. Komponen Simetris.....	10
5. Akibat Yang Ditimbulkan Oleh Hubung Singkat	11
C. Sistem Proteksi	12
1. Fungsi Sistem Proteksi.....	14
2. Syarat-syarat relai pengaman	15
a. Cepat bereaksi	15
b. Selektiv.....	16
c. peka/sensitif.....	16
d. Andal/reabilit.....	17
e. Sederhana/simplicity	17
f. Murah/ekonomy.....	17
3. Daerah Proteksi	18
4. Sistem Proteksi Utama Dan Penyangga.....	18
5. Komponen Utama Sistem Proteks	19
a. Relai.....	20
b. Pemutus Daya.....	20
D. Beberapa Relai Proteksi Untuk Saluran Transmisi	21
1. Relai Arus Lebih (over current relay)	21
2. Relai Jarak.....	21

3. Relai Pilot.....	22
E. Relai Pilot	22
F. Relai Pilot Perbandingan Fase Untuk Saluran Transmisi	25
1. Prinsip kerja Relai Pilot Perbandingan Fase Untuk Saluran Transmisi	32
G. Simulasi Proteksi Relai Pilot Perbandingan Fase	37
H. Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC.....	38
1. Studi Tipikal PSCAD	39
2. Pengenal Dan Menjalankan PSCAD.....	41
a. Memulai PSCAD.....	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	50
A. Waktu Dan Tempat Penelitian	50
1. Alat	50
2. Bahan	51
C. Skema Penelitian	51
D. Data Penelitian	52
E. Langkah Penelitian	52
F. Jadwal Penelitian.....	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
A. Pemodelan sistem transmisi, gangguan serta relai dengan software PSCAD	54
B. Hasil simulasi.....	57
1. Simulasi Gangguan Internal	57
a. gangguan internal satu-fase ke tanah (A-G).....	57

b. gangguan internal dua-fase ke tanah (AB-G)	62
c. gangguan internal dua-fase (AB)	67
d. gangguan internal tiga-fase (ABC)	72
2. Simulasi Gangguan Eksternal.....	77
a. gangguan eksternal satu-fase ke tanah (A-G)	77
b. gangguan eksternal dua-fase ke tanah (AB-G)	82
c. gangguan eksternal dua-fase (AB)	87
d. gangguan eksternal tiga-fase (ABC)	92
BAB V PENUTUP	98
A. Simpulan.....	98
B. Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik.....	5
Gambar 2.2 Gangguan tiga-fase sistematis.....	8
Gambar 2.3 Gangguan satu-fase ketanah, Gangguan antar-fase, Gangguan antar-fase ke tanah.....	9
Gambar 2.4 Komponen simetris dari tiga fase tak seimbang.....	11
Gambar 2.5 Suatu sistem tenaga listrik yang sederhana mengalami gangguan pada titik K (Taqiyyudin, 2006).....	16
Gambar 2.6 Sistem proteksi utama dan penyangga	19
Gambar 2.7 Jaringan transmisi untuk menggambarkan tujuan relai pilot (mason, 1979)	23
Gambar 2.8 Fase perbandingan relaying (arus ditampilkan pada sisi sekunder CT) (Paithanker Y. G dan S. R Bhide, 2003).....	27
Gambar 2.9 Fase perbandingan relaying (paithanker Y. G dan S.R. Bhide, 2003).....	27
Gambar 2.10 Karakteristik fasa perbandingan relai, (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003).....	28
Gambar 2.11 Relai fase perbandingan (gangguan internal)(Paithanker Y. G dan S. G dan S. R. Bhide, 2003).	30
Gambar 2.12 Relai perbandingan fase (gangguan eksternal) (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003)	31
Gambar 2.13 Perangkat keras untuk mengukur periode kebetulan (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003).....	32
Gambar 2.14 Representasi skematik dari peralatan pembawa saat percontohan fase perbandingan (mason, 1979)	34
Gambar 2.15 Skema prinsip kerja relai pilot perbandingan fase	35
Gambar 2.16 Hubungan antara tegangan output jaringan dan sinyal pembawa arus	36

Gambar 2.17 Diagram simulator proteksi relai pilot perbandingan fase	37
Gambar 2.18 Lingkungan utama PSCAD (Muller, 2005)	41
Gambar 2.19 Title, menu and main tool bar.PSCAD (Muller, 2005)	41
Gambar 2.20 Menu file dari bilah menu utama PSCAD (Muller, 2005)	42
Gambar 2.21 Tool bar buttons PSCAD (Muller, 2005)	43
Gambar 2.22 Jendela ruang kerja PSCAD (Muller,2005)	43
Gambar 2.23 Jendela keluaran/Output PSCAD (Muller, 2005)	44
Gambar 2.24 Memuat proyek PSCAD (Muller, 2005)	45
Gambar 2.25 Membuka proyek PSCAD (Muller, 2005)	46
Gambar 2.26 Contoh sederhana rangkaian yang dibuat dalam PSCAD (Muller)	46
Gambar 2.27 Pilot hasil simulasi PSCAD (Muller, 2005)	48
Gambar 2.28 Menu untuk mencetak rangkaian dan grafik PSCAD (Muller, 2005)	49
Gambar 3.1 Diagram balok skema penelitian	51
Gambar 3.2 Bagan alir proses penelitian	53
Gambar 4.1 Rangkaian simulasi PSCAD V.4.2.0 Student version	54
Gambar 4.2 Model relai	55
Gambar 4.3 Monitor tegangan arus dan respon relai	56
Gambar 4.4 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan internal satu-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	58
Gambar 4.5 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan internal satu-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	59
Gambar 4.6 Monitor keluaran nilai, fasor fasa dan respon relai	61

Gambar 4.7 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan internal dua-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	63
Gambar 4.8 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan internal dua-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	64
Gambar 4.9 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai	66
Gambar 4.10 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan internal dua-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	68
Gambar 4.11 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan internal dua-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	69
Gambar 4.12 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai	71
Gambar 4.13 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan internal tiga-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	73
Gambar 4.14 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan internal tiga-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	74
Gambar 4.15 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai	76
Gambar 4.16 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan internal satu-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	78
Gambar 4.17 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal satu-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	79
Gambar 4.18 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai	81
Gambar 4.19 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan eksternal dua-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	83

Gambar 4.20 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal dua-fase ke tanah, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	84
Gambar 4.21 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai	86
Gambar 4.22 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan eksternal dua-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	88
Gambar 4.23 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal dua-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	89
Gambar 4.24 Monitor keluaran nilai dan respon relai	91
Gambar 4.25 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan eksternal tiga-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	93
Gambar 4.26 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal tiga-fase, $R_f=2$ Ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) tegangan saluran	94
Gambar 4.27 Monitor keluaran nilai dan respon relai	96

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Performa relai terhadap gangguan internal satu-fase ke tanah (A-G)...	62
Tabel 4.2 Performa relai terhadap gangguan internal dua-fase ke tanah (AB-G).	67
Tabel 4.3 Performa relai terhadap gangguan internal dua-fase (AB)	72
Tabel 4.4 Performa relai terhadap gangguan internal tiga-fase (ABC)	77
Tabel 4.5 Performa relai terhadap gangguan eksternal satu-fase ke tanah (A-G)..	82
Tabel 4.6 Performa relai terhadap gangguan eksternal dua-fase ke tanah (AB-G)	87
Tabel 4.7 Performa relai terhadap gangguan eksternal dua-fase (AB)	92
Tabel 4.8 Performa relai terhadap gangguan eksternal tiga-fase (ABC).....	97

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A bentuk dan kegunaan komponen yang digunakan

LAMPIRAN B Grafik keluaran simulasi untuk gangguan internal dan eksternal

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

otasi	Definisi dan Keterangan
PSCAD	Power System Computer Aided Design
RPPF	Relai Pilot Perbandingan Fase
EMTDC	Electro Magnetic Transient DC
CT	Current Transformator
VT	Voltage Transformator
DC	Direct Current
PMT	Sakelar Pemutus Tegangan
CB	Circuit Breaker
Hz	Hertz/Frekuensi
Kc	Kecepatan Transfer Data
DFT	Discrete Fourier Transform
Ms	Milli Secon
PE	Performance Evaluator
kV	Kilo Volt
Ohm	Satuan Impedansi listrik
Steady state	Keadaan Stabil
Zf	Impedansi (Ohm)
I	Arus
I _a	Tegangan Fase a
I _b	Tegangan Fase b
I _c	Tegangan Fase c

V	Tegangan
V_a	Tegangan Fase a
V_b	Tegangan Fase b
V_c	Tegangan Fase c
FFT	Fast Fourier Transform

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

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 (Stevenson, 1990).

Manurut Arismunandar dan Kuwaraha (1972) saluran transmisi dibagi dua yaitu saluran udara (overhead line) yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-tiang transmisi dengan perantara isolator-isolator dan saluran bawah tanah (underground) yang menyalurkan melalui kabel-kabel bawah. Dibandingkan saluran bawah tanah, saluran udara terpengaruh oleh cuaca buruk, topan, hujan angin, bahaya petir yang mengakibatkan rentan terjadinya gangguan hubung singkat pada jaringan tersebut.

Sebuah sistem tenaga listrik harus sangat menjamin tersedianya energi listrik yang diluluskan pada setiap beban yang terhubung pada sistem tersebut. Kontinuitas ini sering dihadapkan pada masalah gangguan hubung singkat yang timbul dalam tenaga listrik, Gangguan ini tidak dapat dihilangkan keberadaannya. Karena usaha yang dapat dilakukan adalah menghindari atau mencegah efek lanjutan akibat gangguan tersebut.

Relai merupakan elemen yang dapat mendekteksi adanya gangguan. Untuk proteksi jaringan transmisi biasanya digunakan beberapa jenis relai diantaranya relai jarak, relai arus lebih dan relai pilot. Jenis relai tersebut mempunyai keuntungan dan kekurangan masing-masing. Ada juga jenis relai pilot dengan tipe *current differential*.

Oleh karena relai diferensial tidak digunakan untuk proteksi saluran transmisi karena terminal-terminal dari saluran terpisah sangat jauh, sehingga tidak memungkinkan untuk menghubungkan keluaran sekunder CT (Trafo Arus) pada tipe terminal sebagaimana mestinya. Relai pilot hanya berfungsi sebagai proteksi utama dan dapat berfungsi sebagai cadangan jika diberikan relai tambahan.

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 dibuat.

B. Rumusan masalah

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

1. Bagaimana model sistem saluran transmisi, gangguan dan relai ?
2. Bagaimana performa dari sistem saluran transmisi, gangguan dan relai ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk menghasilkan model sistem saluran transmisi, gangguan serta relai
2. Untuk mendapatkan performa dari model-model tersebut

D. Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Sistem yang akan di simulasikan adalah sistem saluran transmisi dengan panjang saluran 100 Km
2. Penelitian hanya meninjau gangguan hubung singkat internal dan eksternal pada saluran transmisi.
3. Rasio VT (voltage Transformator) di asumsikan 1 : 1
4. Relai yang di tinjau hanya relai yang berada di fase A
5. Sistem komunikasi relai di luar pembahasan.
6. Resistansi gangguan hanya bersifat resistif.
7. Gangguan yang di bahas hanya empat tipe gangguan yaitu satu-fasa ke tanah (Ag), dua-fasa ke tanah (ABg), dua-fasa (AB) dan tiga-fasa (ABC).
8. Performa relai merupakan kinerja relai terhadap gangguan internal dan eksternal pada gangguan transmisi.

E. Manfaat penelitian

1. Penelitian ini dapat menambah pengetahuan bagi penulis tentang sistem transmisi, penggunaan Software PSCAD yang penulis gunakan dalam penelitian ini
2. Dapat menjadi tambahan 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 balok 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.

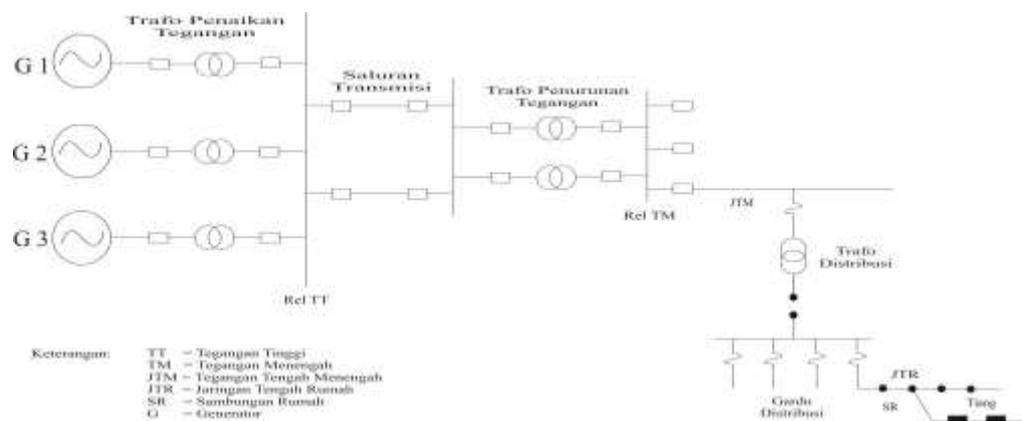
Lampiran, Berisi tentang dokumentasi hasil penelitian serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

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 kala 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 2.1 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.



Gambr 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 (flas over) pada isolator (Stevenson, 1990)

B. Arus Gangguan Hubung Singkat

1. Pengertian gangguan

Gangguan adalah keadaan tidak normal pada suatu sistem tenaga. Sistem tenaga yang terdiri dari generator, pemutus, transformator, rangkaian transmisi dan distribusi, suatu saat akan mengalami gangguan. Gangguan disebabkan adanya kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus normal (Stevenson, 1990)

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, termis 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

Hal ini dapat menyebabkan terjadinya percikan bunga api (flashover) pada isolasi jaringan. Beda tegangan tinggi antara konduktor dengan ground tiang transmisi menyebabkan terjadinya ionisasi pada udara sekitarnya, sehingga memberikan jalan bagi muatan listrik yang diinduksikan oleh petir mengalir ke tanah dan membentuk jalur ionisasi sehingga impedansi ke tanah dan menjadi rendah. Ini memungkinkan mengalirnya arus fase dari penghantar ke tanah.

b. Polusi (debu)

Debu-debu yang menempel pada isolator merupakan konduktor yang bias konduktor yang biasa menyebabkan terjadinya loncatan api.

c. Pohon-pohon yang tumbuh di dekat saluran transmisi

d. Retak-retak pada isolator

Dengan adanya retak-retak pada isolator maka secara mekanis apabila ada petir yang menyambar akan terjadi tembus (breakdown) pada isolator.

3. Klasifikasi Gangguan Hubung Singkat

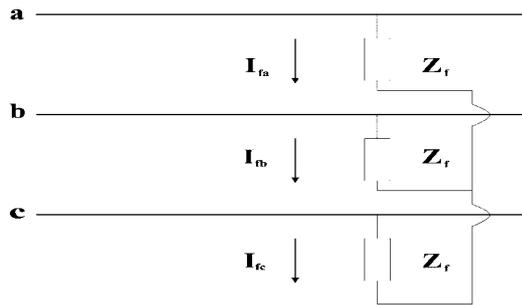
Menurut Stevenson, (1990), klasifikasi gangguan hubung singkat berdasarkan bentuknya terbagi atas dua, yaitu: Gangguan simetris (hubung singkat tiga-fase) dan gangguan tak simetris. Gangguan simetris merupakan gangguan yang terjadi akibat adanya hubung singkat pada ketiga fase saluran penghantar, gangguan ini tidak akan merubah bentuk ke simetrisan pada sistem. Tegangan pada gangguan adalah:

$$V_a = I_a Z_f \dots\dots\dots(1)$$

Karena hanya arus-arus yang positif yang mengalir,

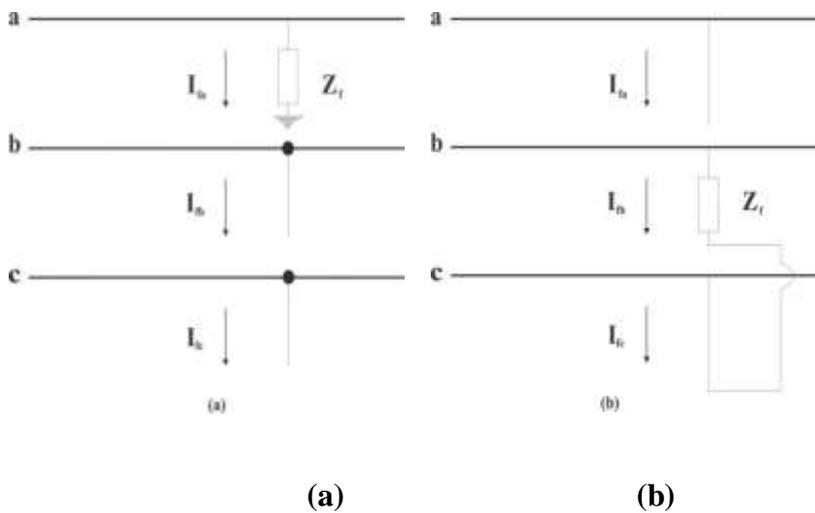
$$V_{a1} = I_{a1}Z_f = V_f - I_{a1}Z_1 \dots\dots\dots(2)$$

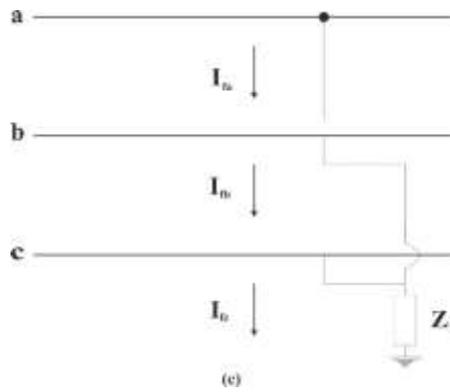
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 2.2 Gangguan tiga-fase sistematis

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





(c)

Gambar 2.3 (a) Gangguan satu-fase ke tanah, (b) Gangguan antar-fase, (c) Gangguan antar-fase ke tanah.

- Gangguan satu fase ke tanah melalui Z_f , diperoleh persamaan:

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \dots\dots\dots(4)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \dots\dots\dots(5)$$

- Gangguan antar fase melalui Z_f , diperoleh persamaan:

$$V_c = V_b - I_b Z_f \dots\dots\dots(6)$$

$$I_a = 0 \dots\dots\dots(7)$$

$$I_b = -I_c \dots\dots\dots(8)$$

- Gangguan dua fase ke tanah melalui Z_f , persamaannya adalah:

$$V_a =$$

$$V_{a2} \dots\dots\dots(9)$$

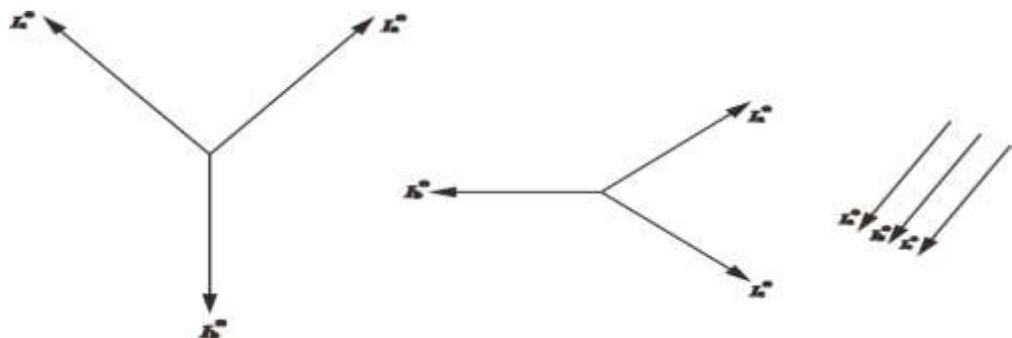
$$I_{a1} =$$

$$\frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + (Z_0 + 3Z_f)/(Z_2 + Z_0 + 3Z_f)} \dots\dots\dots(10)$$

4. Komponen Simetris

Menurut Stevenson, (1990), salah satu metode yang sering digunakan untuk menyelesaikan rangkaian tiga-fasa yang tak-seimbang adalah metode komponen simetris yang diperkenalkan oleh C. L. Fortesque. Cara *Fortesque* membuktikan bahwa suatu sistem tiga-fasa yang tak-seimbang dapat diselesaikan dalam tiga sistem fase seimbang yang disebut komponen simetris dari fase aslinya. Masing-masing himpunan komponen mempunyai panjang yang sama dan besar sudut yang sama antara fase yang berdekatan. Himpunan seimbang dari komponen-komponen tersebut adalah:

- Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan terpisah sejauh 120° satu dengan yang lainnya, dan mempunyai urutan fase yang sama dengan fasor aslinya.
- Komponen urutan negative terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan terpisah sejauh 120° satu dengan yang lainnya, dan mempunyai urutan fase yang berlawanan dengan fasor aslinya.
- Komponen urutan nol yang terdiri dari fasor yang sama besarnya dan dalam fase yang sama.



Gambar 2.4 komponen simetris dari tiga fase tak seimbang

Keterangan Gambar:

$I_a^{(0)}$: Tegangan urutan nol fase-a $I_a^{(2)}$: Tegangan urutan negatif fase-a

$I_b^{(0)}$: Tegangan urutan nol fase-b $I_b^{(2)}$: Tegangan urutan negatif fase-b

$I_c^{(0)}$: Tegangan urutan nol fase-c $I_c^{(2)}$: Tegangan urutan negatif fase-c

$I_a^{(1)}$: Tegangan urutan positif fase-a $I_b^{(1)}$: Tegangan urutan positif fase-

b

$I_c^{(1)}$: Tegangan urutan positif fase-c

5. 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 karna 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 relay pengaman, sumber daya DC merupakan sumber untuk mengoperasikan relay pengaman dan pemutus tenaga PMT yang akan menerima perintah akhir dari relay 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.

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

Tugas relay proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya.

Dalam beberapa hal relay hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan.

Dari uraian di atas maka relay 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 seminimum mungkin (Syukriyadin dkk, 2011).

Tujuan dari relai adalah untuk mendeteksi adanya gangguan dan mengoperasikan pemutus tenaga yang benar sehingga dapat dipisahkan peralatan yang terganggu dari sistem secepat mungkin dan meminimalkan kerusakan yang mungkin terjadi. Relai juga berfungsi untuk menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dalam beberapa hal relai hanya memberi gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan peralatan (Mason, 1979).

1. Fungsi Sistem Proteksi

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi perubahan parameter sistem, mengevaluasi besar perubahan parameter dan membandingkannya dengan besaran dasar yang telah ditentukan 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, membatasi 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 (Mason, 1979).

Fungsi sekunder sistem proteksi adalah memberikan indikasi tentang lokasi gangguan dan jenis gangguan. Data ini tidak hanya membantu dalam mempercepat perbaikan tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk dibandingkan dengan hasil pengamatan operator dan hasil pencatatan alat pendeteksi gangguan (fault detector). Hasilnya dapat digunakan untuk analisis efektivitas pencegahan gangguan.

2. Syarat-syarat Relai Pengaman

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

a. Cepat bereaksi

Relay 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 (C.B) 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 relay yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (time delay), seperti yang ditunjukkan persamaan :

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \dots\dots\dots$$

(11)

dimana :

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

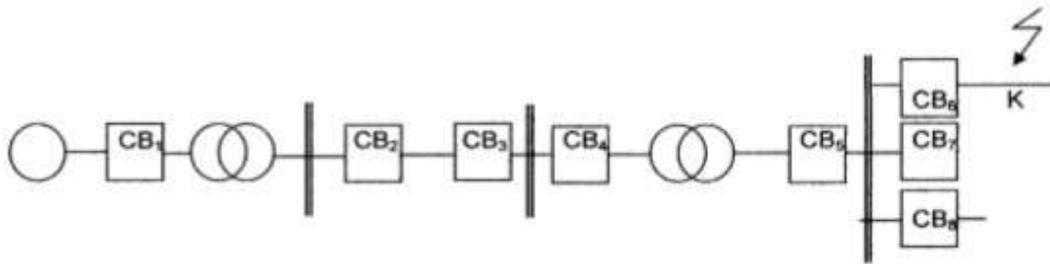
t_p = waktu bereaksinya unit relai

t_{CB} = waktu yang dipergunakan untuk pelepasan C.B

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

b. Selektif

Yang dimaksud dengan selektif di sini adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, di mana hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi, maka relai pengamanan harus mempunyai kemampuan selektif yang baik. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin. Berikut diberikan contohnya pada Gambar 1.1:



Gambar 2.5 Suatu Sistem Tenaga Listrik yang Sederhana Mengalami Gangguan Pada Titik K (Taqiyyudin. 2006),

Dalam sistem tenaga listrik seperti gambar di atas, apabila terjadi gangguan pada titik K, maka hanya C.B.6 saja yang boleh bekerja sedangkan untuk C.B.1, C.B.2 dan C.B. - C.B. yang lain tidak boleh bekerja.

c. Peka / sensitif

Relai harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan di daerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban / respons.

d. Andal/reliabilit

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 relay dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 X, maka :

$$\text{keandaIan relai} = \frac{23}{25} \times 100 \% = 92 \% \dots\dots\dots(12)$$

Keandalan dapat dibagi dua :

- 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).

f. Murah / economy

Relai sebaiknya yang murah, tanpa meninggalkan persyaratan-persyaratan yang telah tersebut 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 selain daerah pengamanan ini harus tumpang tindih (overlap) (Ram dan Vishwakarma, 1995).

4. Sistem Proteksi Utama dan Penyangga

Sistem proteksi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

a. Proteksi Utama

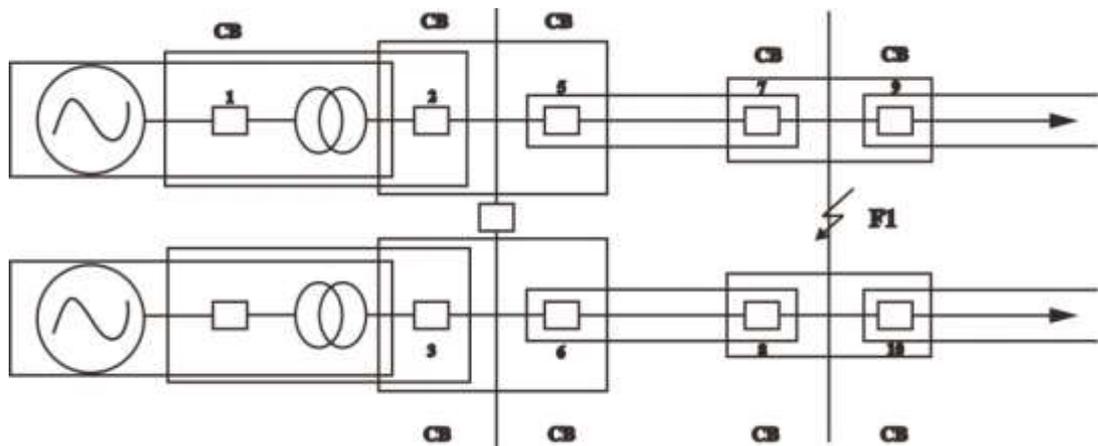
Proteksi utama merupakan proteksi tingkat pertama dalam zona proteksi yang diberikan. Proteksi ini beroperasi dengan waktu secepat mungkin dan melakukan pemutusan minimum bagian dari sistem pelayanan. Sistem proteksi utama dapat saja gagal dikarenakan:

1. Peralatan detektor/sensor tidak dapat berfungsi dengan baik
2. Relai proteksi gagal beroperasi
3. CB tidak mau terbuka
4. Kawat-kawat penghubung rusak, Dll.

Jika hal tersebut terjadi maka harus ada relai proteksi lain yang bereaksi dan sistem proteksi ini disebut dengan sistem proteksi pembantu/penyangga.

b. Proteksi Penyangga

Proteksi ini berfungsi memberikan perlindungan bantuan hanya ketika proteksi utama mengalami kegagalan (kerusakan). Contoh sistem proteksi utama dan penyangga ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.6 Sistem proteksi utama dan penyangga

Jika terjadi gangguan pada F1 seharusnya CB:7, 8, 9, 10 terbuka. Tetapi bila terjadi suatu hal pada CB 7 (dalam hal ini rusak), maka yang berfungsi sebagai proteksi penyangga adalah CB 5 dan akan segera diperintahkan membuka.

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 perlindungannya dengan semua keadaan sistem yang lain. Relai ini harus memberikan daya pada kumparan pemutus (trip coil) untuk membuka atau menutup, menyediakan pengamanan terhadap pemutusan yang keliru (proses blok) untuk gangguan yang terjadi di luar daerah tersebut. Suatu relai harus mempunyai kemampuan untuk membuka keputusan logis berdasarkan keadaan sinyal masukannya sehingga relai tersebut mampu menghasilkan keluaran yang sinyal masukannya benar untuk setiap kemungkinan keadaan sinyal.

b. Pemutusan Daya

Pemutusan 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 di rangkaian. Hal ini dimaksudkan untuk mengisolasi suatu gangguan pada elemen sistem daya.

Pemutus daya ini harus memiliki kapasitas yang cukup untuk memikul arus hubung singkat maksimum sesaat yang dapat mengalir pada pemutus daya dan

kemudian memutuskannya. Pemutus daya juga harus mampu menahan proses penutupan balik pada saat hubung singkat (reclosing) dan kemudian memutuskannya menurut standar yang telah ditentukan (ram dan Vishwakarma, 1995).

D. Beberapa Jenis Relai Proteksi Untuk Saluran Transmisi

1. 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 member perintah trip ke pemutus daya sesuai dengan karakteristik waktunya.

2. Relai jarak

Relai jarak merupakan perangkat penting sebagai alat proteksi saluran transmisi terhadap bahaya gangguan hubung singkat. Bagian utama dari relai jarak yang merasakan adanya gangguan hubung singkat adalah bagian yang bekerja untuk menentukan perbandingan antara besaran tegangan dengan besaran ukur pada suatu tempat di mana dipasang relai proteksi tersebut. Besaran yang diperoleh berupa impedansi, resistansi, reaktansi saluran.

Untuk kerja dari relai jarak ditentukan oleh perbandingan tegangan arus pada jaringan yang diproteksinya pada relai jarak ada keseimbangan terhadap relai jarak dan arus yang dinyatakan sebagai saluran impedansi. Relai akan beroperasi

jika perbandingan tegangan dan arus lebih kecil dari harga yang telah ditentukan sebelumnya yang merupakan harga dari penyetelan tersebut.

c. Relai Pilot

Menurut mason, (1979) relai pilot adalah jenis relai terbaik 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 pengetripan dan pemutusan otomatis tersebut semestinya membuat sistem transmisi terisi hingga hampir mencapai batas kestabilannya, dengan demikian saluran transmisi dapat menyalurkan tegangan sebaik mungkin untuk di kirimkan.

E. Relai Pilot

Relai pilot digunakan dibebberapa bentuk multiterminal di mana diperlukannya pemutusan (trip) dengan kecepatan tinggi, hanya untuk konfigurasi saluran yang tidak mungkin untuk digunakannya relai jarak.

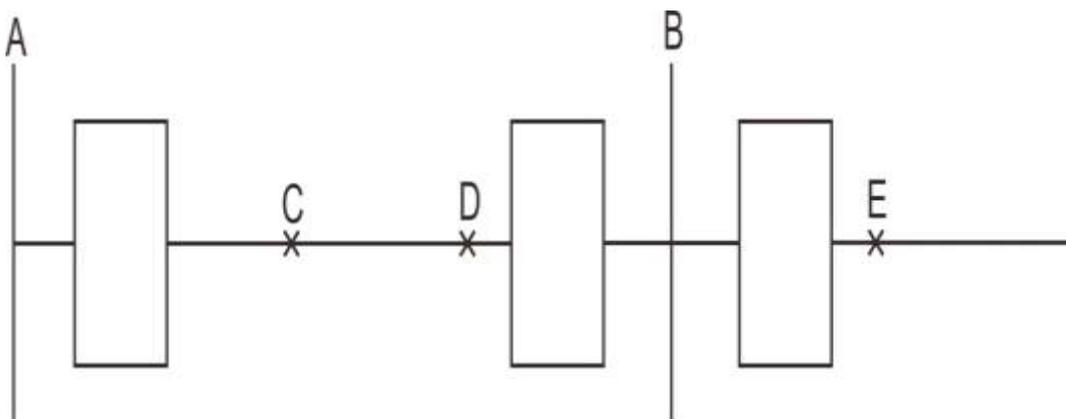
Secara umum metode proteksi untuk relai pilot terdiri atas dua metode, yaitu pilot (unit) dan non-pilot (non-unit). Perbedaan antara kedua metode tersebut terletak dari cara kerja, dimana pada metode pilot (unit) menggunakan teknologi komunikasi, sebaliknya pada metode non-pilot (non-unit) tidak. Ada tiga jenis

pada metode pilot (unit) yaitu relai pilot diferensial arus, relai pilot perbandingan arah dan relai pilot perbandingan arus.

Istilah “pilot” berarti diantara ujung-ujung saluran transmisi terdapat saluran yang saling berhubungan dari cara dimana informasi bias diperoleh. Tiga tipe relai pilot saluran yang saat ini digunakan adalah: “currier-current pilot”, “microwave pilot” dan “wire pilot”.

Currier-current pilot merupakan relai proteksi yang digunakan untuk tegangan rendah, frekuensi tinggi dimana pentransmision arus melalui konduktor dari jaringan listrik ke penerima ujung yang lain, pertanahan dan secara umum konduktor digunakan sebagai kabel tanah. Microwave pilot adalah sistem operasi *ultra high frequency*. Wire pilot secara ekonomis umumnya banyak dan baik digunakan untuk saluran yang berjarak hingga 5 mil atau 10 mil.

Gambar 2.7 berikut akan menggambarkan tujuan dari relai pilot



Gambar 2.7 Jaringan transmisi untuk menggambarkan tujuan relai pilot(mason, 1979)

Gambar 2,7 memeperlihatkan diagram single line dari bagian jaringan transmisi yang menghubungkan bus A dan B, yang menunjukkan bagian garis yang berada disisi B. Asumsi kita berada di bus A, diamana tiap jarak dapat tepat membaca tegangan, arus dan sudut fase antara bus A dan B. Dengan diketahui karakteristik impedansi per unit dari jaringan dan jarak antara bus A dan bus B, maka dapat diketahui juga perbedaan hubung singkat yang terjadi antara bus C dan D, yang jauh dari ujung saluran. Tapi kita tidak dapat menentukan besarnya gangguan yang terjadi di D dan gangguan di E, karna impedansi (tahanan) antara D dan E yang begitu kecil (diabaikan) untuk menghasilkan perbedaan nilai yang akan diukur. Meskipun kita dapat mendeteksi perbedaan nilai yang di sebabkan ketidakakuratan dalam pengukuran. Dan tentu saja, akan menemukan kesulitan jika gelombang arus seimbang dilibatkan. Dalam keadaan seperti ini, akan sulit menentukan tripping pada CB saat terjadi gangguan pada D. Tetapi jika kita berada di bus B, meskipun kesalahan dalam pengukuran atau bersal dari sumber atau apakah ada gelombang seimbang, maka ditentukan secara benar apakah kesalahan pada D atau E.

Apa yang dibutuhkan pada bus A, dalah beberapa macam indikasi ketika sudut fase arus pada bus B berbeda kira-kira 180° dari nilai gangguan yang ada pada jaringan AB. Hali ini berlaku sama pada bus B untuk gangguan yang terjadi pada sisi bus A. Infomasi ini dapat diperoleh dari setiap bus dengan contoh yang sesuai dari arus aktual yang terdapat pada bus lain atau dengan sinyal dari bus lain ketika sudut fase arus aktual yang terdapat pada bus lain atau dengan sinyal dari bus lain ketika sudut fase arus kira-kira 180° berda pada saluran yang diproteksi.

Jadi, dari ilustrasi tersebut tujuan dari sebuah relai pilot adalah untuk mendapatkan informasi yang pasti dari satu ujung bagian jaringan (saluran) ke ujung jaringan yang lainnya untuk membuat tripping yang selektif dalam memproteksi sebuah saluran (Mason, 1979).

F. Relai Pilot Perbandingan Fase Untuk saluran Transmisi

Menurut Mason, (1979) Relai Perbandingan fase mirip seperti relai wire-pilot. Relai ini adalah jenis peralatan pembawa-arus-percontohan, pembawa arus konvensional yang paling sederhana. Namun, aplikasi terbaiknya adalah dua jalur terminal, aplikasi multiterminal-line membutuhkan pemeriksaan yang sangat hati-hati, dan sensitiv. Proteksi cukup bermutu rendah untuk jalur dua-terminal, bahkan untuk garis dua terminal, sensitivitas fase-gangguan dari perbandingan fase tidak sebegus perbandingan directional. Aplikasi yang ideal untuk perbandingan fase adalah dengan garis dua-terminal yang pasti tidak akan disadap, di mana besaran arus gangguan cukup tinggi untuk menjamin kecepatan tinggi tersandung di bawah semua kemungkinan kondisi operasi sistem. Fakta bahwa relaying fase-perbandingan tidak menggunakan tegangan (kecuali untuk pengujian) mungkin tidak menguntungkan, tergantung pada jenis relai back-up yang digunakan. Jika relai jarak digunakan untuk back-up, kualitas tegangan sumber yang sama diperlukan seperti untuk relai directional-comparison. Hanya ketika relai arus lebih (mungkin arah) digunakan untuk perlindungan back-up bahwa fase-perbandingan relaying menikmati setiap keuntungan dan tidak menggunakan tegangan a-c. Relai fase-perbandingan tidak terpengaruh oleh

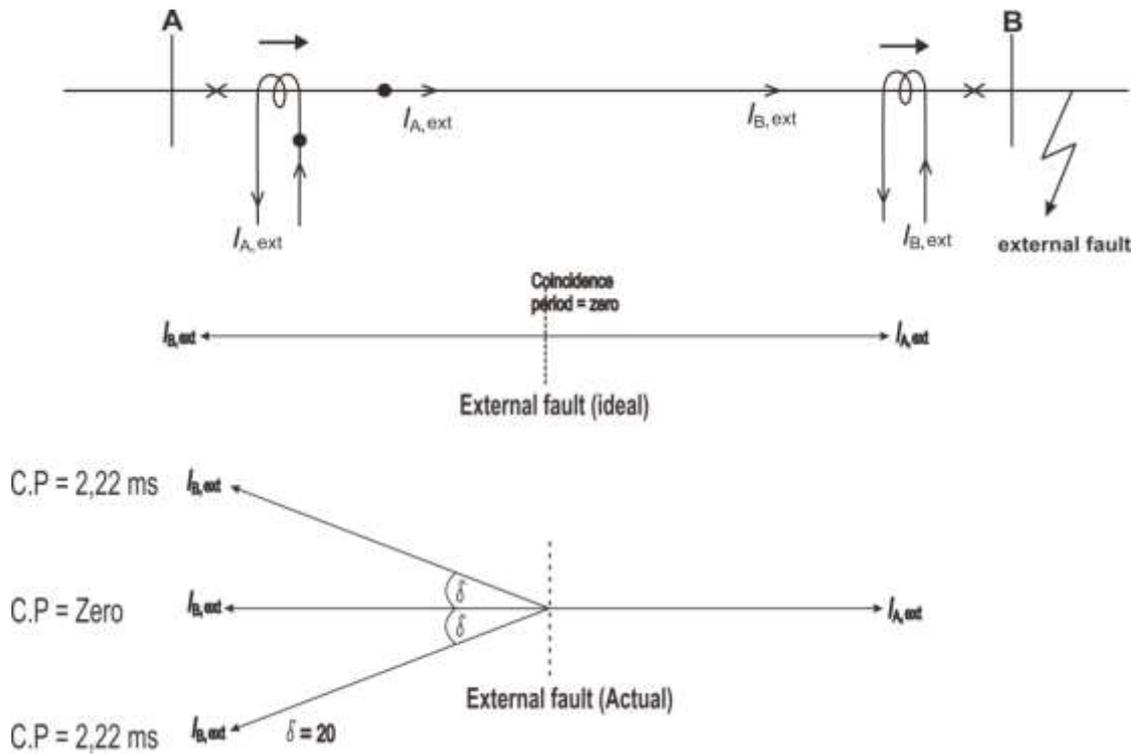
induksi timbal balik dari sirkuit listrik tetangga. Ini adalah keunggulan dibandingkan perbandingan terarah. Subjek ini diperlakukan secara lebih rinci di bawah judul "Fase Gabungan dan Perbandingan Directional." Fakta bahwa peralatan back-up-relaying yang mungkin digunakan sepenuhnya terpisah dari peralatan fase-perbandingan adalah keuntungan dari perbandingan fase. Satu peralatan mungkin tidak tersedia untuk perawatan tanpa mengganggu yang lain dengan cara apa pun. Perbandingan yang sangat baik dari fase dan *directional-comparison relaying* diberikan dalam Referensi 13.

Menurut Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, (2003), Pada tipe relai ini, kita mengeksploitasi pergeseran fasa yang dialami oleh arus di ujung yang terdekat dengan patahan, karena kesalahan berubah dari internal ke eksternal. Akhir, yang jauh dari kesalahan, tidak dapat melihat perubahan apa pun dalam fase arus gangguan

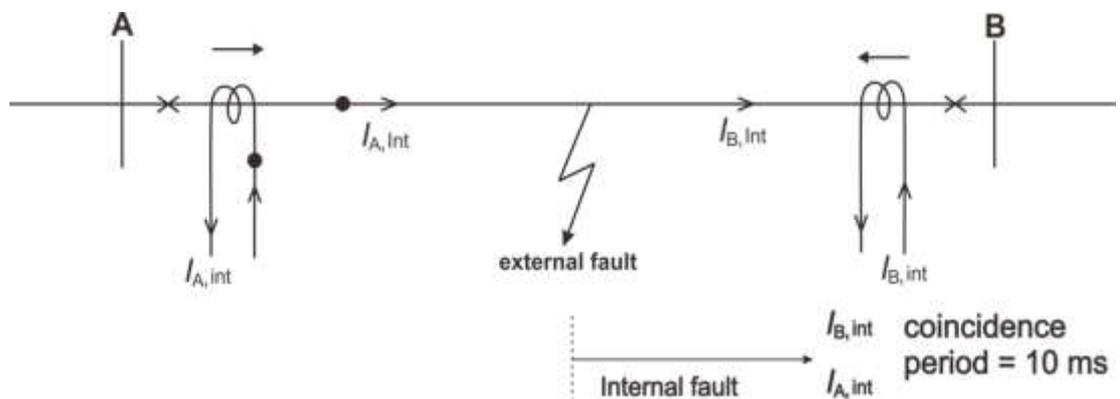
sebagai kesalahan berubah dari internal ke eksternal tetapi ujung yang lebih dekat ke kesalahan melihat perubahan tajam, hampir 180° dalam fase arus.

Arus akhir lokal dan remote dapat diatur agar keluar dari fase untuk kondisi gangguan atau beban eksternal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Ini dapat dicapai dengan memilih ujung CT yang tepat sebagai referensi. Pergeseran fasa akan, bagaimanapun, tidak persis 180° , tetapi dapat tertinggal atau memimpin posisi ini dengan sudut kecil ϕ yang mewakili beban bemp yang dibawa di atas garis. Karena kesalahan berubah dari eksternal menjadi gangguan internal, arus pada ujung yang terdekat akan berkisar sekitar 180° dalam fase dan sekarang akan lebih banyak atau lebih dalam fase dengan akhir yang seperti pada

Gambar 2.9. Jadi, jika kita mengukur pergeseran fasa antara arus dikedua ujungnya, maka kita dapat dengan mudah memutuskan apakah gangguan itu internal atau eksternal.



Gambar 2.8 Fase perbandingan relay (arus ditampilkan pada sisi sekunderCT) (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003),

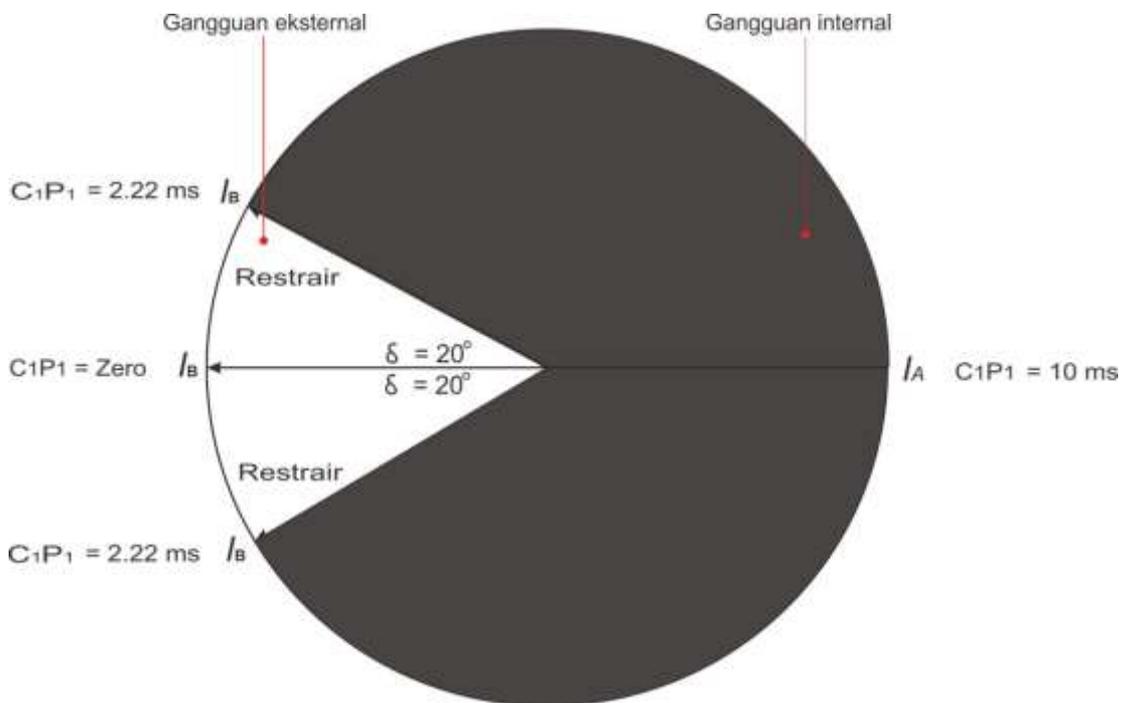


Gambar 2.9 Fase perbandingan relay (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003),

Dengan asumsi katakanlah, 20 derajat maka setiap pergeseran fasa antara 0 dan kurang lebih 160" akan menunjukkan kesalahan internal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Pergeseran fase ke 160 menimbulkan periode kebetulan C.E dari

$$\frac{(180-\delta)(20)}{180} = 2,22ms \dots\dots\dots(13)$$

untuk pergeseran fasa k160

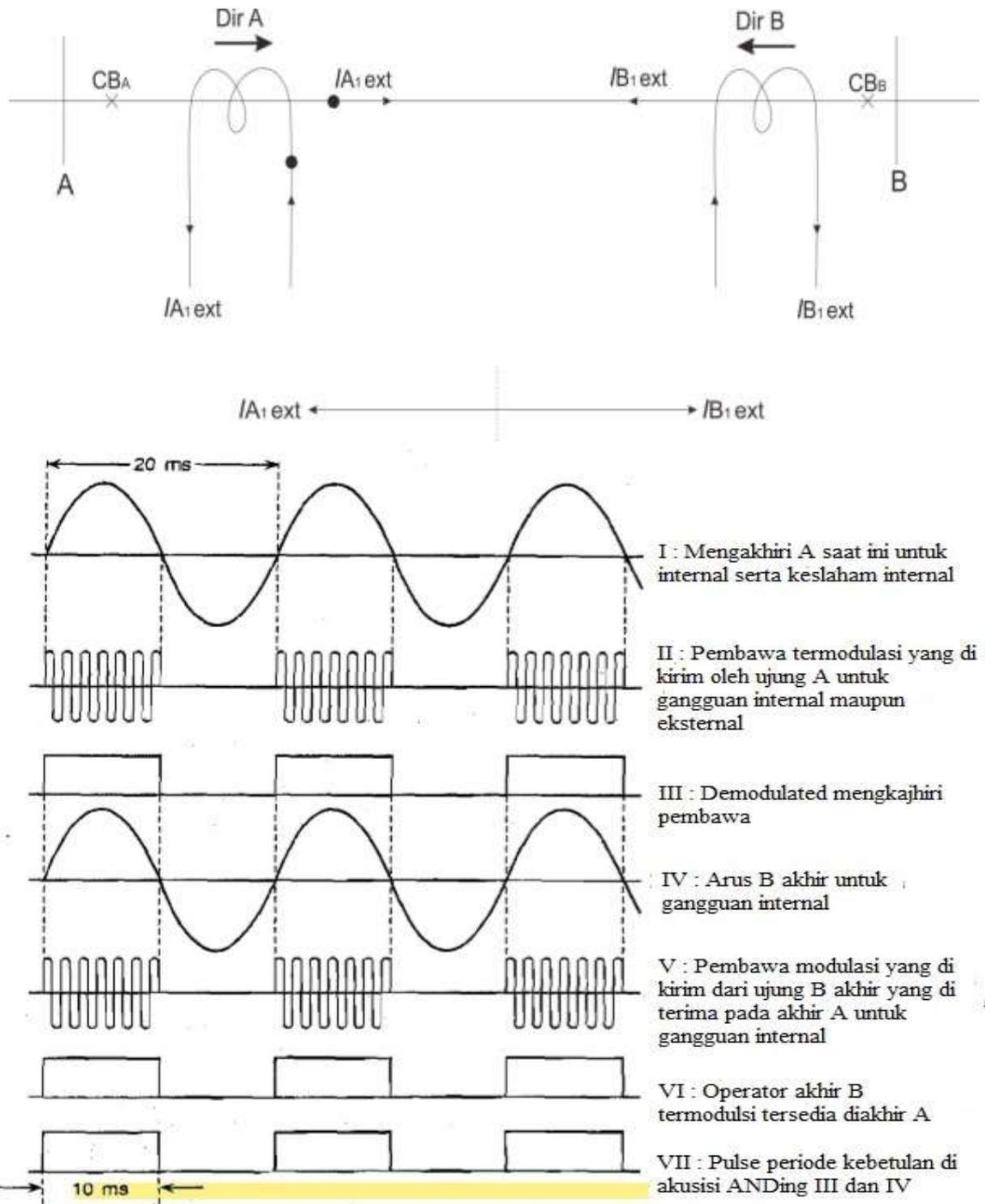


Gambar 2.10 Karakteristik Fasa perbandingan relai. (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003),

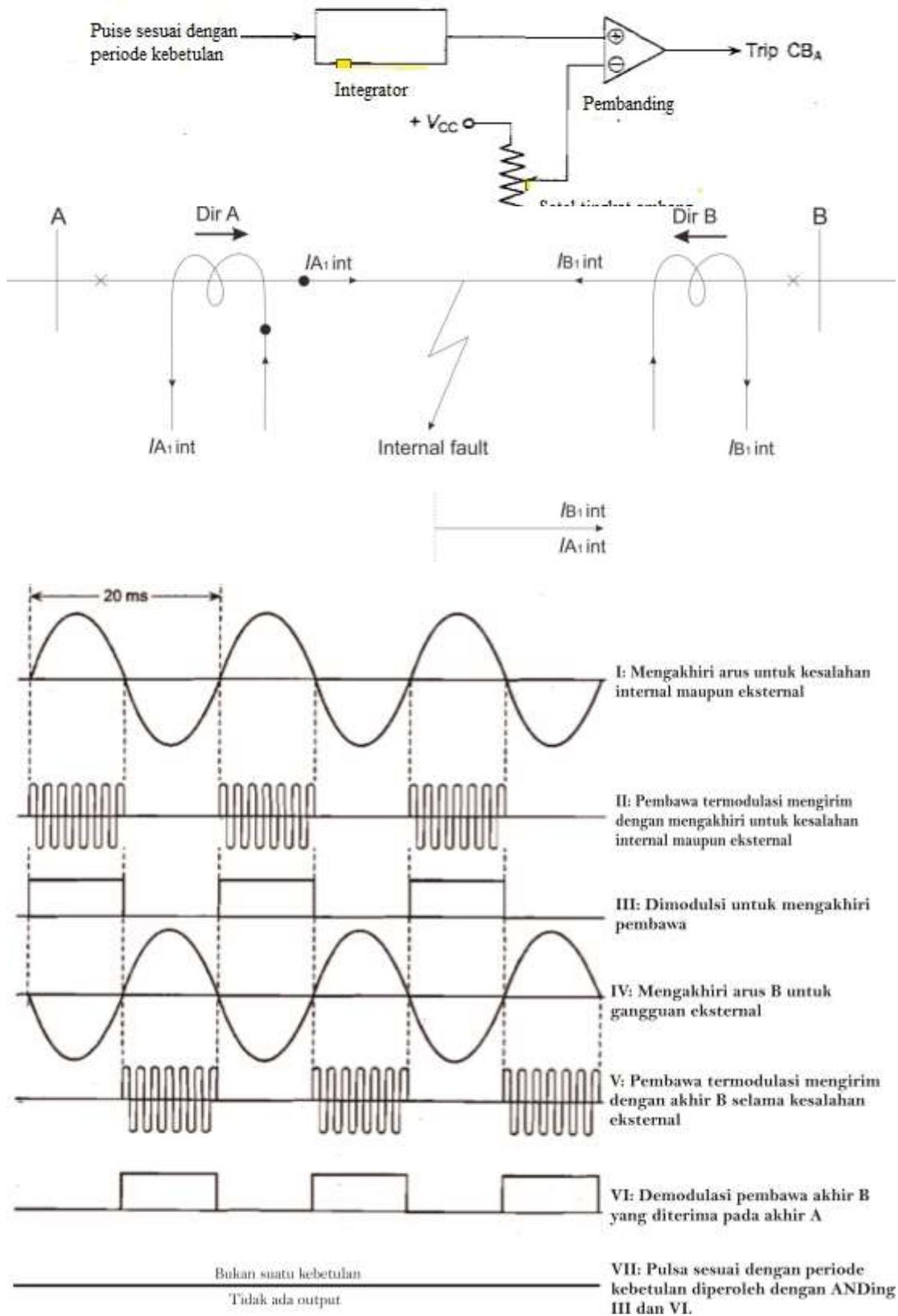
Gambar 2.11, 2.12 dan 2.13 menunjukkan metode untuk implementasi fisik dari konsep yang disebutkan di atas. Gambar 2.11 menunjukkan kesalahan internal. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, setiap akhir secara berkala

mengirimkan pembawa hanya selama paruh positif dari periode waktu gelombang ac frekuensi daya, dan menghasilkan generasi gelombang pembawa termodulasi. Modulasi ini dapat dengan mudah ditemukan kembali oleh demodulasi untuk mendapatkan bentuk gelombang persegi pada output. Untuk kesalahan internal, gambar itu menunjukkan bahwa gelombang persegi yang didemodulasi persis kebetulan. Oleh karena itu, periode kebetulan adalah 10 ms (berdasarkan 50 Hz).

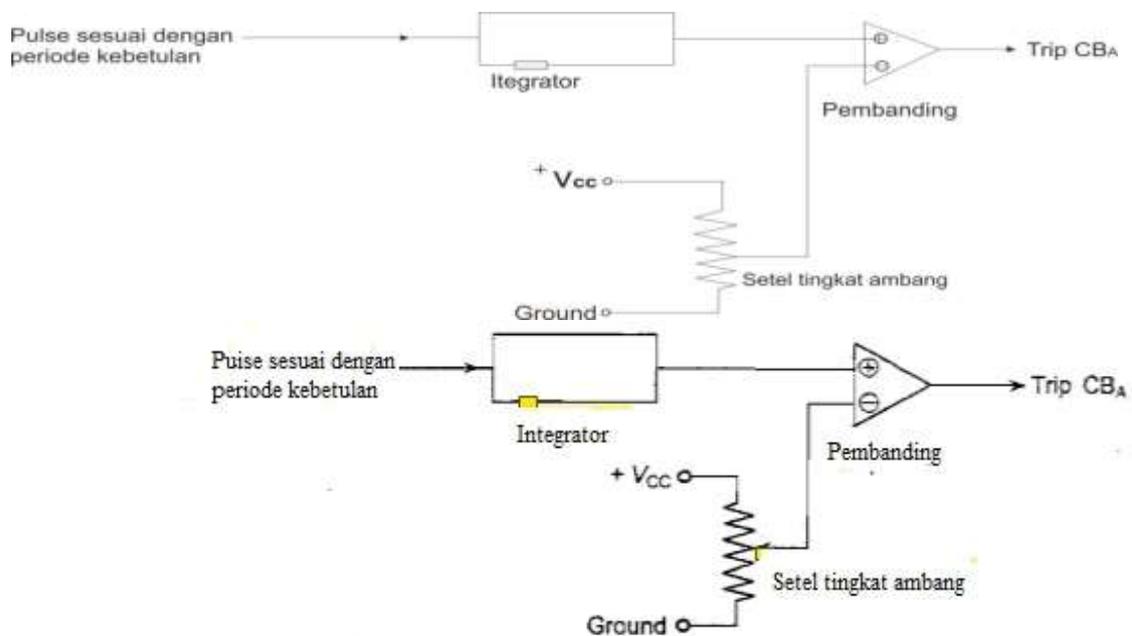
Gambar 2.12 menunjukkan kesalahan eksternal. Sekali lagi kedua ujungnya menghasilkan pembawa hanya selama setengah positif dari gelombang frekuensi daya, menghasilkan gelombang termodulasi yang sama. Namun, karena fase pergeseran, sekarang, gelombang persegi yang didemodulasi tidak memiliki kebetulan sama sekali atau periode kebetulan hampir nol. Periode kebetulan dapat dengan mudah ditemukan oleh ANDing dua gelombang dimodulasi. Untuk melihat apakah periode kebetulan lebih besar dari ambang tertentu, kita bisa menggunakan metode digital atau mengikuti langkah sederhana untuk mengintegrasikan gelombang persegi dan membandingkannya dengan nilai dc standar yang mewakili ambang yang diinginkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.11 Relai fase perbandingan (Gangguan internal) (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003),



Gambar 2.12 Relai fase perbandingan (Gangguan eksternal)
(Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003),



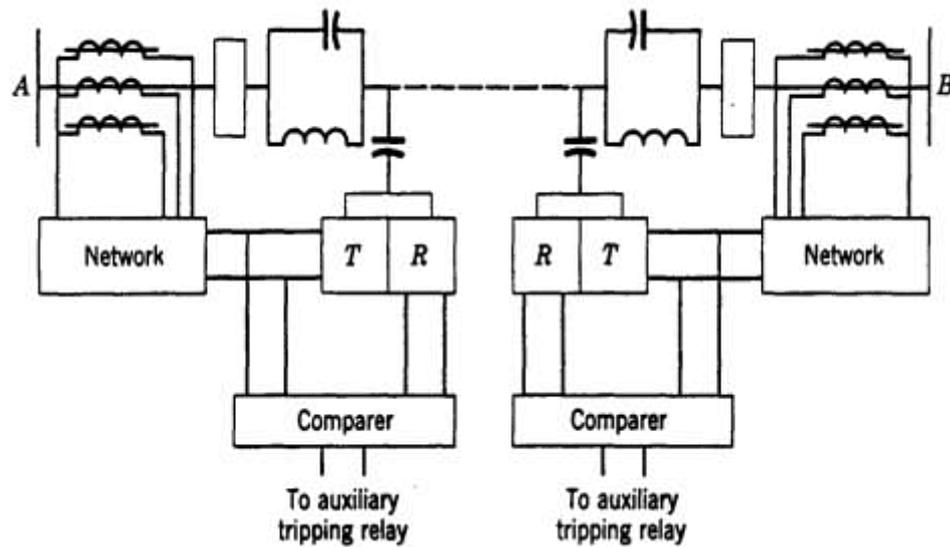
Gambar 2.13 Perangkat keras untuk mengukur periode kebetulan (Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003),

1. Prinsip Kerja Relai Pilot Perbandingan Fase

Peralatan relai perbandingan fasa menggunakan pengamatannya untuk membandingkan hubungan fasa antara arus yang masuk ke satu terminal dari bagian saluran transmisi dan meninggalkan arus yang lain. Besaran saat ini tidak dibandingkan, relai perbandingan fasa hanya menyediakan perlindungan primer; perlindungan back-up harus disediakan oleh peralatan relai tambahan. Relai pilot merupakan adaptasi dari prinsip-prinsip relai untuk perlindungan bagian saluran transmisi. Relai diferensial dari jenis yang diuraikan dalam Bab 3 tidak digunakan untuk proteksi jalur transmisi karena terminal-terminal suatu garis dipisahkan oleh jarak yang terlalu jauh untuk saling menghubungkan CT sekunder dengan cara yang dijelaskan. Istilah "pilot" berarti bahwa di antara ujung-ujung saluran transmisi ada saluran interkoneksi dari beberapa jenis di mana informasi dapat disampaikan. Tiga jenis saluran yang berbeda saat ini digunakan, dan mereka disebut "pilot kawat," "pilot arus-arus," dan "pilot microwave." Sebuah pilot kawat umumnya terdiri dari sirkuit dua-kawat dari saluran telepon ketik, baik kawat terbuka atau kabel; sering, sirkuit tersebut disewa dari perusahaan telepon

lokal. Pilot pembawa arus untuk tujuan relai pelindung adalah salah satu di mana tegangan rendah, frekuensi tinggi (30 kc hingga 200 kc) arus ditransmisikan sepanjang konduktor saluran listrik ke penerima di ujung lain, bumi dan tanah kawat umumnya bertindak sebagai konduktor kembali. Pilot microwave adalah sistem radio ultra-frekuensi tinggi yang beroperasi di atas 900 *megacycles*. Pilot kawat umumnya ekonomis untuk jarak hingga 5 atau 10 mil, di luar itu pilot pengangkut arus biasanya menjadi lebih ekonomis.

Gambar 2.7 menunjukkan secara skematik unsur-unsur utama peralatan di kedua ujung saluran transmisi dua-terminal, menggunakan pilot pembawa arus. Seperti pada relai c-wire-pilot, transformator arus saluran transmisi memberikan jaringan yang mengubah arus output CT menjadi tegangan output sinusoidal fase tunggal. Tegangan ini diterapkan pada transmitter arus dan ke "pemanding." Output dari penerima pembawa arus juga Diterapkan ke pemanding (mason, 1979).

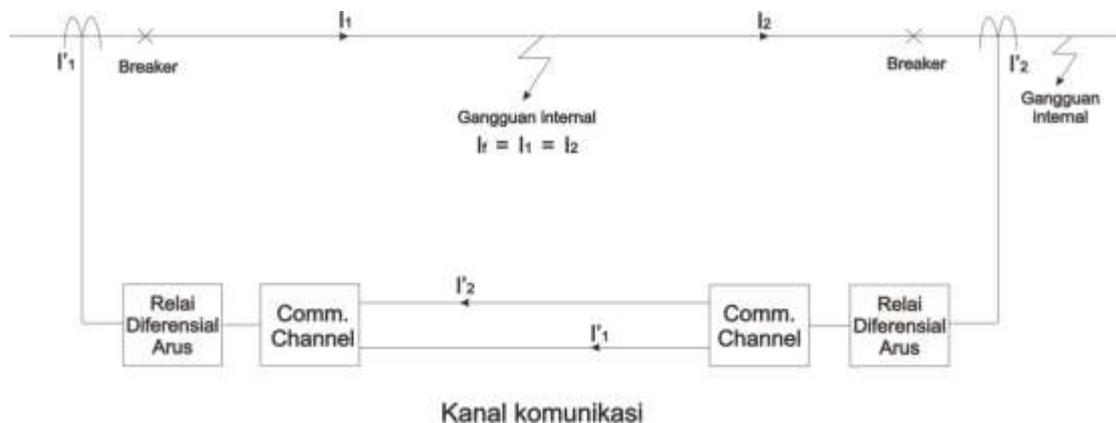


T = pemancar pembawa arus R = pembawa arus penerima.

Gambar. 2.14 Representasi skematik dari peralatan pembawa saat percontohan fase perbandingan (mason, 1979).

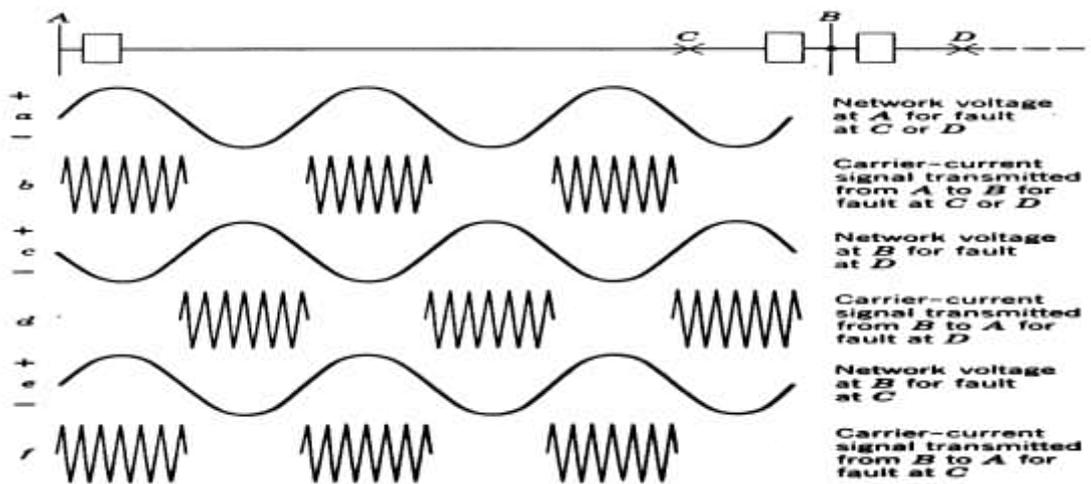
Komparator mengontrol pengoperasian relai bantu untuk mengatasi pemutus sirkuit saluran transmisi. Elemen-elemen ini menyediakan sarana untuk mentransmisikan dan menerima sinyal pembawa arus untuk membandingkan pada masing-masing ujung relasi fase relatif dari arus saluran transmisi di kedua ujung saluran. Mari kita periksa hubungan antara tegangan output jaringan di kedua ujung saluran dan juga sinyal pembawa arus yang ditransmisikan selama kondisi gangguan eksternal dan internal. Hubungan ini ditunjukkan pada Gambar. 3. Akan diamati bahwa untuk gangguan eksternal pada D, tegangan output jaringan di stasiun A dan B (gelombang and c) adalah 180° keluar dari fase; ini karena koneksi trafo arus di dua stasiun dibalik. Karena tegangan a-c digunakan untuk mengontrol pemancar, arus pembawa ditransmisikan hanya selama setengah siklus gelombang tegangan ketika polaritasnya positif. Sinyal pembawa-arus yang

ditransmisikan dari A dan B (gelombang b dan d) tergeser dalam waktu, sehingga selalu ada sinyal pembawa-arus yang dikirim dari satu ujung atau yang lain. Namun, untuk gangguan internal pada C, karena pembalikan tegangan output jaringan di stasiun B yang disebabkan oleh pembalikan arus listrik di sana, sinyal pembawa-arus (gelombang band f) adalah bersamaan, dan tidak ada sinyal dari kedua stasiun setiap setengah siklus lainnya.



Gambar 2.15 skema prinsip kerja relai pilot perbandingan fasa

Gambar 2.8 menunjukkan, jika suatu gangguan terjadi di saluran yang dilindungi (Gangguan internal) saluran di asumsikan saluran transmisi pendek, arus yang di ukur di dalam saluran bernilai kecil, maka perhitungan arus gangguan (I_f) $= I_1 - I_2$. Dan sebaliknya jika sumua terjadi di luar saluran yang dilindungi (gangguan eksternal), perhitungan arus yang memasuki daerah yang dilindungi sama dengan $I_1 - I_2 = 0$. Aliran arus I_1 dan I_2 yang terukur oleh kedua CT itu berubah menjadi arus sekunder I'_1 dan I'_2 , idealnya ketika saluran yang dilindungi tidak ada gangguan maka arus menjadi $(I'_1 - I'_2)$ yang menghasilkan I_f tetap bernilai 0 (Southern dkk, 1997).

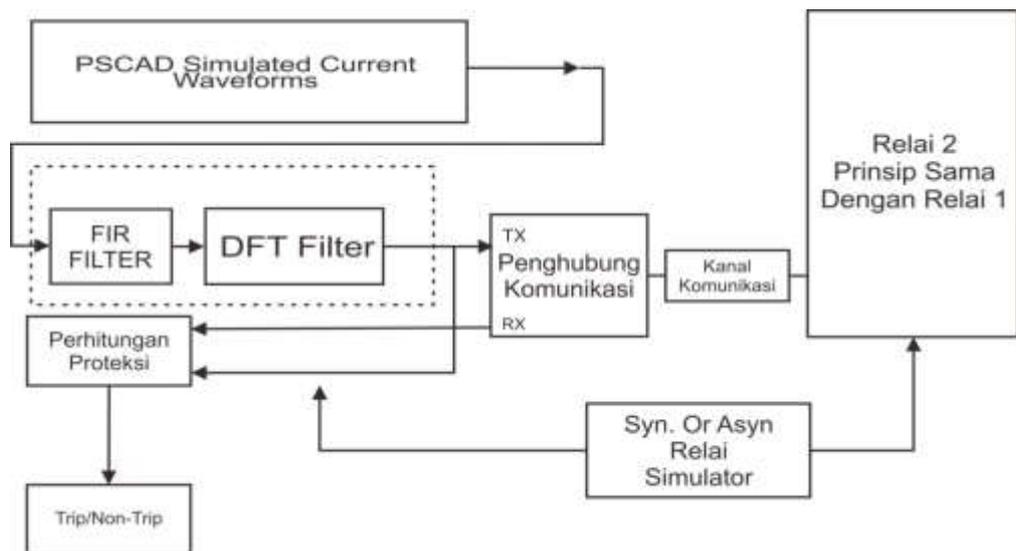


Gambar. 2.16 Hubungan antara tegangan output jaringan dan sinyal pembawa arus.

Tindakan relai fase-pembandingan untuk memblokir tersandung di kedua terminal setiap kali sinyal-sinyal arus-pandu tergeser dalam waktu sehingga ada sedikit atau tidak ada interval waktu ketika sinyal tidak ditransmisikan dari satu ujung atau yang lain. Ketika sinyal pembawa-arus kira-kira bersamaan, tersandung akan terjadi di mana ada cukup arus hubung singkat mengalir. di mana tegangan output jaringan ditumpangkan, dan kecenderungan tersandung dan memblokir, peralatan di satu stasiun mentransmisikan sinyal pembawa-arus pemblokiran selama satu setengah siklus, dan kemudian berhenti transmisi dan mencoba untuk perjalanan selama setengah siklus berikutnya; jika arus pembawa tidak diterima dari ujung jalur yang lain selama setengah siklus ini, peralatan beroperasi untuk melakukan trip breaker. Namun, jika arus pembawa diterima dari ujung jalur yang lain selama interval ketika pemancar arus-arus lokal menganggur, tripping tidak terjadi.

G. Simulator Proteksi Pilot Perbandingan Fase

Simulator proteksi Gangguan berdasarkan pada desain prototipe yang dibuat oleh pengguna atau pengarang-pengaran. Unsur-unsur yang dasar dalam simulator itu ditunjukkan pada Gambar 2.10



Gambar 2.17 Diagram simulator proteksi relai pilot perbandingan fase

Dari Gambar 2.10 terlihat bahwa, PSCAD menirukan bentuk gelombang arus yang menghasilkan sinyal arus gangguan. Satuan pengolahan sinyal terdiri dari FIR filter dan Discrete Fourier Transform (DFT). Fungsi satuan pengolahan sinyal untuk memproses data itu dan untuk mengubah ke nilai fasor-fasor frekuensi yang ada pada point – point pada diskret waktunya. Nilai fasor yang baru dihitung setiap 20 ms di suatu 50 Hz sistem daya. Masing – masing fasor berlabel dengan pengaturan waktu tersimpan kedalam memori dan memancarkan kepada nilai disetiap batas-data saluran. Secara serempak, relai ini menerima suatu

fasor dari relai lainnya yang terhubung via kanal komunikasi. Perhitungan relai menghasilkan fasor yang mempunyai pengaturan waktu yang sama seperti fasor yang diterima. Kedua fasor tersebut oleh penghitung proteksi, seperti prinsip kerja relai pada subBab 2.6.1. Hasil operasi dan nilai-nilai sinyal adalah yang dikirimkan kepada *Performance Evaluator (PE)*, di mana PE tersebut untuk menunjukkan keputusan trip atau tidak trip (Southern dkk, 1997).

H. 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 skematisirkit, 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 pasif 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).

PSCAD dan mesin simulasi EMTDC-nya, telah dikembangkan hampir 30 tahun, terinspirasi oleh ide dan saran oleh basis penggunaanya yang terus berkembang di seluruh dunia. Hal di atas adalah filosofi dasar pengembangannya (Muller, 2005).

PSCAD / EMTDC adalah simulasi domain waktu dan alat profesional untuk mempelajari perilaku transien jaringan listrik. PSCAD adalah antarmuka pengguna grafis dan EMTDC adalah mesin simulasinya. PSCAD / EMTDC adalah yang paling cocok untuk mensimulasikan tanggapan instan domain waktu, yaitu transien elektromagnetik sistem listrik. Ini dapat digunakan untuk semua aspek melakukan simulasi sistem daya termasuk perakitan sirkuit, kontrol *run-time*, analisis dan pelaporan (Wilson, P.L.)

Pada PSCAD/ EMTDC, beberapa cara juga disediakan untuk membuat beberapa model dan komponen khusus yang tidak ada di perpustakaan. EMTDC mendukung model yang ditulis dalam bahasa FORTRAN / C (Wilson, P.L.)

1. Studi Tipikal PSCAD

Dijelaskan dalam Muller, (2005), pengguna PSCAD mencakup insinyur dan ilmuwan dari 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, excitors, governor, turbin, transformer, jalur transmisi, kabel, dan muatan

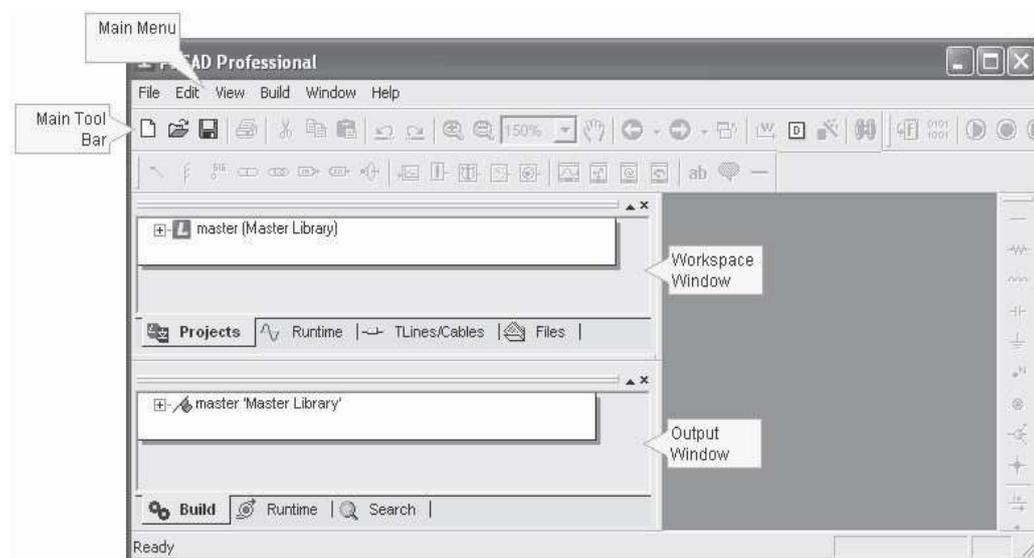
- b. Relai koordinasi
- c. Efek saturasi trafo
- d. Koordinasi isolasi transformator, pemutus dan penangkap
- e. Pengujian impuls transformer
- f. Studi resonansi sub-sinkron (SSR) jaringan dengan mesin, saluran transmisi, dan sistem HVDC
- g. Evaluasi desain filter dan analisis harmonik
- h. Kontrol desain sistem dan koordinasi FACTS dan HVDC; termasuk STATCOM, VSC, dan *cycloconverters*
- 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.

PSCAD/EMTDC digunakan oleh Washington Group International untuk melakukan studi transfer bus cepat di *IPEC Energy Center Indian Point 2 (IP2) Energi Corp.* Model simulasi terdiri dari sekitar 50 motor induksi baik pada level tegangan 6.9kV dan 480V dengan beban torsi dinamis, sembilan (9) transformer, tap changer, skema transfer bus, kesalahan bus, urutan beban, lebih dari 70 pemutus, kabel, dan jalur transmisi. (Corporation, Nayak)

2. Mengenal dan Menjalankan PSCAD

a. Memulai PSCAD

Untuk memulai PSCAD, pergi ke Start - Program - PSCAD di Menu Mulai Windows, dan pilih Edisi PSCAD mana saja yang Anda lisensinya. Ini akan membuka lingkungan utama PSCAD, seperti yang ditunjukkan di bawah ini (Muller. 2005).



Gambar 2.18. Lingkungan Utama PSCAD (Muller, 2005).

Anda harus melihat daftar item dibagian atas lingkungan (File, Edit, dll.). Barang-barang ini adalah bagian dari Menu Utama. Tombol-tombol langsung di bawah menu utama adalah bagian dari *Toolbar* Utama (Muller, 2005).

1). *Title, Menu and Main Tool Bar.*

Gambar di bawah ini menunjukkan Judul PSCAD V4 dan Bilah Menu



Gambar 2.19. Title, Menu and Main Tool Bar. PSCAD (Muller, 2005).

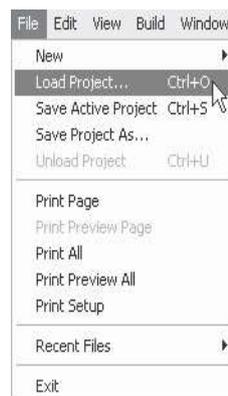
2). *Title Bar and Active Project*

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

3). *Menu Bar and Menu Items*

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 Anda klik kiri dengan penunjuk mouse Anda di atas salah satu menu ini, Anda 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 memuat proyek menggunakan menu File dari bilah Menu Utama (Muller, 2005).



Gambar 2.20. Menu File dari Bilah Menu Utama PSCAD (Muller, 2005).

4). *Toolbar Buttons*

Deretan tombol langsung di bawah bilah Menu Utama terdiri dari bilah Alat Utama.

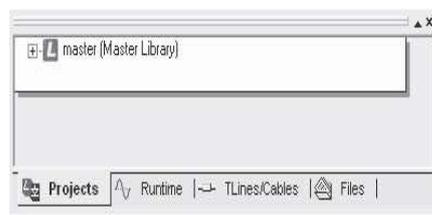


Gambar 2.21. *Toolbar Buttons* PSCAD(Muller, 2005).

Sementara item menu adalah proses dua tahap, *toolbar* menawarkan alternatif satu-klik. Tombol bilah alat utama memulai tindakan segera setelah anda mengkliknya dan karena itu akan lebih mudah digunakan. Untuk alasan ini, operasi yang paling sering digunakan memiliki tombol *toolbar* yang setara (Muller, 2005).

5). *Workspace and Output Windows*

Jika Anda 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 2.22 Jendela Ruang Kerja PSCAD (Muller, 2005).

Ruang Kerja memberi Anda pandangan menyeluruh tentang pustaka dan/atau proyek kasus apa pun yang dimuat. Anda dapat menggunakannya untuk memilih komponen dan melakukan banyak kegiatan lainnya (Muller, 2005).

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



Gambar 2.23 Jendela Keluaran/Output PSCAD (Muller, 2005).

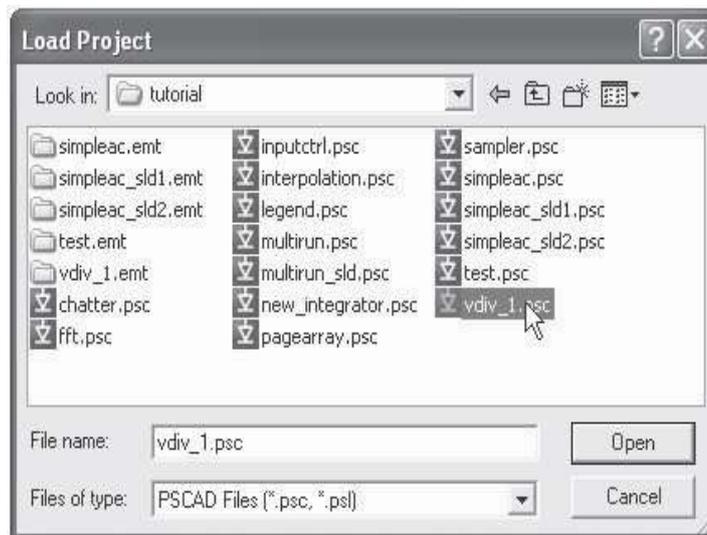
Semua status, peringatan, dan pesan kesalahan yang terlibat dalam prosedur *Build* dan *Runtime* akan dicatat dalam jendela ini, jadi merupakan ide yang baik untuk menjaga jendela ini tetap terbuka dan terlihat setiap saat (Muller, 2005).

Kedua jendela *Workspace* dan *Output* didasarkan pada struktur jenis pohon, di manacabang dapat diperluas dan diciutkan sesuka hati (Muller, 2005).

6). 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 kompilator Fortran yang digunakan dipasang dengan benar. Untuk memuat Proyek Kasus yang ada, klik pada File dari bilah Menu Utama dan pilih Muat Proyek. Anda juga dapat menekan Ctrl + O atau klik tombol Muat di Bilah Alat Utama atau Main *Tool Bar*. Anda akan melihat dialog *Load Project* muncul di layar Anda. Secara *default*, jenis file yang dipilih adalah 'File PSCAD (* .psc, .psl)' di

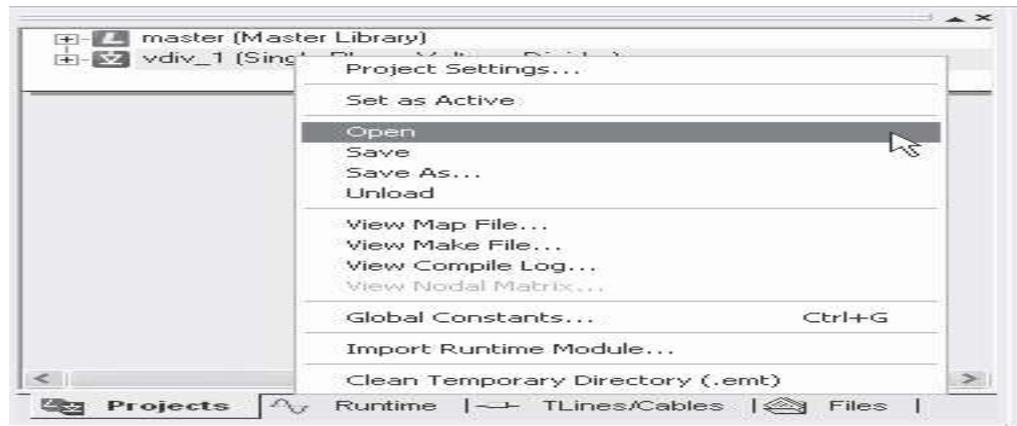
bagian bawah dialog. Dengan jenis file yang dipilih, Anda hanya akan melihat file Proyek PSCAD yang memiliki ekstensi dan direktori ‘* .psc’ atau ‘* .psl’. Ekstensi file terdiri untuk pscad *case* atau pustaka PSCAD (Muller, 2005).



Gambar 2.24 Memuat Proyek PSCAD (Muller, 2005).

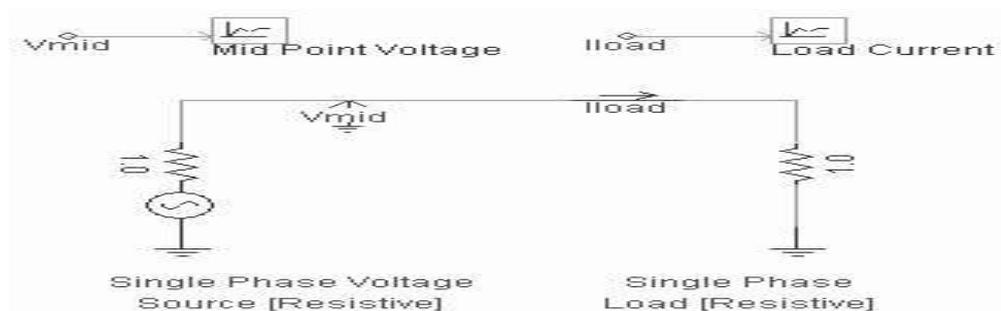
Arahkan ke direktori ‘tutorial’ di dalam direktori instalasi PSCAD Anda (yaitu C:\Program Files\PSCAD4xx\examples\tutorial). Klik pada file ‘vdiv_1.psc’ dan kemudian klik tombol Open untuk memuat Proyek Kasus ini ke PSCAD (Muller, 2005).

Jendela Ruang Kerja sekarang akan mendaftarkan proyek kedua yang berjudul ‘vdiv_1 (Pembagi Tegangan Fase Tunggal)’ langsung 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 *Sirkuit Editor Desain* (Muller, 2005).



Gambar 2.25. Membuka Proyek PSCAD (Muller, 2005).

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



Gambar 2.26. Contoh Sederhana Rangkaian yang Dibuat dalam PSCAD (Muller, 2005).

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

di terminal beban setengah dari tegangan di belakang resistansi sumber. Tegangan ini diukur menggunakan voltmeter yang disebut 'Vmid' yang terhubung ke simpul antara sumber dan beban. Arus di sirkuit harus:

$$I_{\text{load}} = \frac{E}{R_s + R_L}$$

(Muller. 2005).

Plot dan grafik akan berisi nilai-nilai tegangan pada titik tengah sirkuit, dan arus yang mengalir melalui rangkaian saat proyek dijalankan. (Muller, 2005).

7). *Running a Simulation*

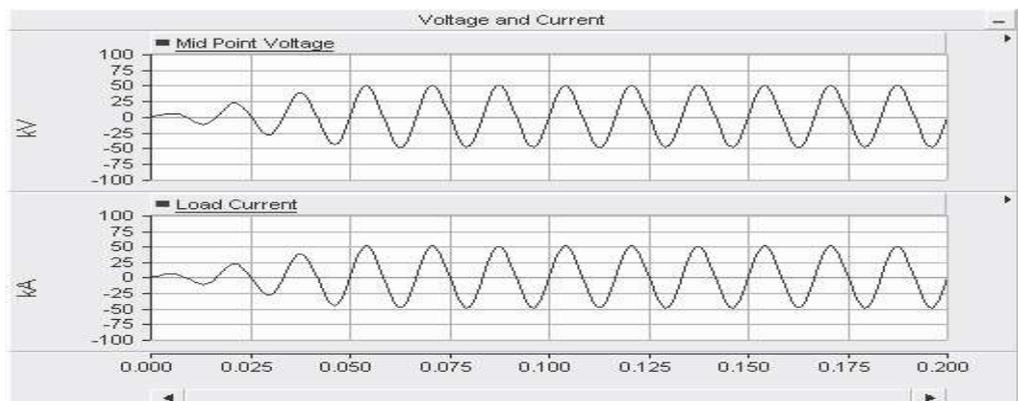
Sebelum kita menjalankan simulasi, kita akan melakukan perhitungan sederhana untuk mencari tahu apa beban tegangan arus dan titik tengah yang harus kita harapkan. Klik dua kali pada komponen sumber untuk membuka dan melihat propertinya - perhatikan bahwa besarnya tegangan sumber adalah 70,71 kV RMS (atau 100 kV peak). Tutup dialog ini dengan mengklik tombol Batal di bagian bawah dialog dan klik kiri di mana saja dalam ruang kosong pada halaman, untuk membatalkan 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 Main Tool Bar. Ketika tombol ini ditekan, PSCAD akan melalui beberapa tahap pemrosesan sirkuit sebelum memulai simulasi EMTDC. Anda akan melihat pesan di bilah

status di bagian bawah jendela PSCAD, terkait dengan berbagai tahapan proses. Tergantung pada seberapa cepat komputer Anda, Anda mungkin tidak dapat membaca ini (Muller, 2005).

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

Kasus tutorial ini diatur untuk dijalankan selama 0,2 detik. Di akhir proses, Anda akan melihat pesan 'EMTDC run completed' di bilah status. Plot Anda harus terlihat mirip dengan yang berikut - tergantung pada pengaturan plot Anda:



Gambar 2.27. Plot Hasil Simulasi PSCAD (Muller, 2005).

Pastikan bahwa simulasi Anda menghasilkan hasil yang sama seperti yang ditunjukkan di sini. Ini adalah satu langkah untuk memastikan bahwa PSCAD Anda diinstal dengan benar (Muller, 2005).

Klik lagi pada tombol Run untuk melihat run sekali lagi. PSCAD akan melalui ketiga tahap (yaitu, mengkompilasi, membangun dan menjalankan), namun, Anda mungkin tidak dapat mendeteksi dua tahap pertama, saat mereka lewat dengan sangat cepat. Ini karena PSCAD melakukan mereka hanya jika perubahan telah dilakukan ke sirkuit (Manitoba HVDC Research (Muller, 2005).

8). Printing the Circuit

Untuk mencetak rangkaian bersama dengan grafik yang baru saja Anda simulasikan, klik tombol kanan mouse di latar belakang halaman rangkaian utama dan pilih item *Print Page* atau item *Print Preview Page* (Muller, 2005).



Gambar 2.28. Menu untuk Mencetak Rangkaian dan Grafik 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 Anda untuk melihat halaman Anda 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 pada sistem tenaga listrik tersebut, dan menjalankan simulasinya untuk menganalisis datadari sistem daya, Gangguan dan Relai pada sistem tenaga listrik tersebut.

A. Waktu danTempat Penelitian

Waktu : Aguatus2018 hinggaDesember 2018.

Tempat : FakultasTeknik Universitas Muhammadiyah Makassar
Jalan Sultan Alauddin 259 Makassar

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Laptop ASUS i3 X455LF dengan spesifikasi:

Prosesor : Intel ® Core TM i3-5005U

Prosesor Grafis : Intel HD Graphics

Memori RAM : 4 GB DDR3.

Memori Harddisk : 500 GB.

Sistem Operasi : Windows10 Pro 64-bit.

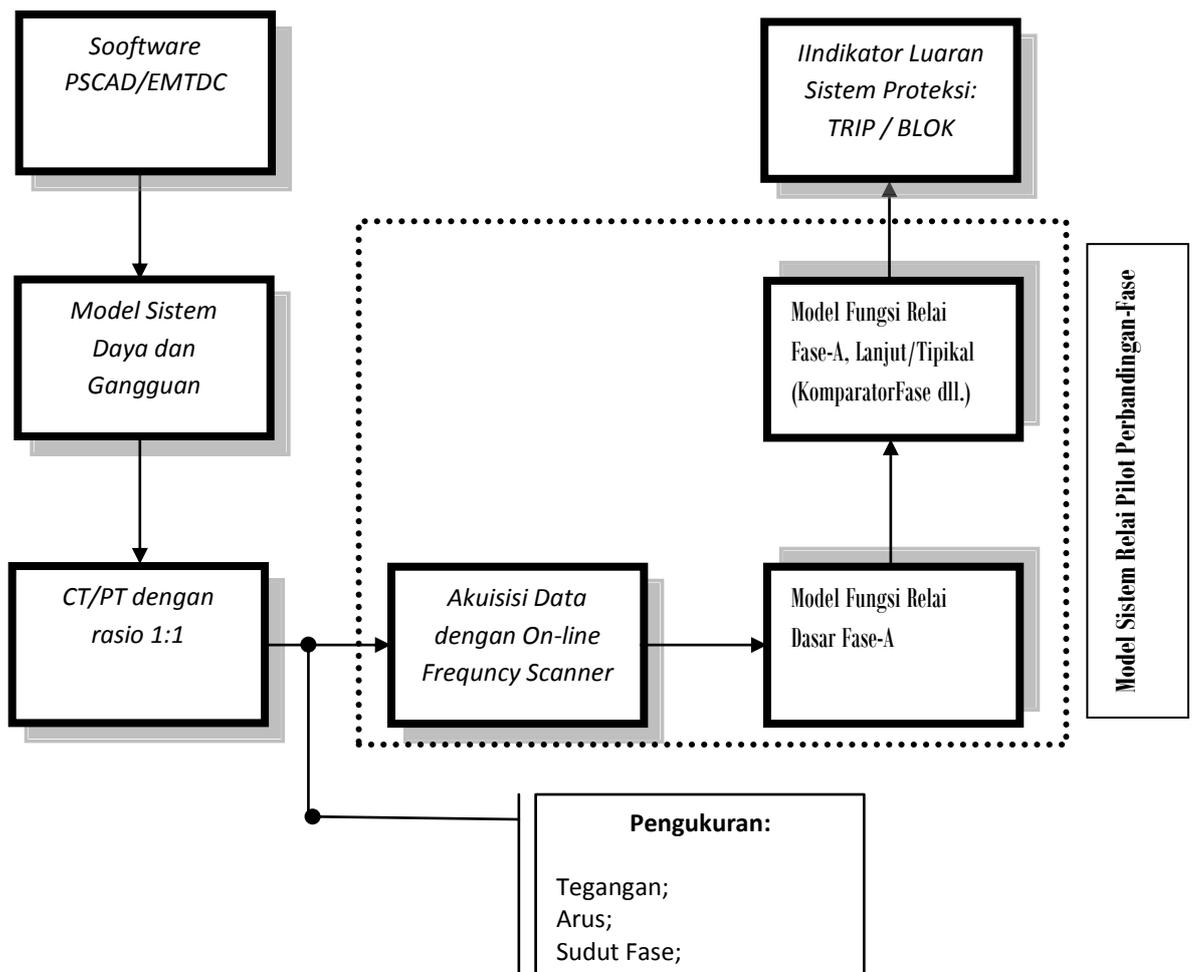
b. Perangkat Lunak *Power System Computer Aided Design (PSCAD) Student version*

2. Bahan

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

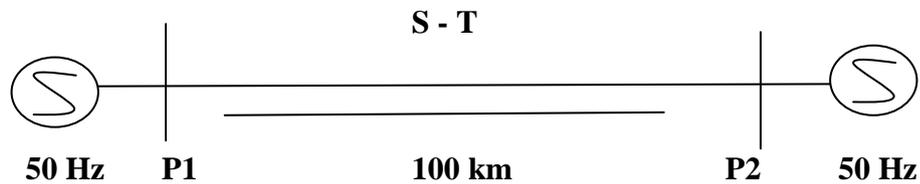
C. Skema Penelitian

Adapun garis besar dari rangkaian kelistrikan pada modul yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1. Diagram Balok Skema Penelitian

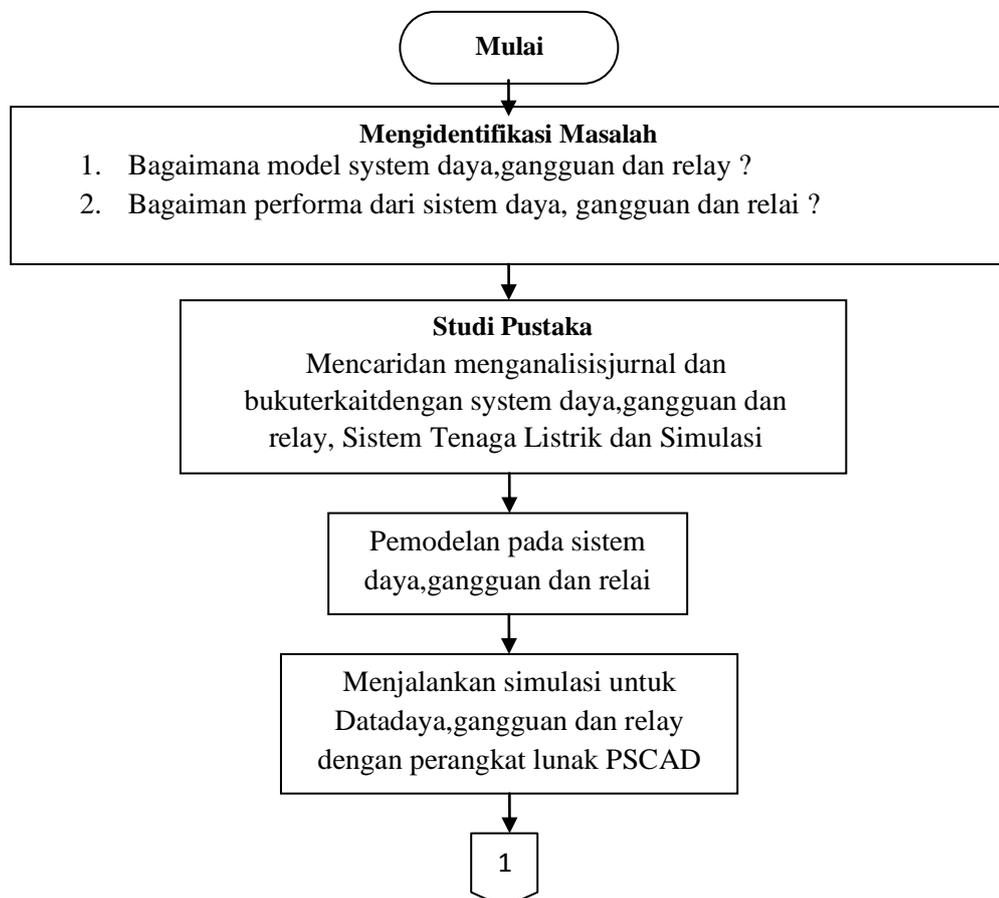
D. Data Penelitian

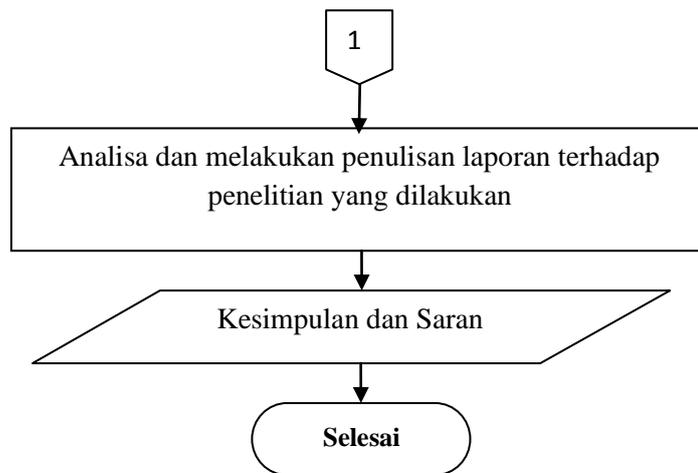


V = 230 kV
F = 50 Hz
S = 1000 MVA

E. Langkah Penelitian

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





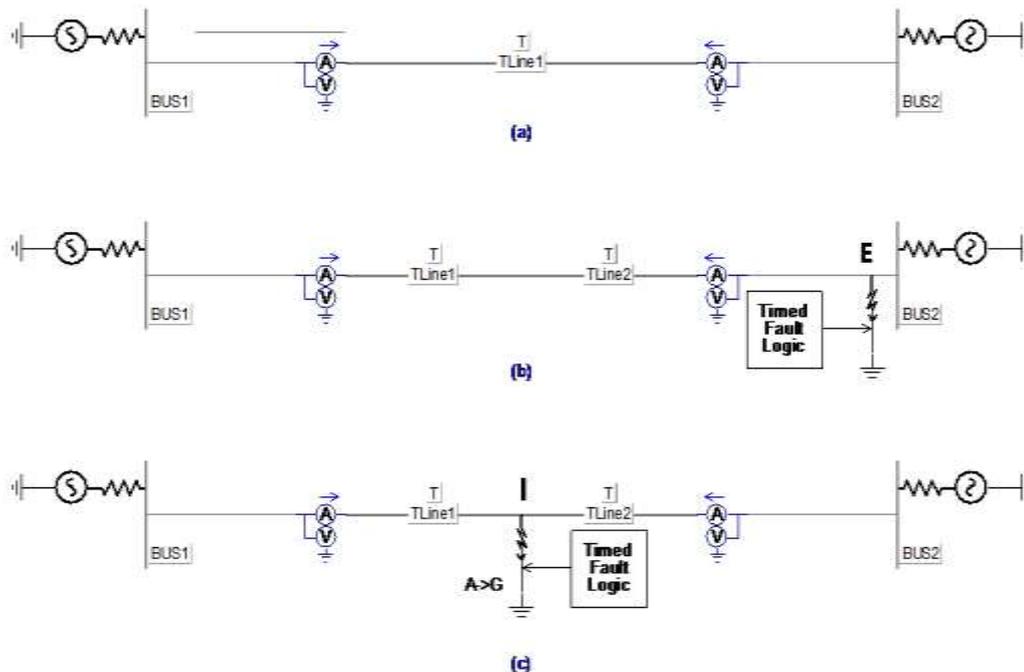
Gambar 3.2. Bagan alur proses penelitian

BAB IV

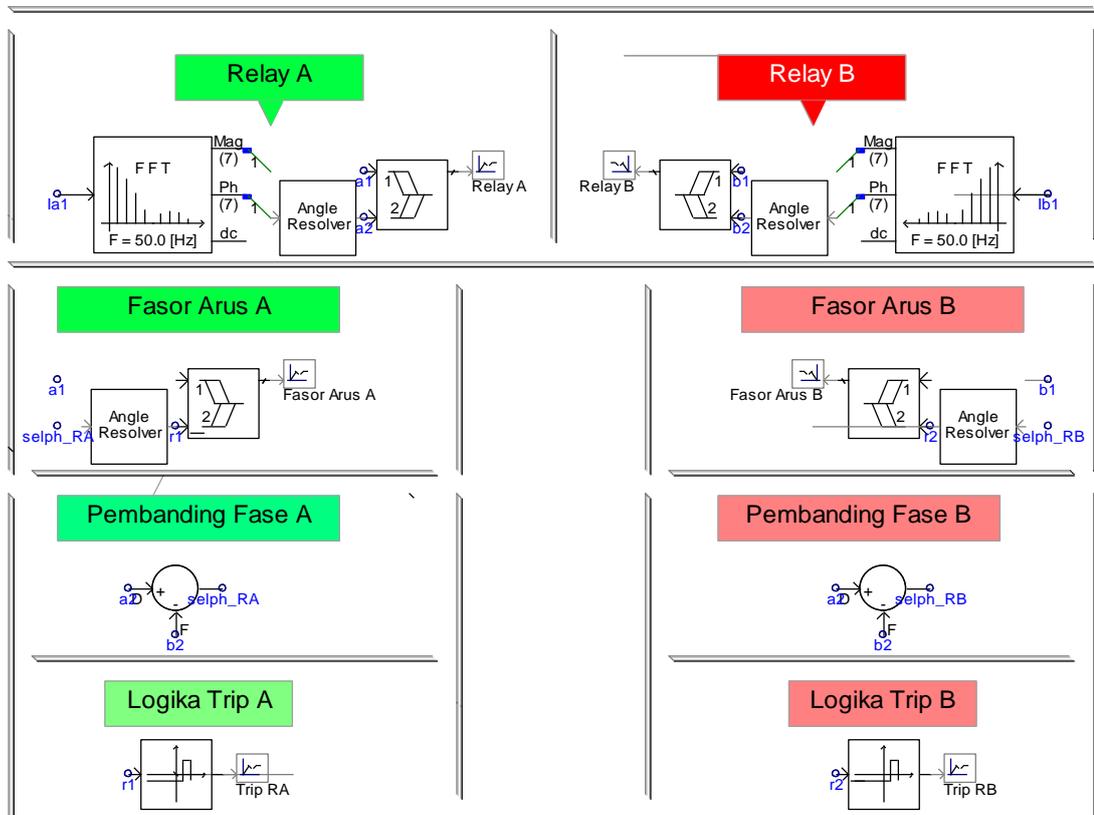
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan sistem saluran transmisi, gangguan serta relai dengan software PSCAD

Power system Computer Aided Design (PSCAD) V 4.2.0 digunakan untuk mengukur sinyal-sinyal transien dalam sistem tenaga. Gambar 4.1 menunjukkan model sistem yang digunakan dalam simulasi. Sebuah model suatu saluran transmisi dengan dua sumber ekuivalen tiga fase 230 kV, frekuensi 50 Hz. Sumber memiliki impedansi resistif sebesar 1,0 Ohm. Saluran yang digunakan adalah saluran transmisi dengan panjang 100 KM. Ada tiga jenis Gambar rangkaian yang digunakan di bawah ini yaitu (a) Gambar kondisi normal, (b). Gambar gangguan eksternal dan (c). Gambar gangguan internal, yang disimulasikan menggunakan software PSCAD V 4.2.0 Student Version.

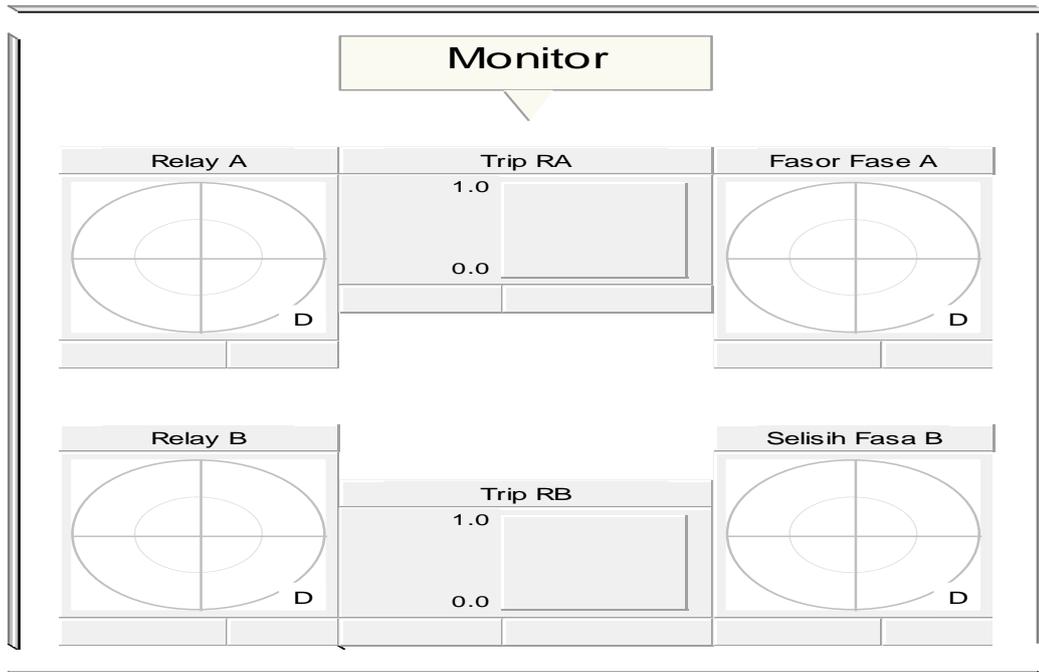
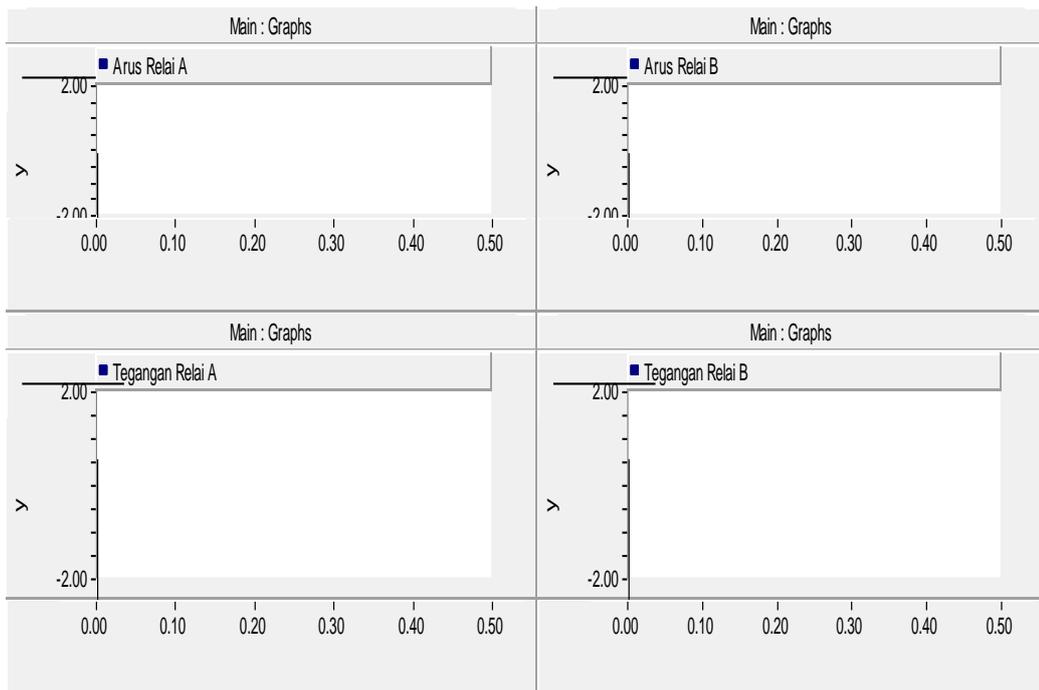


Gambar 4.1 Rangkaian Simulasi PSCAD V 4.2.0 Student version (a) Kondisi normal (b) Gangguan eksternal (c) Gangguan internal.



Gambar 4.2 Model Relai

Pada Gambar 4.2 Model relai terdiri dari dua relai yang memiliki dua komponen utama. Yang terdiri dari Frekuensi scanner, angle resolver, vector interlance, output channel dan data signal label yang berfungsi untuk mengkonsversi sinyal domain waktu ke domain fasor. Data signal label, differencing jungcektions, signal data label, Ranger komperator dan output channel berfungsi untuk logika proteksi.



Gambar 4.3 Monitor tegangan, arus dan respon relay

Pada Gambar 4.3 Monitor menampilkan gelombang tegangan ,gelombang arus dan juga menampilkan nilai relay arus serta respon relay.

Model di atas disimulasikan dengan menggunakan PSCAD/EMTDC maka didapatkan hasil sebagai berikut:

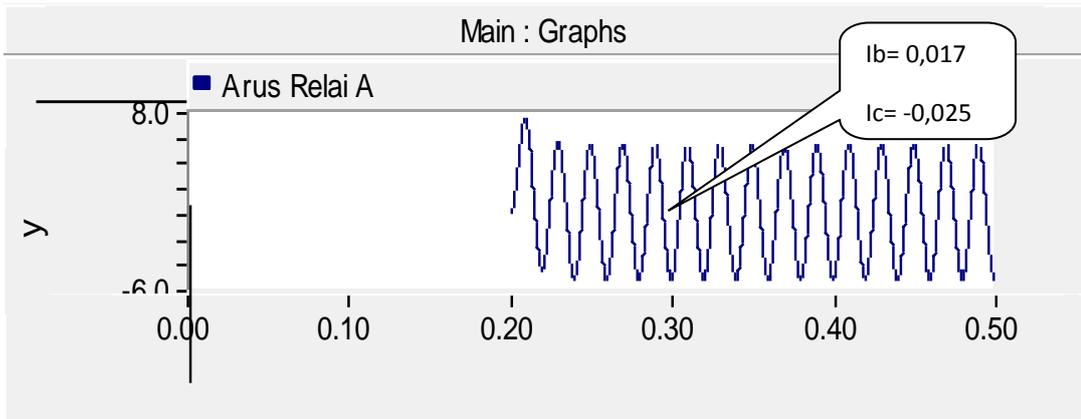
B. Hasil Simulasi

1. Simulasi gangguan internal

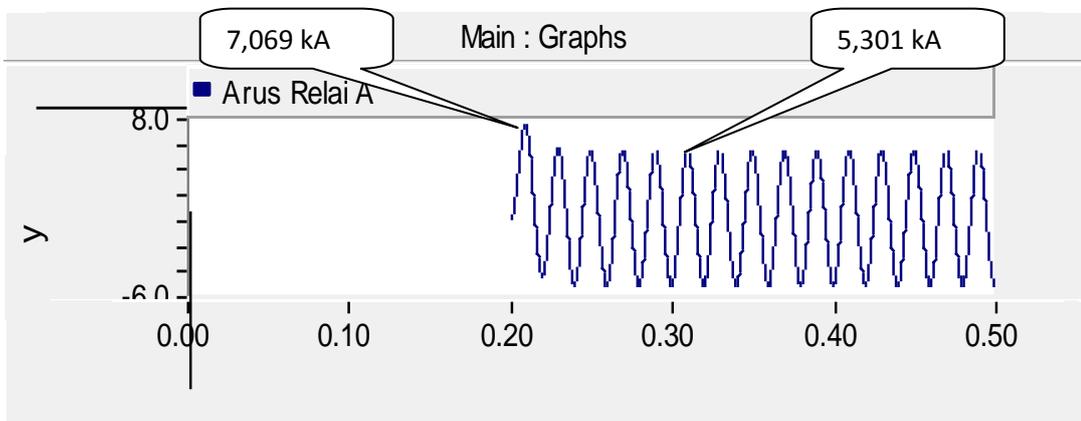
Gangguan internal adalah gangguan pada saluran transmisi yang berada pada zona yang di lindungi, dikatakan gangguan internal jika sudut fasenya berada pada 0 sampai 160 .hasil simulasi berupa gelombang keluaran pscad. Nilai yang di peroleh merupakan nilai maksimum pada keadaan *steady state* dari gelombang keluranaan tersebut,berikut rangkiannya :

a. gangguan internal satu-fase ke tanah (A-G)

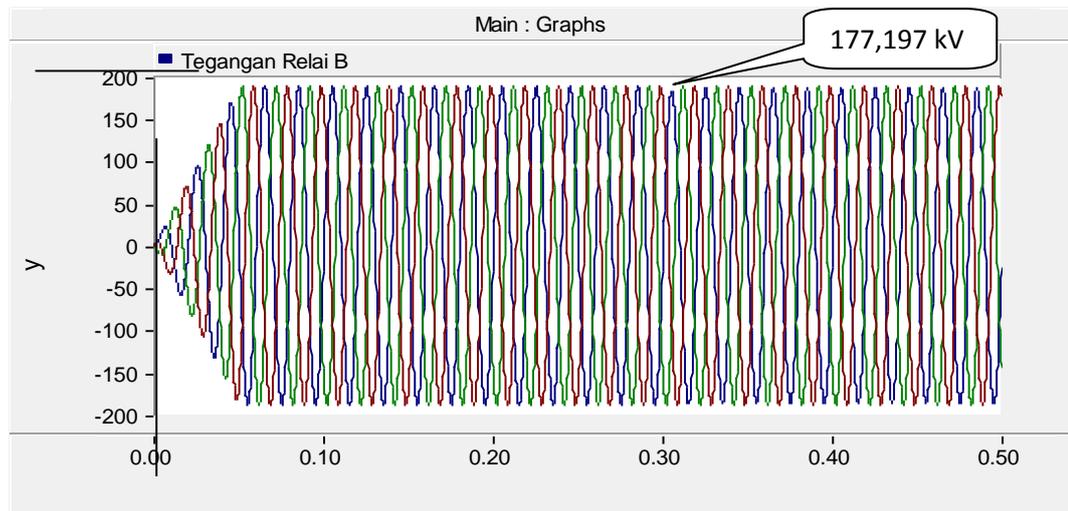
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan R_f (2 dan 5 ohm).Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan satu-fase ke tanah dengan nilai R_f sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perhatikan pada gambar 4.4 dan 4.5 sebagai berikut:



(a)

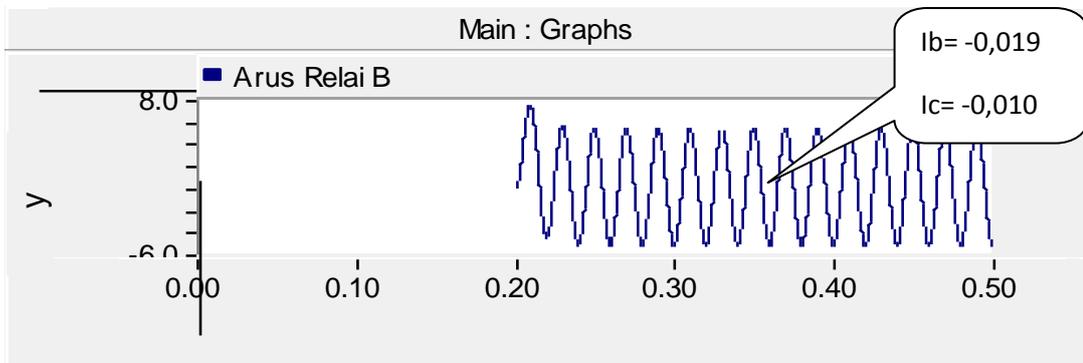


(b)

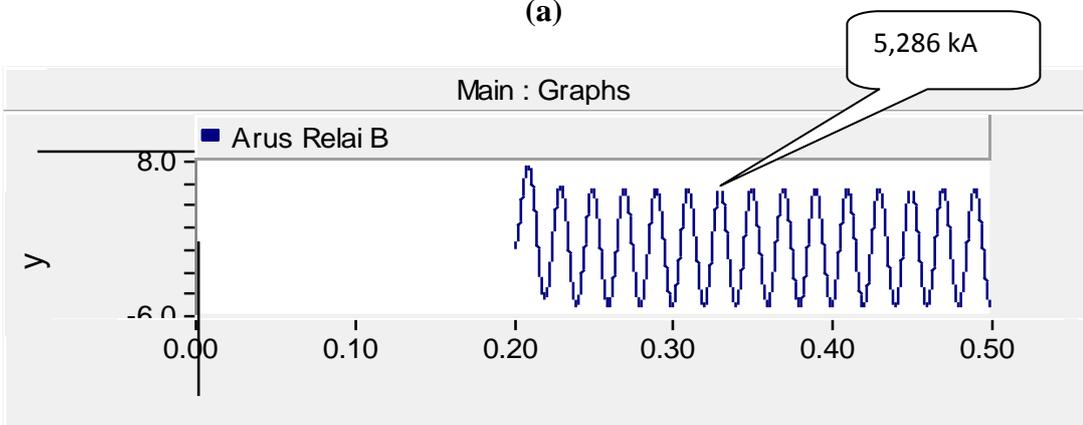


(c)

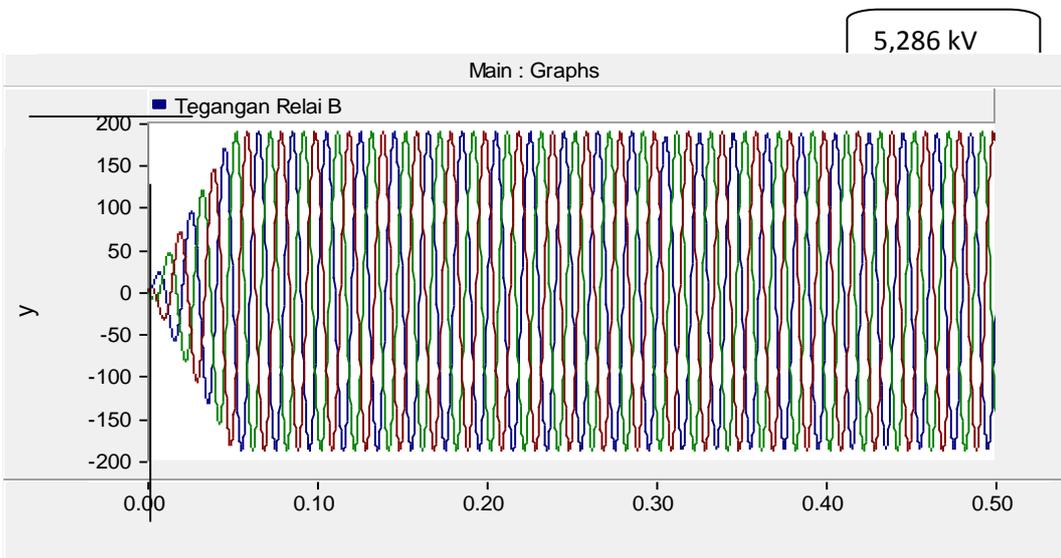
Gambar 4.4 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan internal satu fase ke tanah, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan internal satu- fase ke tanah, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

Hasil simulasi keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.4 (a) dan (b), 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 transien yang terjadi bernilai sekitar 7,069 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 5,301 kA.

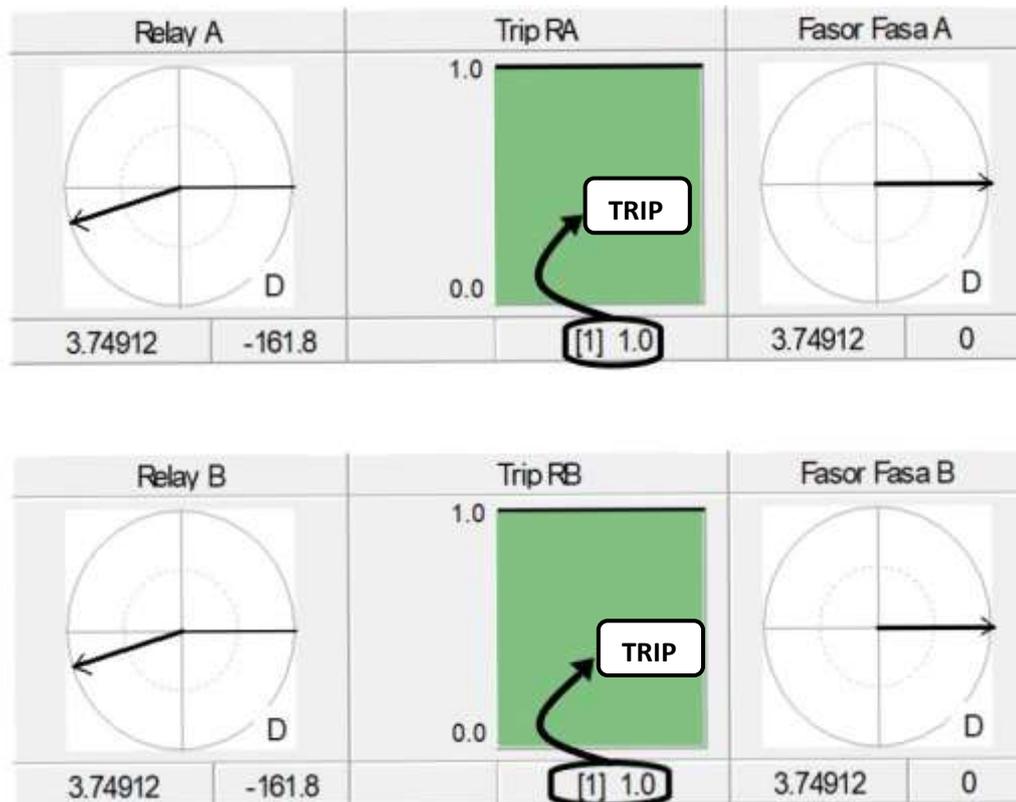
Sedangkan nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.4 (c) adalah sekitar 177,197 kV. Nilai tersebut menunjukkan tidak terjadi jatuh tegangan yang signifikan, hal tersebut disebabkan oleh jatuh tegangan yang tidak besar pada sumber, hanya ada pada generator dan nilainya kecil, sehingga jatuh tegangan yang terjadi kecil.

Gelombang arus pada relai B diperlihatkan pada gambar 4.5 (a) dan (b), hasil simulasi terlihat nilai arus maksimum pada keadaan steady state sekitar 5,286 kA, yang nilainya tidak terlalu berbeda dengan arus maksimum pada relai B, sedangkan fase yang tidak terganggu (Fase B dan C) juga mengalami kenaikan arus tetapi tidak signifikan.

Sedangkan nilai tegangan dapat dilihat pada gambar 4.5 (c) sekitar 176,439 kV, tidak terlihat besar perbedaan nilai tegangan pada relai A dan B, maka pada relai A dan B jatuh tegangan tidak signifikan.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor fase teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan.



Gambar 4.6 Monitor keluaran nilai relai,fasor fasa dan respon relai

Gambar 4.6 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -161,8, Relai B = -161,8 dengan selisih fase 0. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan internal diberikan oleh relai bernilai 1 (kondisi Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan internal satu-fasa ke tanah (Ag) dengan variasi Rf dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.1 berikut:

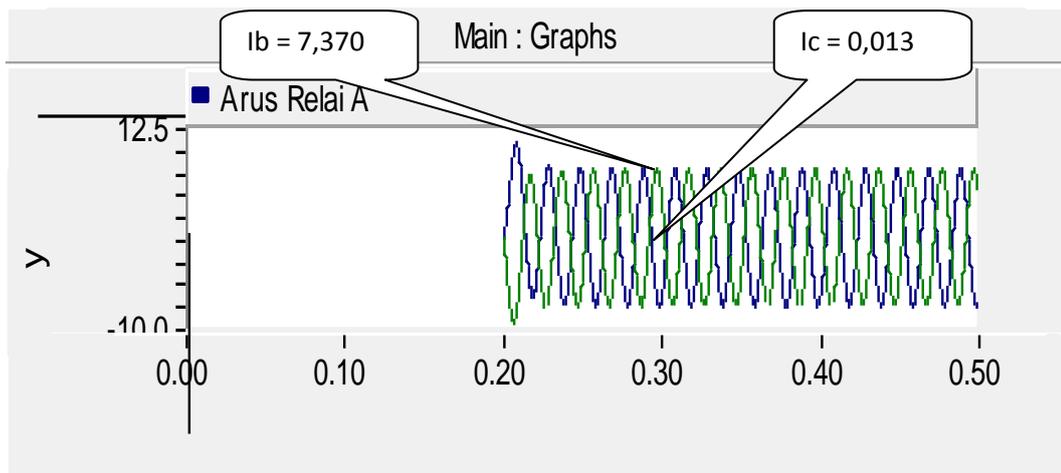
Tabel 4.1 Performa relai terhadap gangguan internal satu-fase ke tanah(A-G)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	5,31 kA	5,286 kA	177,197 kV	176,842 kV	-161,8	-161,8	0	✓	-	✓	-
5 ohm	4,708 kA	4,852 kA	176,789 kV	176,439 kV			0	✓	-	✓	-

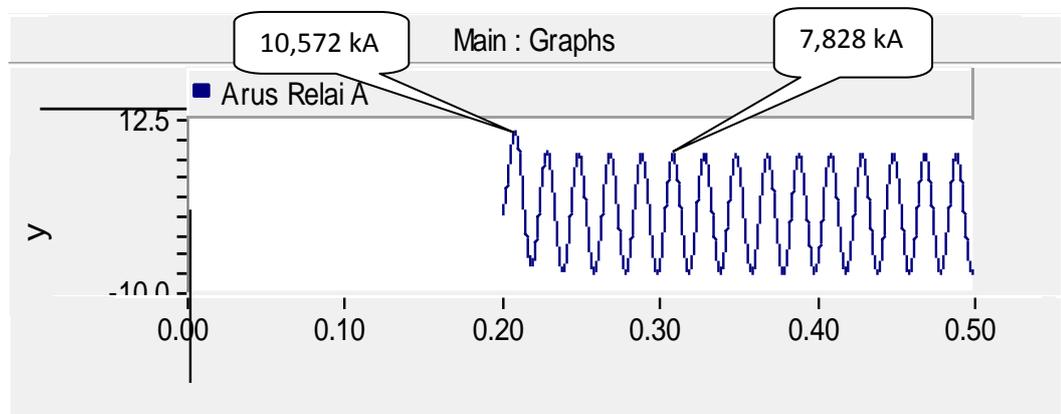
Dari tabel 4.1 terlihat ke-dua varian Rf menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan internal satu-fase ke tanah (Ag) *trip*.

b. Gangguan internal dua fase ke tanah (AB-G)

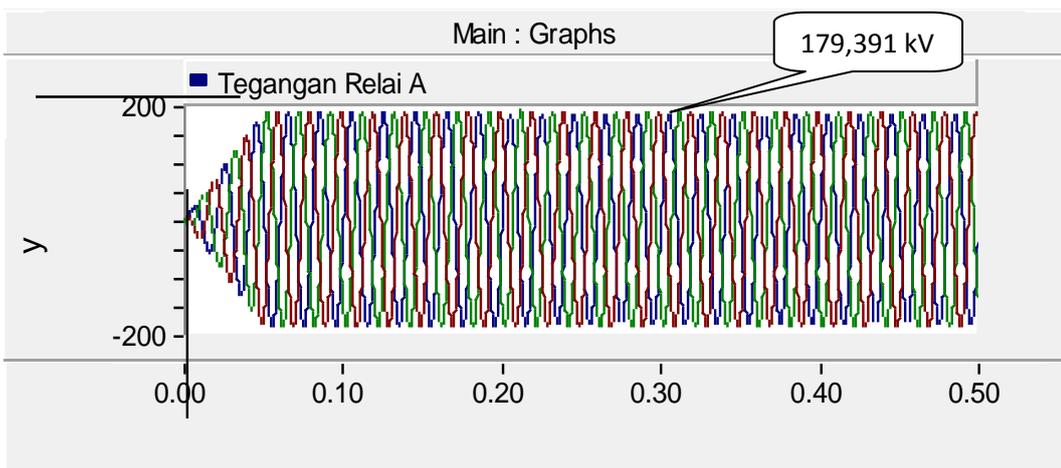
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan Rf(2dan 5 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan dua-fase ke tanah dengan nilai Rf sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.7 dan 4.8 sebagai berikut:



(a)

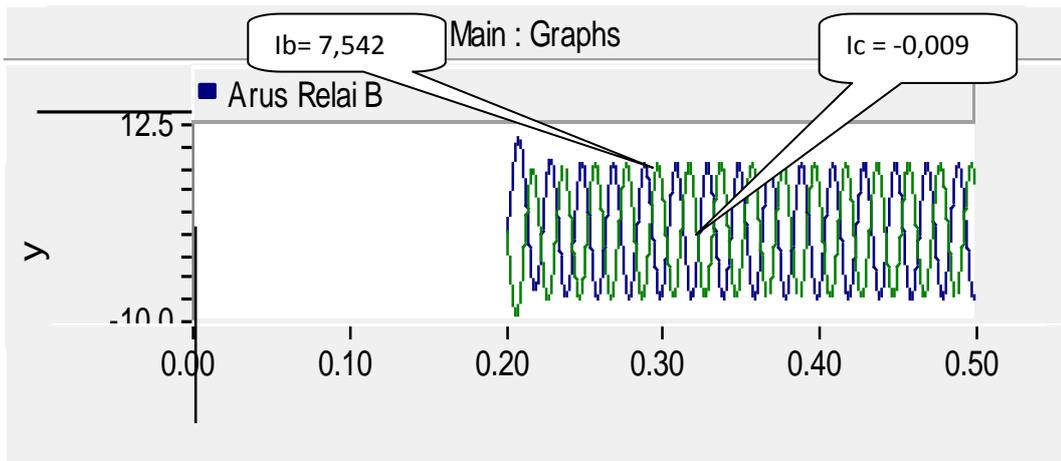


(b)

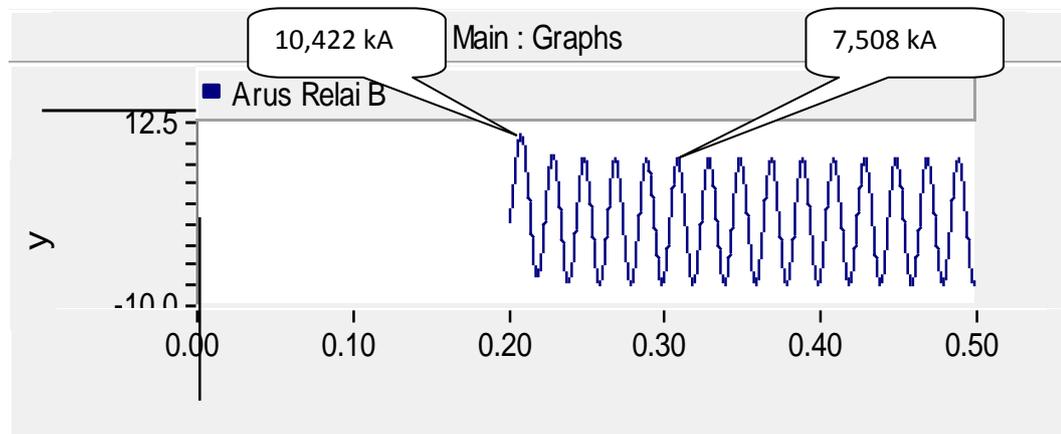


(c)

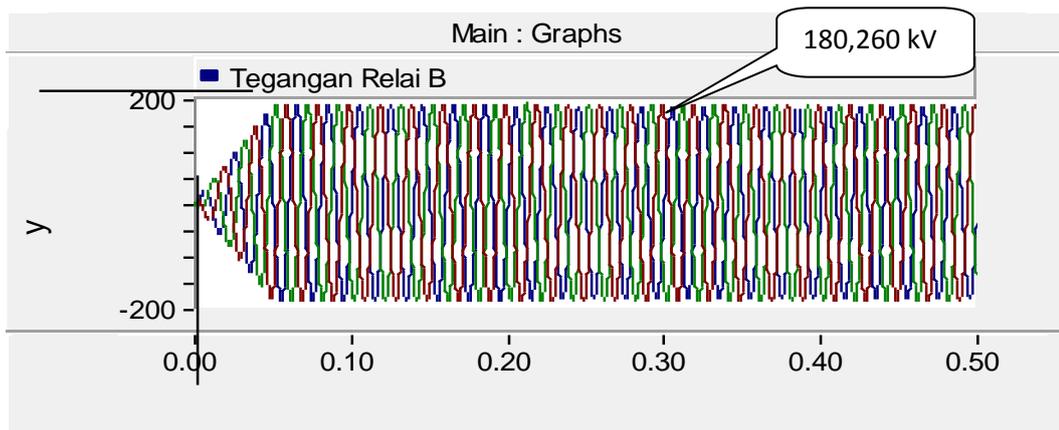
Gambar 4.7 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan internal dua- fase ke tanah, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Gelombang arus dan tegangan relai-B gangguan internal dua-fase ke tanah, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

Keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.7 (a) dan (b), terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar 10,572 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady states* sekitar 7,828 kA.

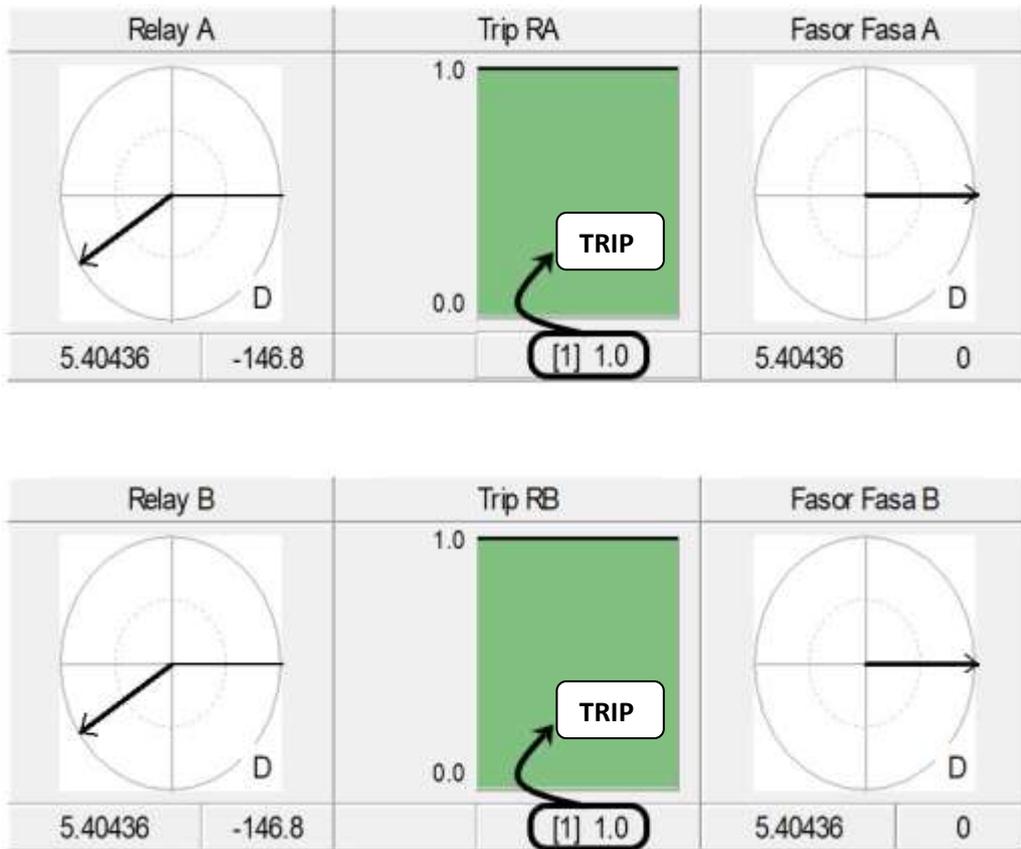
Nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.7 (c) adalah sekitar 179,939 kV. Sama halnya pada kedua tipe gangguan sebelumnya tidak terjadi jatuh tegangan yang besar pada kedua fase yang terganggu.

Sedangkan hasil gelombang Keluaran arus pada relai B dapat dilihat pada gambar 4.8 (a) dan (b), hasil simulasi menunjukkan kedua fase yang terganggu nilai arusnya mengalami kenaikan pada saat terjadi gangguan. Nilai arus maksimum fase A pada keadaan *steady states* sekitar 7,508 kA yang nilainya tidak berbeda jauh dengan fase B, sedangkan fase C tidak mengalami perubahan.

Sedangkan nilai tegangan dapat dilihat pada gambar 4.8 (c) sekitar 173,979 kV, tidak terlihat besar perbedaan nilai tegangan pada relai A dan B, maka pada relai A dan B jatuh tegangan tidak signifikan.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor arus teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.9 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai

Gambar 4.9 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -146,8 Relai B = -146,8 dengan selisih fase 0. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan internal diberikan oleh relai bernilai 1 (kondisi Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan internal dua-fase ke tanah (A_g) dengan variasi R_f dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.2 berikut:

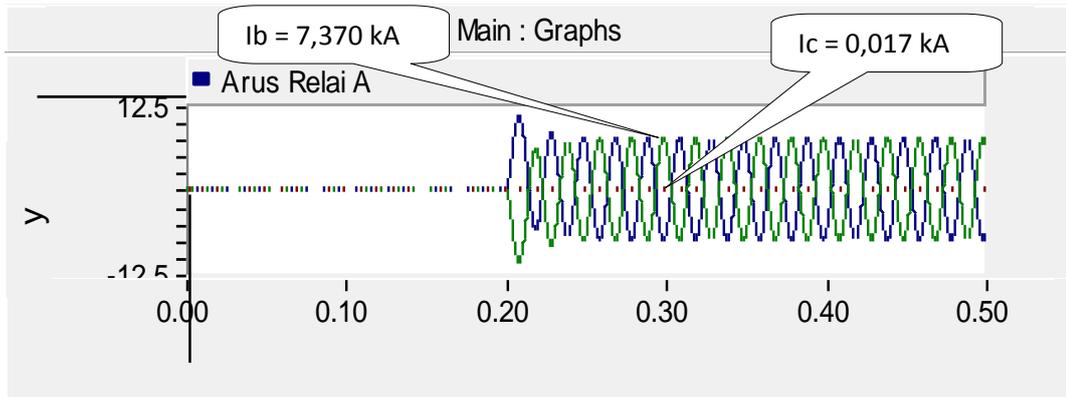
Tabel 4.1 Performa relai terhadap gangguan internal dua-fase ke tanah(AB-G)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	7,828 kA	7,508 kA	179,391 kV	180,268 kV	-146,8	-146,8	0	✓	-	✓	-
5 ohm	6,669 kA	6,660 kA	174,377 kV	174,979 kV	-134,6	-134,6	0	✓	-	✓	-

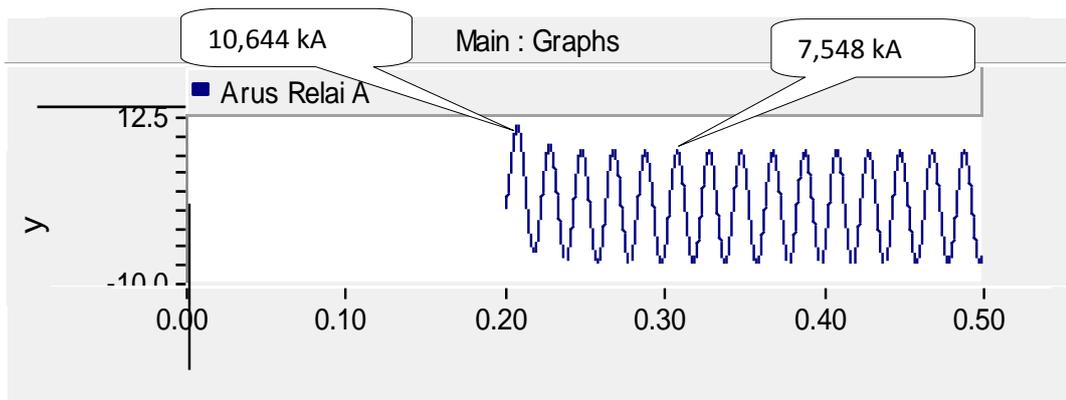
Dari tabel 4.2 terlihat ke-dua varian R_f menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan internal dua-fase ke tanah (ABg) *trip*.

c. gangguan internal dua fase (AB)

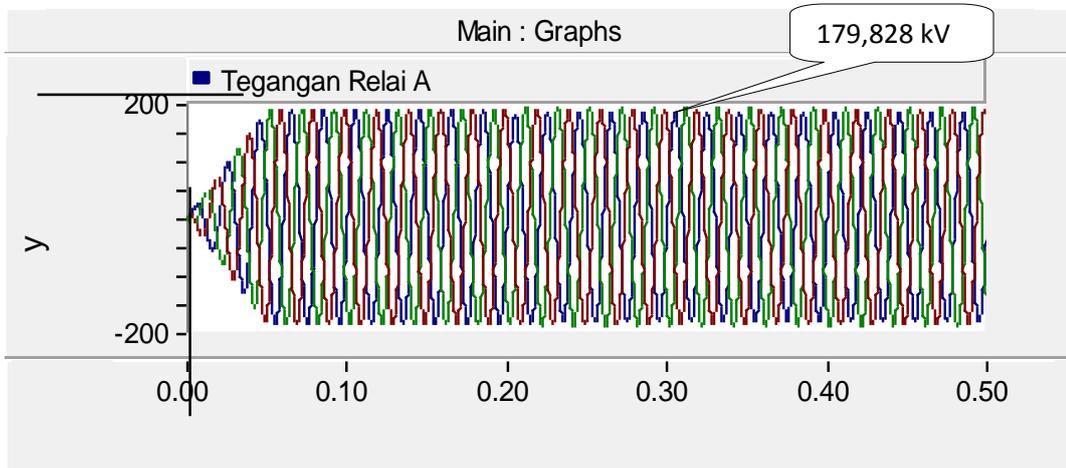
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan R_f (2 dan 5 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan dua-fase dengan nilai R_f sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.10 dan 4.11 sebagai berikut:



(a)

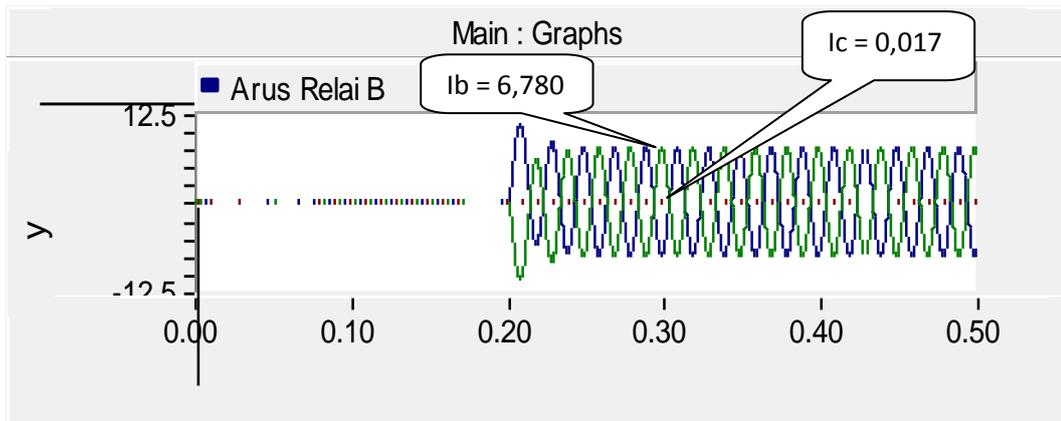


(b)

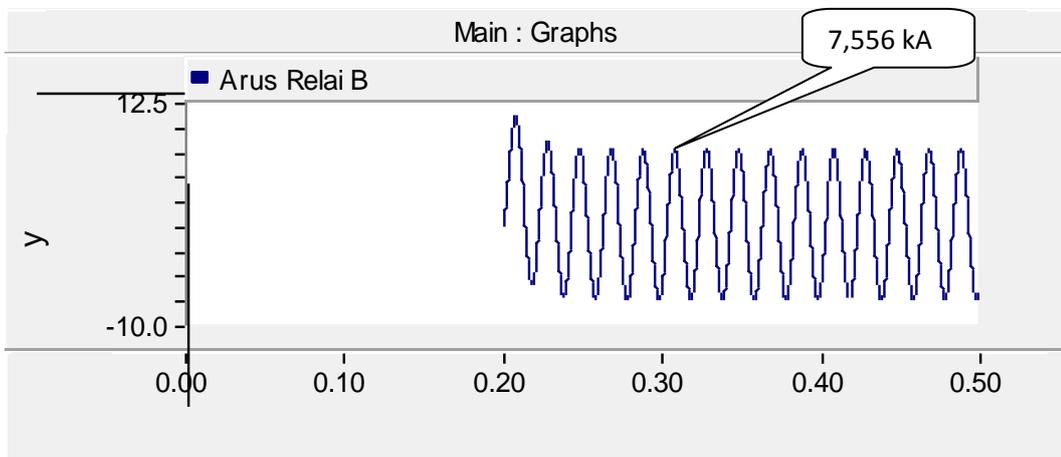


(c)

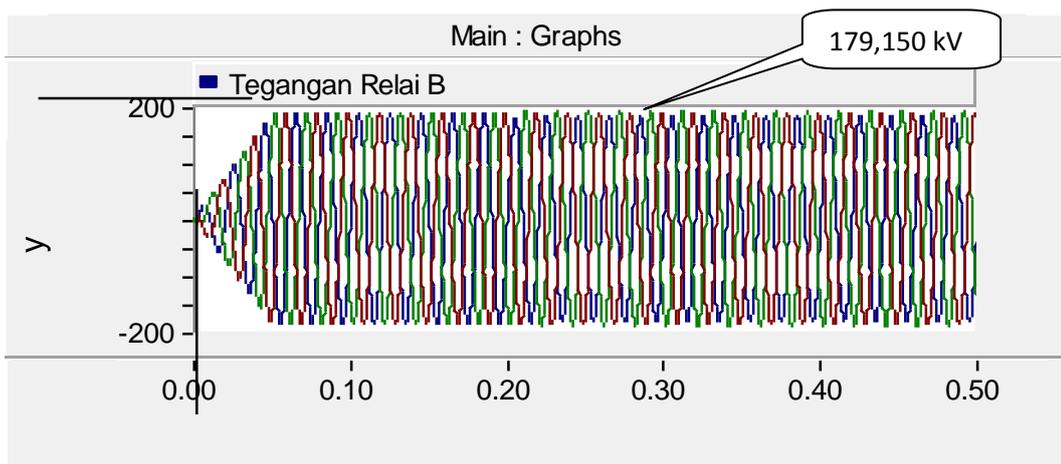
Gambar 4.10 Gelombang arus dan tegangan relai-A gangguan internal dua-fase, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.11 Gelombang arus dan tegangan relai-B gangguan internal dua-fase, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

Bentuk hasil keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.10 (a) dan (b), terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar 10,644 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 7,548 kA, sedangkan fase yang tidak terganggu (fase C) juga mengalami perubahan tetapi tidak besar.

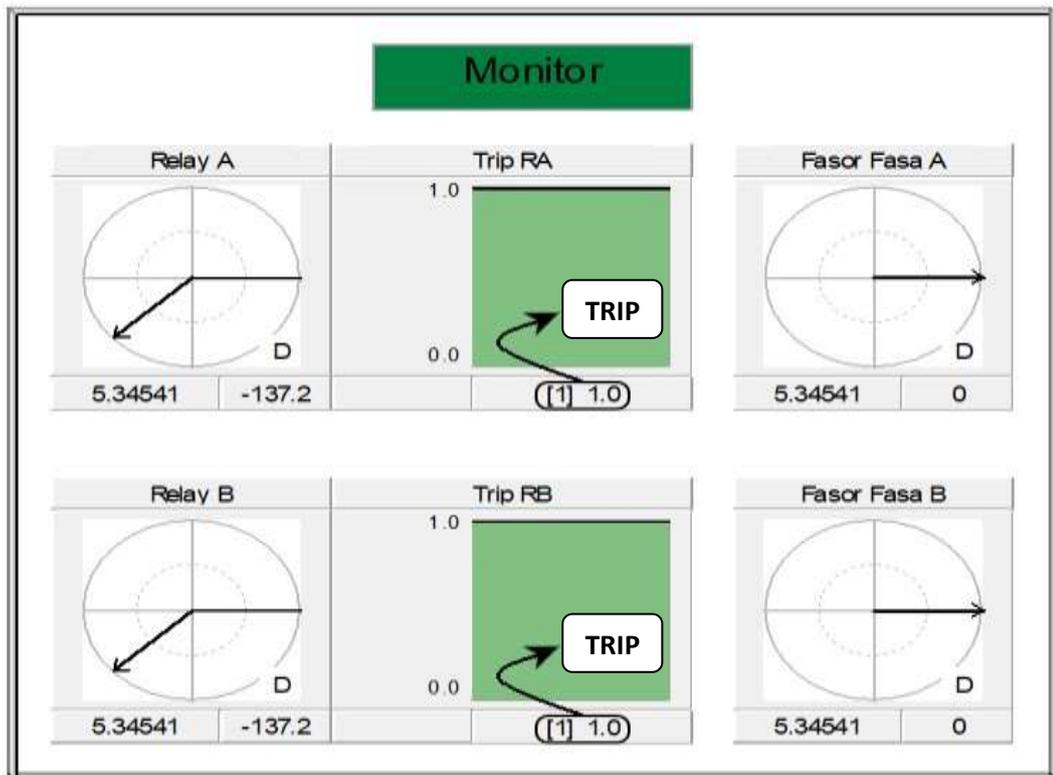
Sedangkan nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.10 (c) adalah sekitar 179,828 kV. Sama halnya pada kedua tipe gangguan sebelumnya tidak terjadi jatuh tegangan yang besar.

Keluaran bentuk gelombang arus pada relai B dapat dilihat pada gambar 4.11 (a) dan (b), hasil simulasi yang terganggu menunjukkan nilai arus maksimum (fase A) pada keadaan *steady state* sekitar 7,556 kA. Sama halnya pada relai A arus fase yang terganggu lebih besar dari pada fase yang tidak terganggu.

Sedangkan nilai tegangan dapat dilihat pada gambar 4.11 (c) sekitar 173,179 kV, tidak terlihat perbedaan nilai tegangan pada relai A dan B, maka pada relai A dan B jatuh tegangan tidak signifikan.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor arus teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.12 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai

Gambar 4.12 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -137,0, Relai B = -137,0 dengan selisih fase 0. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan internal diberikan oleh relai bernilai 1 (kondisi Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan internal dua-fase (AB) dengan variasi R_f dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.3 berikut:

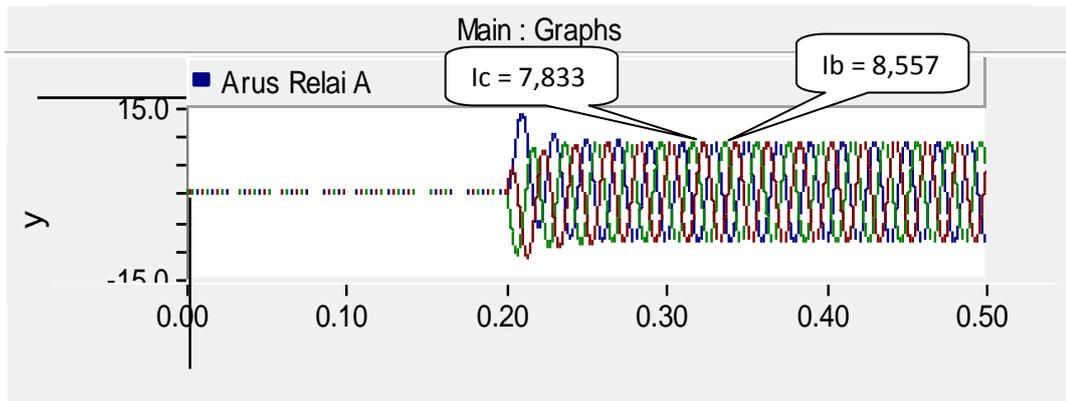
Tabel 4.3 Performa relai terhadap gangguan internal dua-fase (AB)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	7,548 kA	7,556 kA	179,828 kV	179,150 kV	-137,2	137,2	0	✓	-	✓	-
5 ohm	7,247 kA	7,221 kA	179,105 kV	173,197 kV	-129,9	-129,9	0	✓	-	✓	-

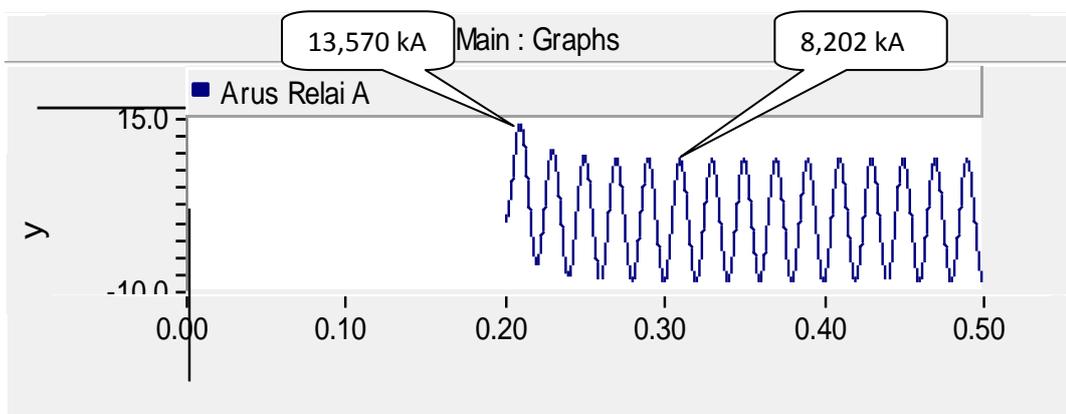
Dari tabel 4.3 terlihat ke-dua varian Rf menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan internal dua-fase (Ag) *trip*

d. Gangguan internal Tiga-fase (ABC)

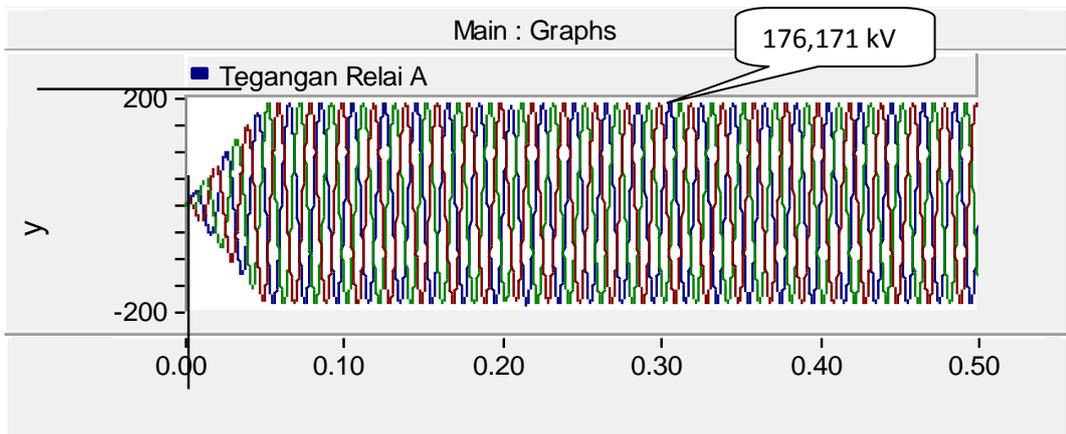
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan Rf(2 dan 5 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan tiga-fase dengan nilai Rf sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.13 dan 4.14 sebagai berikut:



(a)

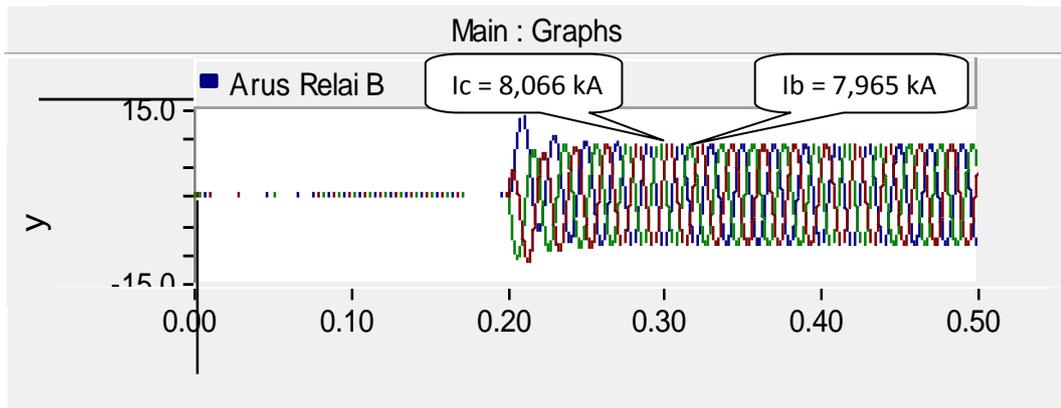


(b)

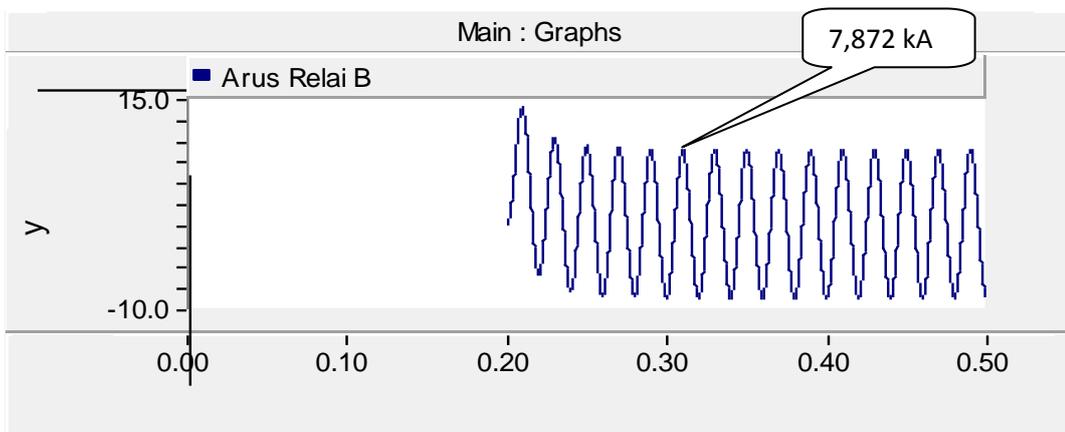


(c)

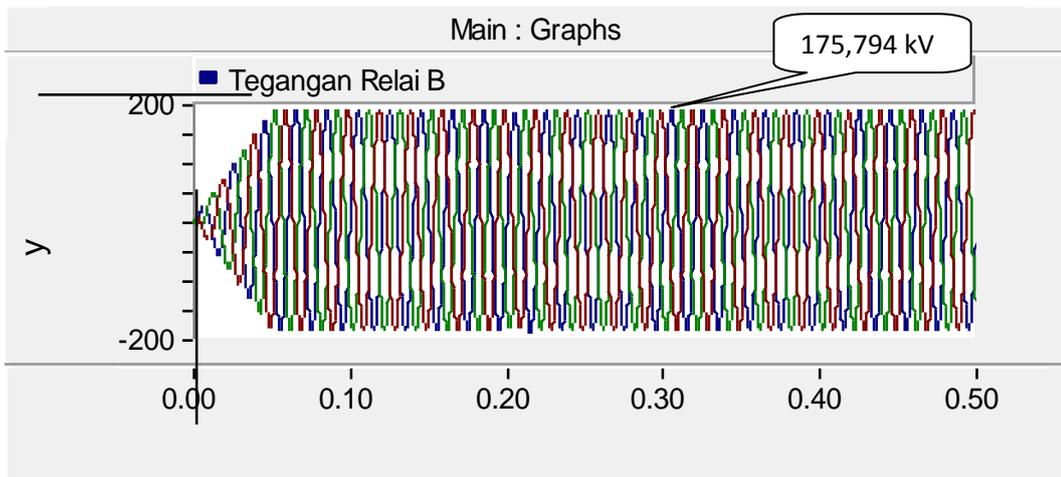
Gambar 4.13 Gelombang arus dan tegangan relai-B gangguan internal Tiga-fase, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.14 Gelombang arus dan tegangan relai-B gangguan internal Tiga-fase, $R_f=2 \text{ ohm}$; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

Bentuk hasil keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.13 (a) dan (b), hasil simulasi terlihat pada saat terjadi gangguan kenaikan arus pada saat terjadi gangguan. Kenaikan arus tersebut merupakan nilai puncak transien yang bernilai sekitar 13,570 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 8,202 kA.

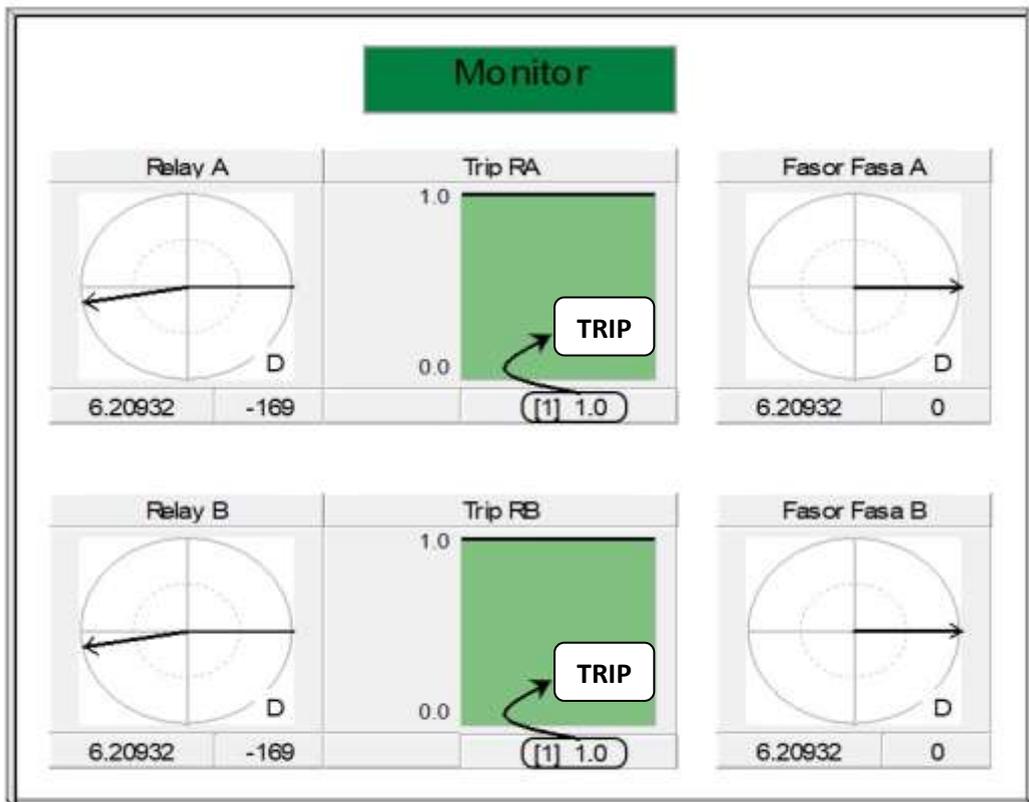
Sedangkan nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.13 (c) adalah sekitar 176,171 kV. Seperti halnya pada ketiga tipe gangguan sebelumnya tidak terjadi jatuh tegangan yang besar pada nilai tegangan saat terjadi gangguan .

Untuk gelombang arus pada relai B dapat dilihat pada gambar 4.14 (a) dan (b), hasil simulasi yang menunjukkan nilai arus relai A dan relai B tidak memiliki perbedaan yang besar, nilai arus maksimum (fase A) keadaan *steady state* sekitar 12,750 kA.

Sedangkan nilai tegangan dapat dilihat pada gambar 4.14 (c) yaitu sebesar 175,794 kV, tidak terlihat perbedaan yang besar antara nilai tegangan pada relai A dan B, maka pada relai A dan B jatuh tegangan tidak signifikan.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor arus teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.15 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai

Gambar 4.15 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -169 Relai B = -169 dengan selisih fase 0. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan internal diberikan oleh relai bernilai 1 (kondisi Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan internal tiga-fase ke tanah (Ag) dengan variasi Rf dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.4 Performa relai terhadap gangguan internal tiga-fase (ABC)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai B	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	8,202 kA	7,872 kA	176,171 kV	175,794 kV	-169	-169	0	✓	-	✓	-
5 ohm	8,588 kA	8,584 kA	183,071 kV	182,441 kV	-163,9	-163,9	0	✓	-	✓	-

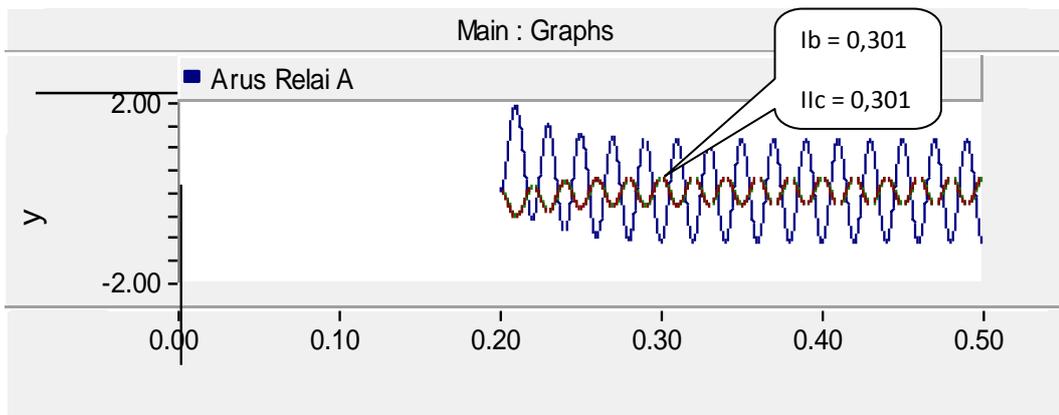
Dari tabel 4.4 terlihat ke-dua varian Rf menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan internal tiga-fase (Ag) trip.

2. Simulasi gangguan eksternal

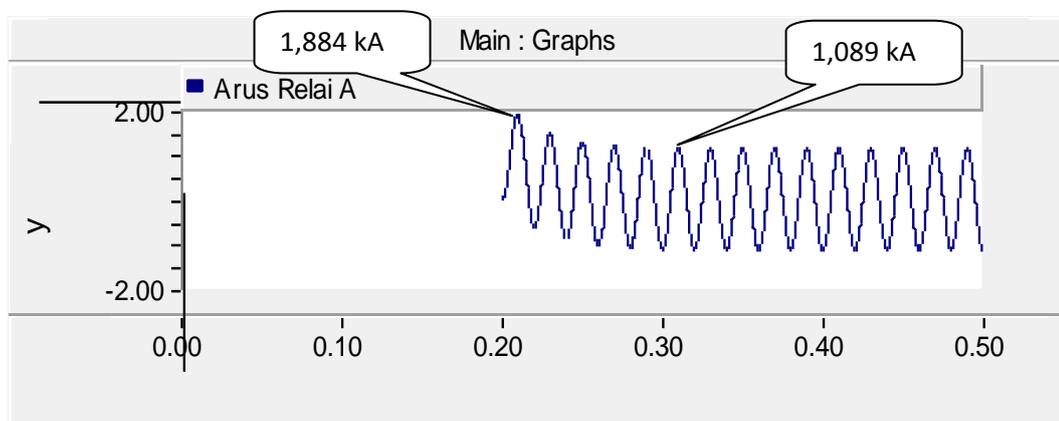
Gangguan eksternal adalah gangguan pada saluran transmisi yang berada di luar zona atau saluran yang di lindungi, dikatakan gangguan eksternal jika sudut fasenya berada pada 161 sampai 180 dan -161 sampai -180. hasil simulasi berupa gelombang keluaran PSCAD. Nilai yang di peroleh merupakan nilai maksimum pada keadaan *steady state* dari gelombang keluranan tersebut, berikut rangkainnya :

a. gangguan eksternal satu-fase ke tanah (A-G)

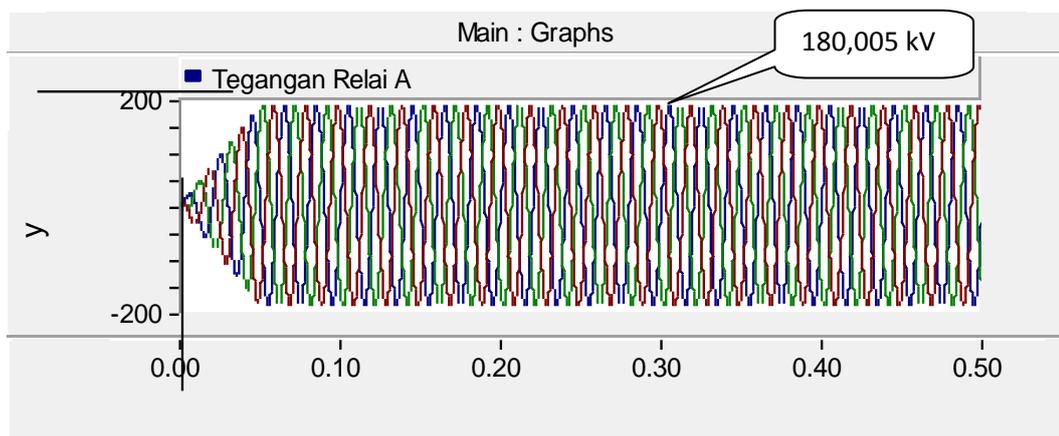
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan Rf (2 dan 5 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan satu fase ke tanah dengan nilai Rf sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perhatikan pada Gambar 4.16 dan 4.17 sebagai berikut:



(a)

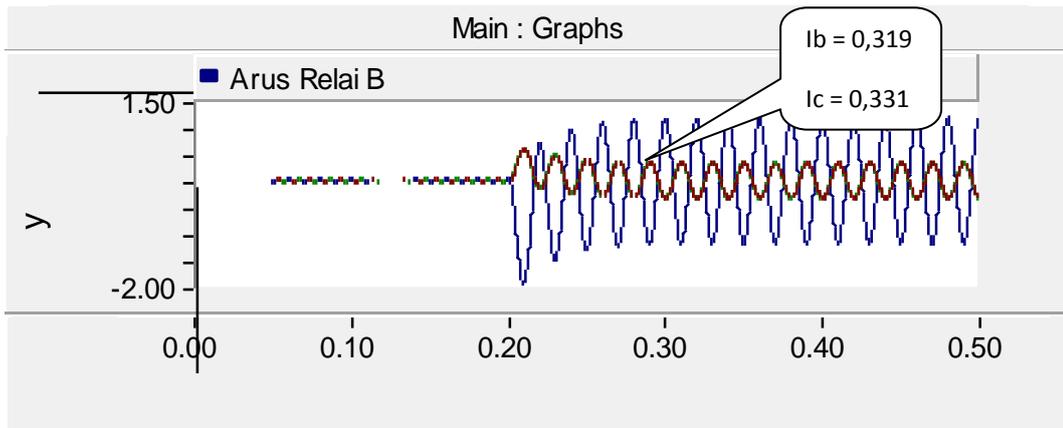


(b)

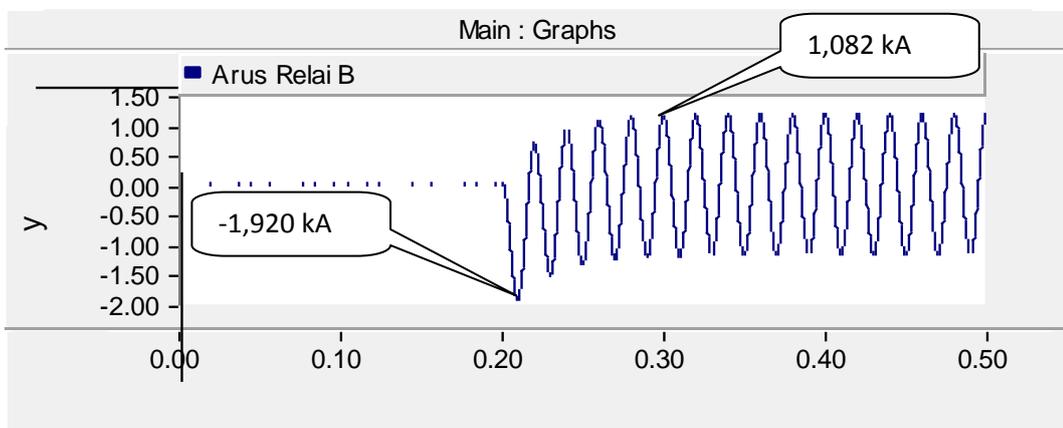


(c)

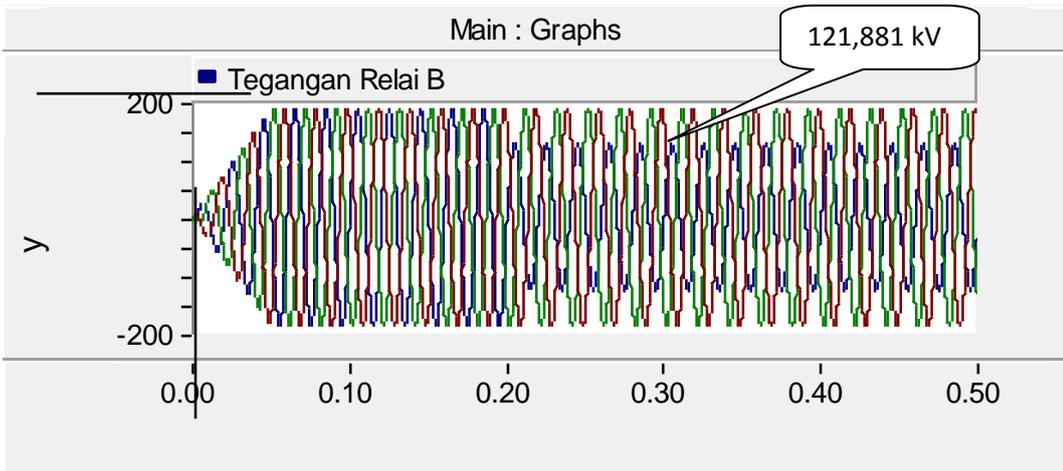
Gambar 4.16 Gelombang arus dan tegangan relai-A gangguan internal satu-fase ke tanah, $R_f = 2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.17 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal satu-fase ke tanah, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

Hasil simulasi keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.16 (a) dan (b), terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar 1,884 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 1,089 kA, sedangkan fase yang tidak terganggu (fase B-C) juga mengalami perubahan tetapi tidak besar.

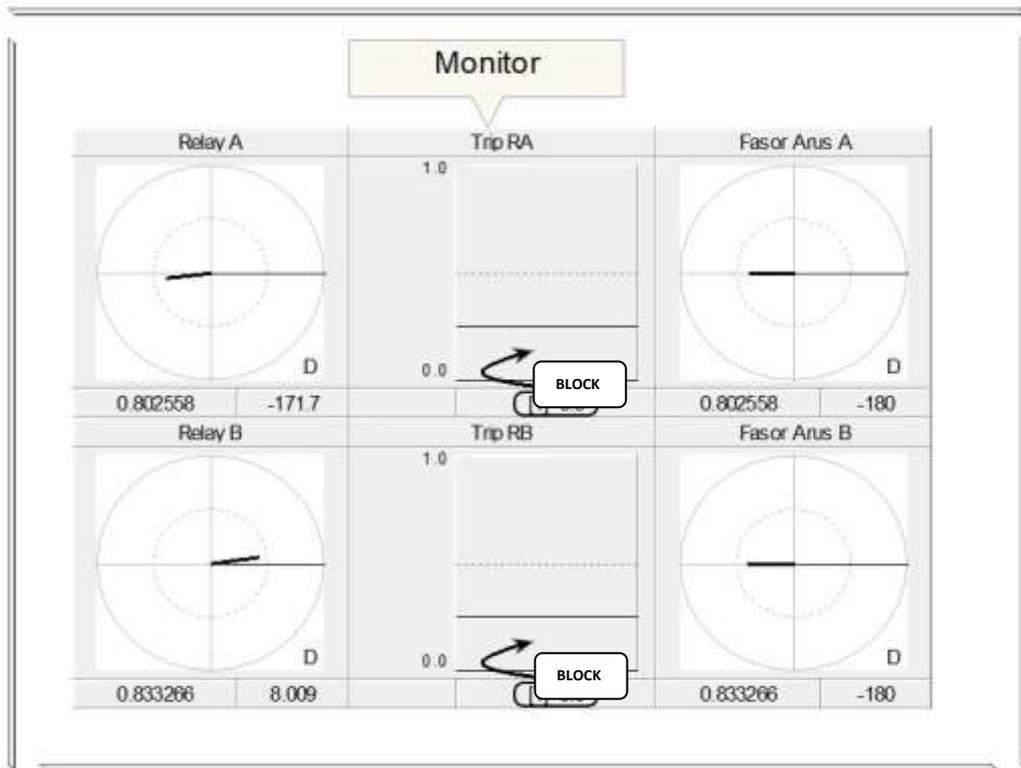
Sedangkan nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.16 (c) adalah sekitar 179,939 kV. Nilai tersebut menunjukkan fenomena yang tegangan yang terjadi pada gangguan internal terjadi pada gangguan eksternal.

Bentuk gelombang arus gangguan eksternal pada relai B di perlihatkan pada gambar 4.17 (a) dan (b), dari hasil simulasi terlihat nilai arus fase A saat terjadi gangguan yaitu sekitar 1,089, sedangkan nilai arus fase B dan fase C tidak berubah.

Sedangkan nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.17 (c) adalah sekitar 121,881 kV. Nilai tersebut menunjukkan fenomena yang tegangan yang terjadi pada gangguan internal tidak terjadi pada gangguan eksternal.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor arus teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.18 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai

Gambar 4.18 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -171.1, Relai B = 8.009 dengan selisih fase -180. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan eksternal diberikan oleh relai bernilai 0 (kondisi None Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan eksternal satu-fase ke tanah (Ag) dengan variasi Rf dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.1 berikut:

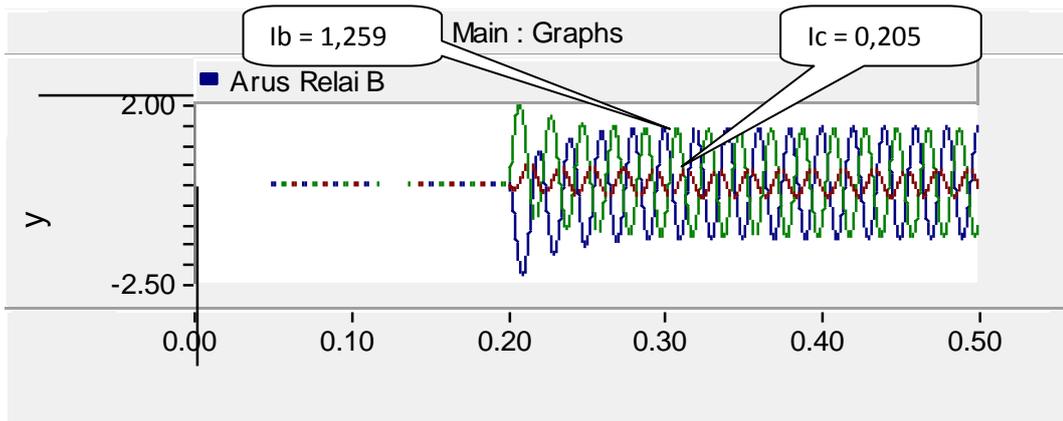
Tabel 4.5 Performa relai terhadap gangguan eksternal satu-fase ke tanah (A-G)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	1,089 kA	1,082 kA	180,005 kV	121,881 kV	-171,7	-8,009	-180	-	✓	-	✓
5 ohm	0,530 kA	0,361 kA	180,248 kV	108,696 kV	-171,3	8.004	-179	-	✓	-	✓

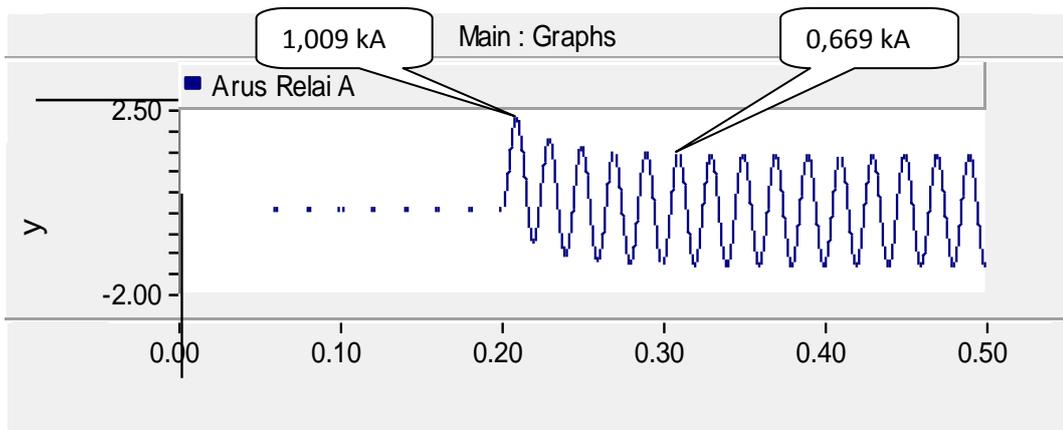
Dari tabel 4.5 terlihat ke-dua varian Rf menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan eksternal satu-fase ke tanah (Ag) *none trip*.

b. gangguan eksternal dua fase ke tanah (AB-G)

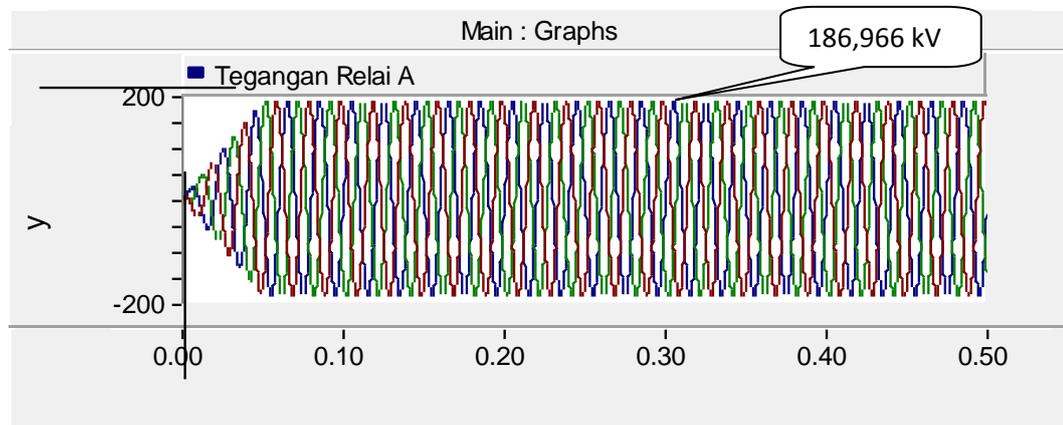
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan Rf(2dan 5 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan dua fase ke tanah dengan nilai Rf sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perhatikan pada gambar 4.19 dan 4.20 sebagai berikut:



(a)

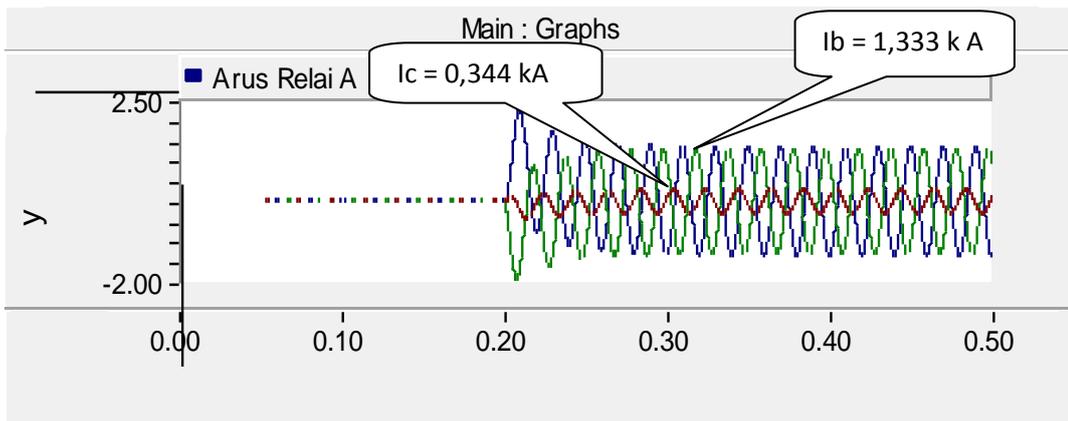


(b)

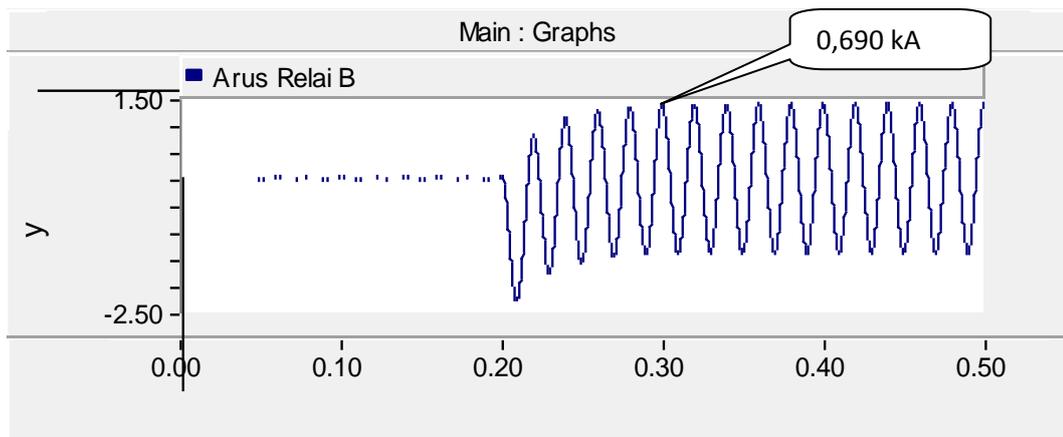


(c)

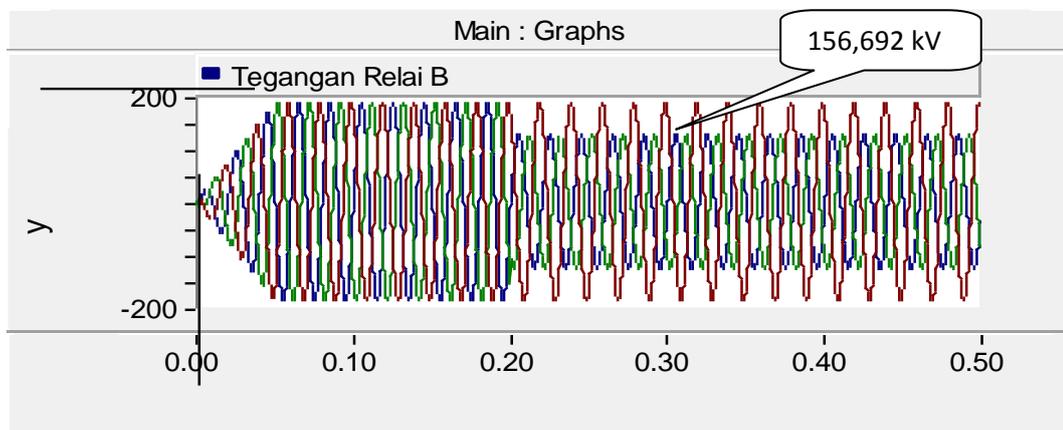
Gambar 4.19 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan eksternal dua-fase ke tanah, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.20 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal dua-fase ke tanah, $R_f=2 \text{ ohm}$; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

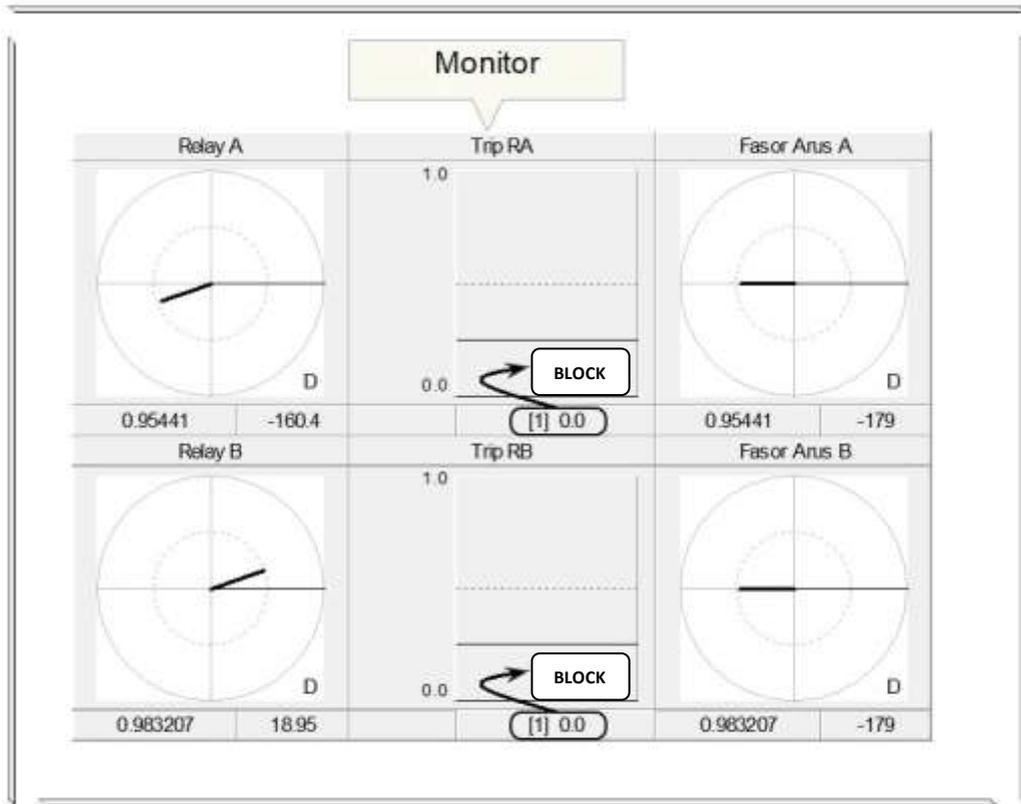
Keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.19 (a) dan (b), hasil simulasi menunjukkan nilai arus ke dua fase yang terganggu nilai arusnya hampir mendekati nol pada saat terjadi gangguan. Kenaikan arus (fase-A) merupakan nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar 1,099 kA, nilai arus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 0,669 kA, yang nilainya tidak berbeda jauh dengan fase B sedangkan fase C tidak mengalami perubahan.

Nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.19 (c) adalah sekitar 186,966 kV. Nilai tersebut menunjukkan tidak terjadi jatuh tegangan pada kedua fase yang terganggu, hal tersebut terjadi karena nilai jatuh tegangan pada sumber tidak besar, yang terjadi hanya jatuh tegangan pada generator dan nilainya sangat kecil, sehingga jatuh tegangan yang terjadi hampir tidak terlihat.

Sedangkan hasil gelombang keluaran arus pada relai B dapat dilihat pada gambar 4.20 (a) dan (b), hasil simulasi menunjukkan nilai kedua fase yang terganggu nilai arusnya hampir mendekati nol pada saat terjadi gangguan. Nilai arus maksimum (fase-A) pada keadaan *steady state* sekitar 0,690 kV yang nilainya tidak berbeda jauh dengan fase B, sedangkan fase C tidak mengalami perubahan.

Pada gambar 4.20 (c) terlihat nilai tegangan pada relai B sekitar 156,692 kV. Seperti pada gangguan satu fase ke tanah nilai tegangan relai A dan relai B sangat berbeda.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm disajikan pada lampiran. Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor arus teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.21 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai

Gambar 4.21 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -160,4, Relai B = 18,95 dengan selisih fase 0. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan eksternal diberikan oleh relai bernilai 0 (kondisi None Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan eksternal satu fase ke tanah (Ag) dengan variasi Rf dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.6 berikut:

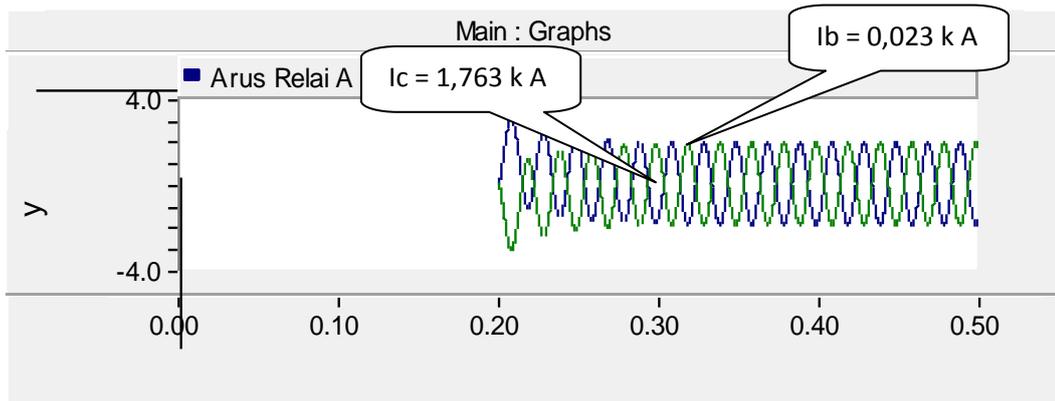
Tabel 4.6 Performa relai terhadap gangguan eksternal dua-fase ke tanah(AB-G)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	2,669 kA	0,690 kA	186,966 kV	156,692 kV	-160,4	18,95	-179	-	✓	-	✓
5 ohm	1,367 kA	1,348 kA	186,983 kV	125,205 kV	-159,8	18,81	-179	-	✓	-	✓

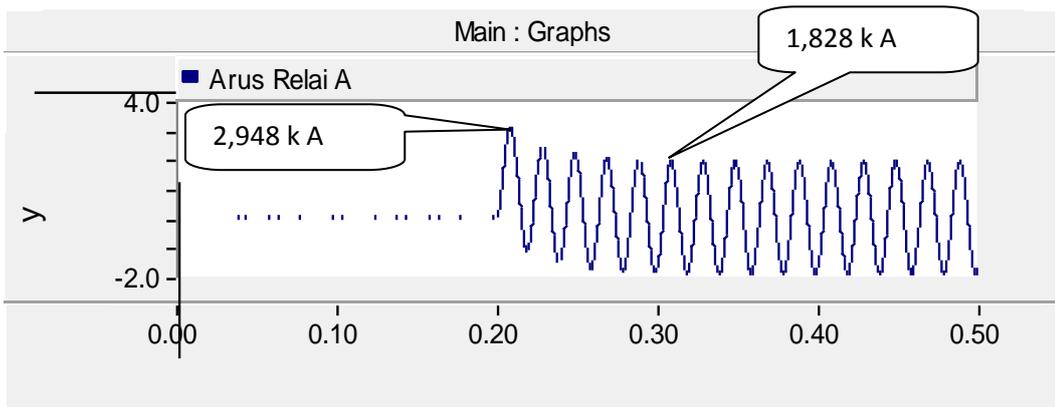
Dari tabel 4.6 terlihat ke-dua varian R_f menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan eksternal dua-fase ke tanah (Ag) *none trip*.

c. Gangguan eksternal dua fasa (AB)

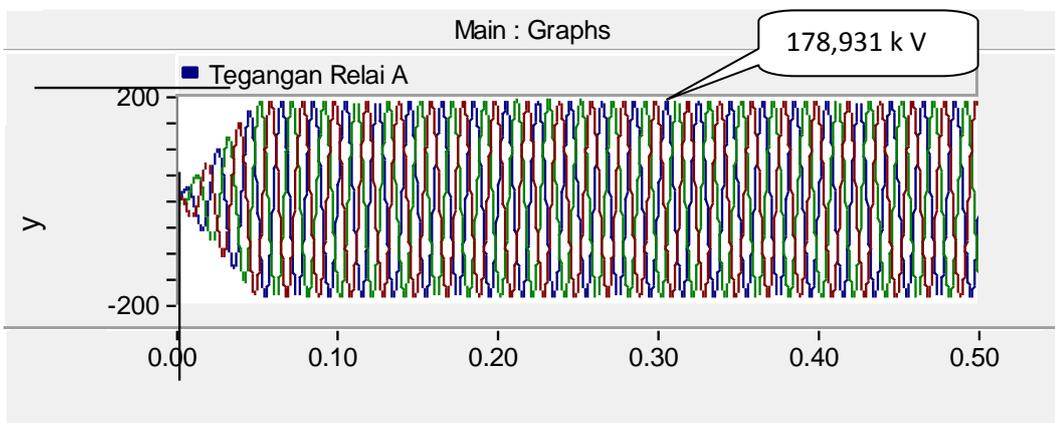
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan (R_f dari 2 dan 5 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik dan berlangsung selama 0.3 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan dua-fase dengan nilai R_f sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.22 dan 4.23 sebagai berikut:



(a)

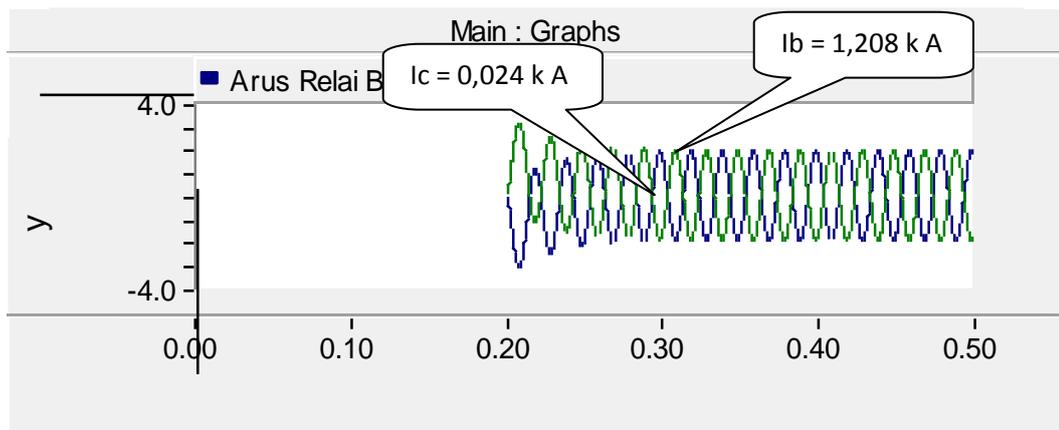


(b)

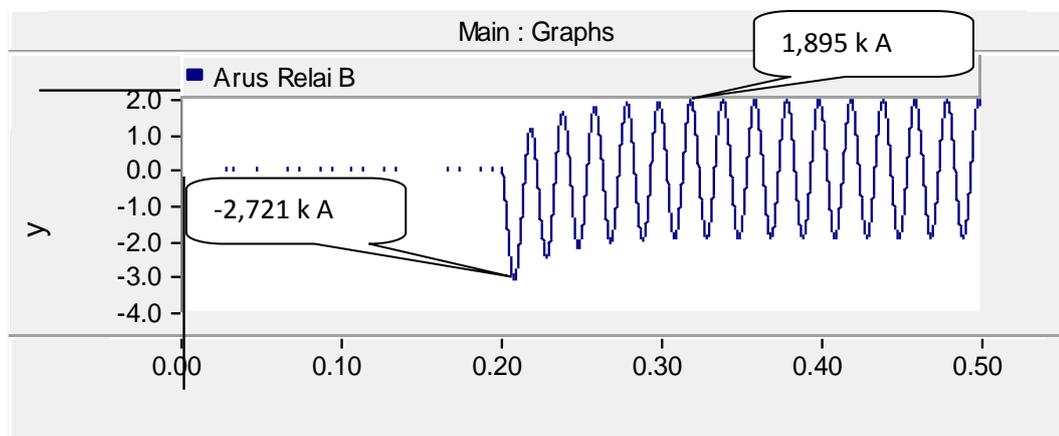


(c)

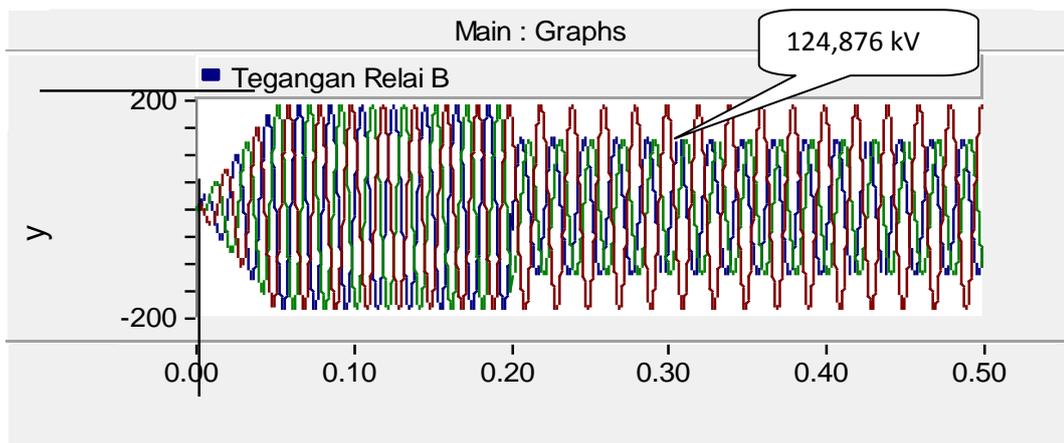
Gambar 4.22 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan eksternal dua-fase, $R_f=2 \text{ ohm}$; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.23 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal dua-fase, $R_f=2 \text{ ohm}$; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

Hasil simulasi keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.22 (a) dan (b), terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar 2,948 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 1,828 kA, sedangkan fase yang tidak terganggu (fase C) juga mengalami perubahan tetapi tidak besar.

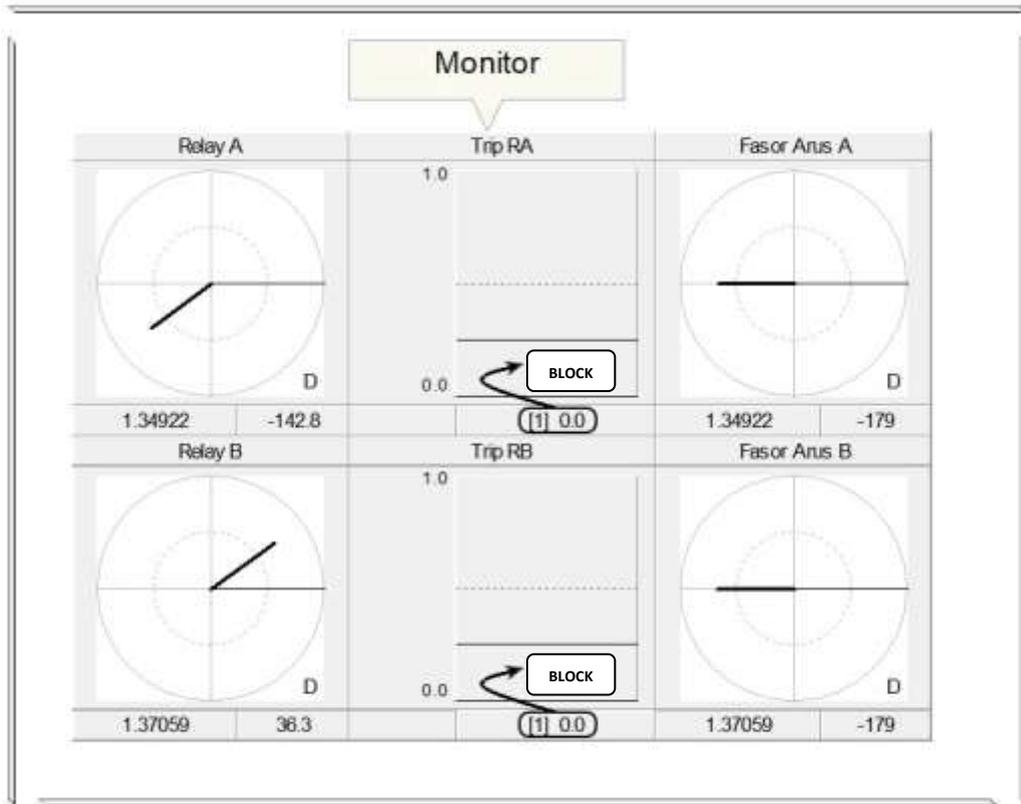
Sedangkan nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.22 (c) adalah sekitar 178,331 kV. Sama halnya pada kedua tipe gangguan sebelumnya tidak terjadi jatuh tegangan yang besar

Keluaran bentuk gelombang Pada pada relai B di perlihatkan pada gambar 4.23 (a) dan (b), hasil simulasi menunjukkan nilai arus maksimum (fase-A) pada keadaan *steady state* sekitar 1,895 kA.

Nilai tegangan dapat di lihat pada gambar 4.23 (c) sekitar 124,876 kV, seperti ke dua tipe gangguan sebelumnya terlihat perbedaan tegangan yang signifikan anatar relai A dan relai B, di mana nilai tegangan relai A lebih besar dari pada relai B.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor arus teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.24 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai

Gambar 4.24 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -142,8, Relai B = 36,3 dengan selisih fase -179. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan eksternal diberikan oleh relai bernilai 0 (kondisi None Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan eksternal dua-fase (AB) dengan variasi R_f dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.7 berikut:

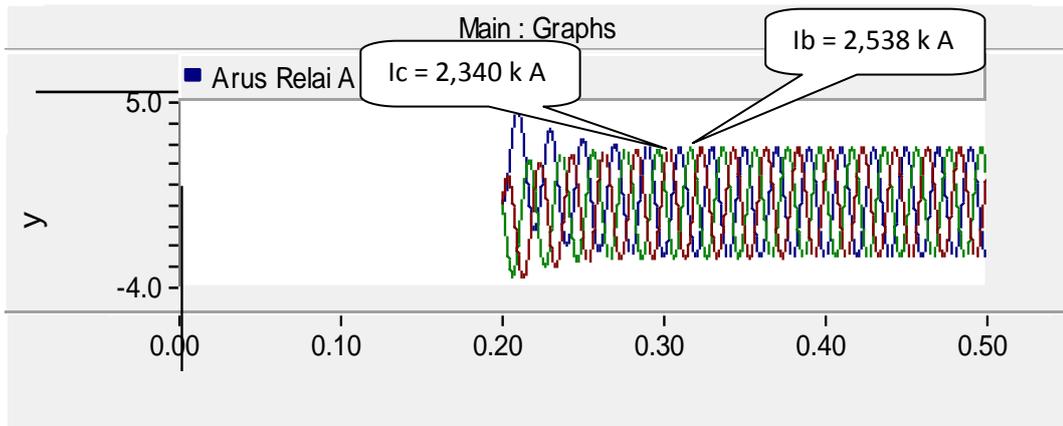
Tabel 4.7 Performa relai terhadap gangguan eksternal dua-fase (AB)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	1,828 kA	1,895 kA	178,931 kV	124,876 kV	-142,8	36,3	-179	-	✓	-	✓
5 ohm	1,093 kA	1,092 kA	186,510 kV	149,786 kV	-141,2	36,24	-178	-	✓	-	✓

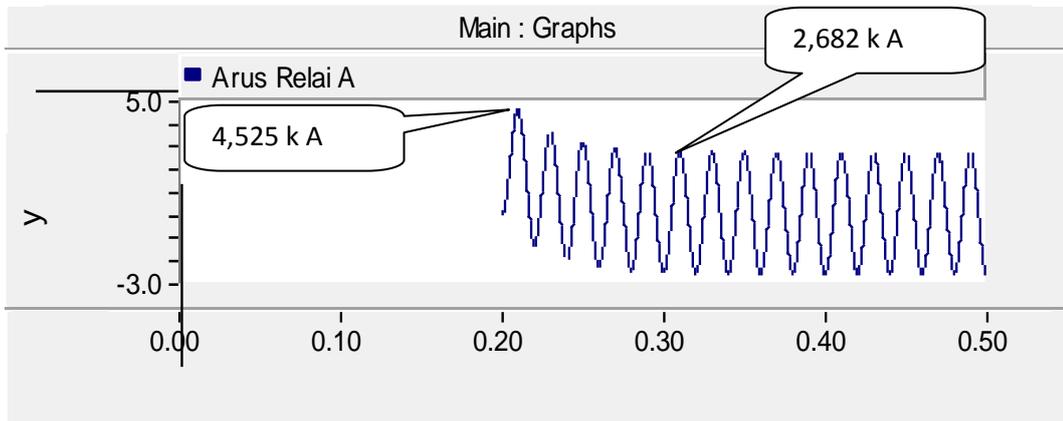
Dari tabel 4.7 terlihat ke-dua varian Rf menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan eksternal dua-fase (AB) *none trip*.

d. Gangguan eksternal Tiga fasa (ABC)

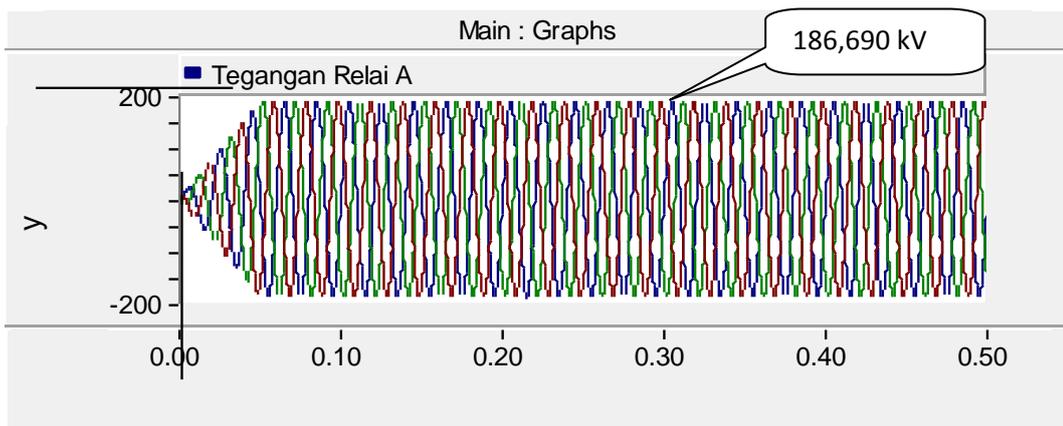
Gangguan divariasikan dengan dua variasi resistansi gangguan Rf (2 dan 5 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.2 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan tiga fasa dengan nilai Rf sebesar 2 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.25 dan 4.26 sebagai berikut:



(a)

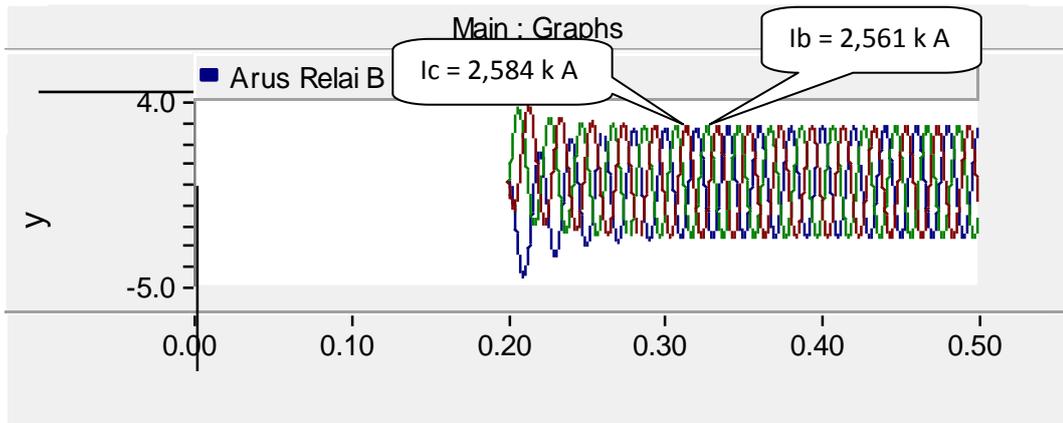


(b)

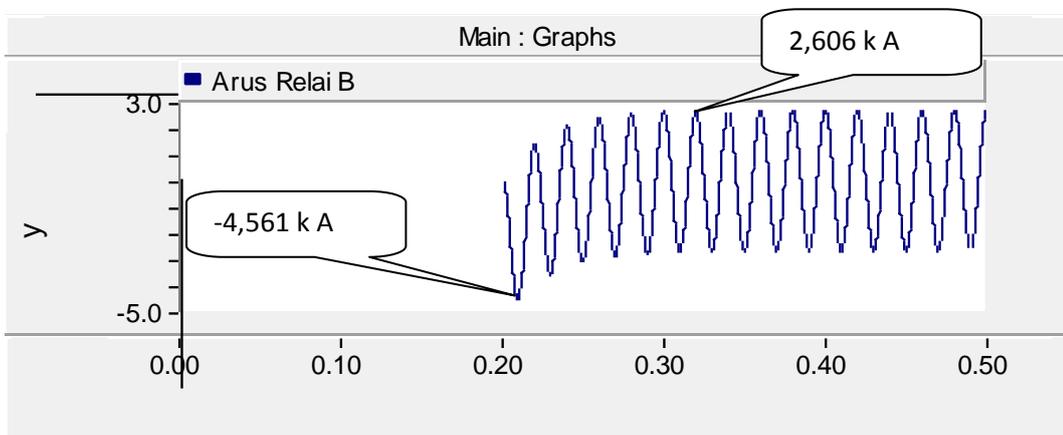


(c)

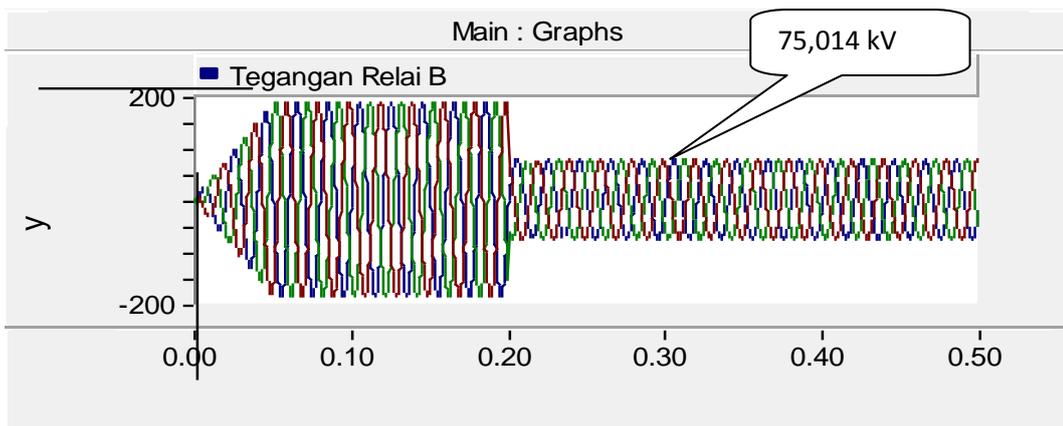
Gambar 4.25 Gelombang arus dan tegangan relai A gangguan eksternnal tiga-fase, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.26 Gelombang arus dan tegangan relai B gangguan eksternal tiga-fase, $R_f=2$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A; (c) Tegangan saluran.

Hasil simulasi keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.25 (a) dan (b), terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal kenaikan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar 4,525 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady states* sekitar 2,682 kA, begitu juga fase B dan fase C juga mengalami kenaikan arus.

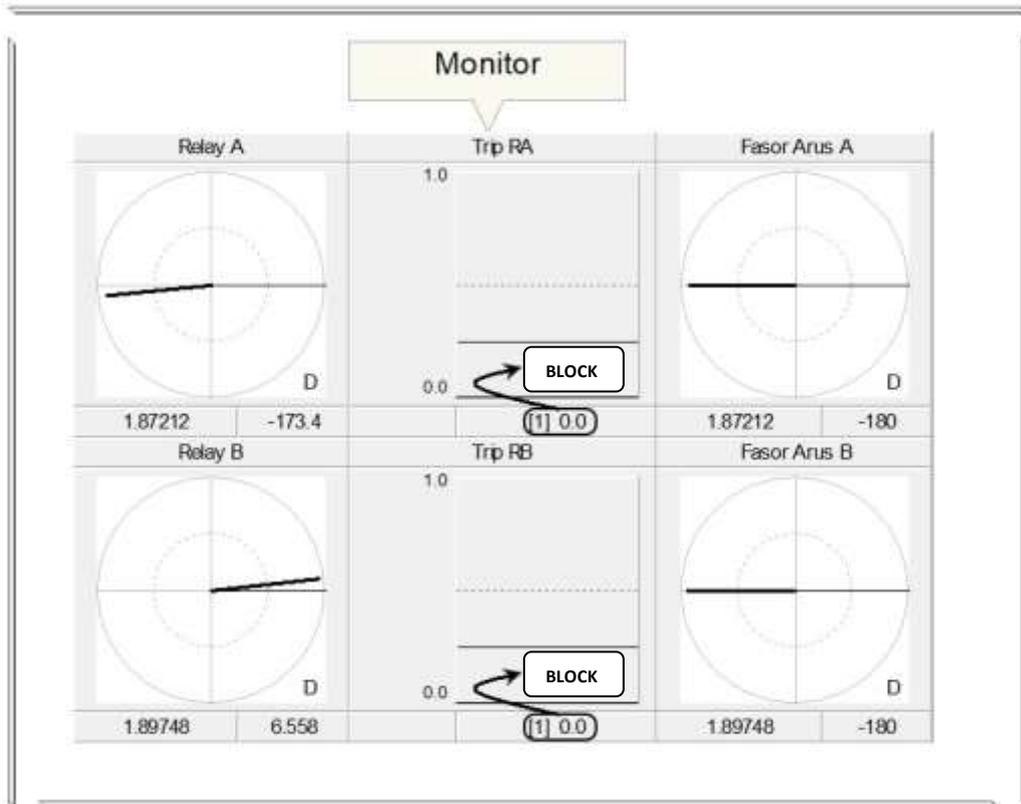
Sedangkan nilai tegangan yang terlihat pada gambar 4.25 (c) adalah sekitar 186,690 kV. Seperti ke tiga tipe gangguan sebelumnya tidak terjadi jatuh tegangan yang sangat besar.

Keluaran bentuk gelombang Pada pada relai B di perlihatkan pada gambar 4.26 (a) dan (b), hasil simulasi menunjukkan nilai arus maksimum (fase-A) pada keadaan *steady state* sekitar 2,606 kA.

Nilai tegangan dapat di lihat pada gambar 4.26 (c) sekitar 75,014 kV, seperti ke dua tipe gangguan sebelumnya terlihat perbedaan tegangan yang signifikan antar relai A dan relai B, di mana nilai tegangan relai A lebih besar dari pada relai B.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai atau fasor arus teknik perbandingan fase, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.27 Monitor keluaran nilai relai dan respon relai

Gambar 4.27 Monitor yaitu monitor fasor meter arus dari hasil simulasi RPPF, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A = -173,4 Relai B = 6,558 dengan selisih fase 0. Dimana nilai tersebut sama dengan setelan relai gangguan eksternal diberikan oleh relai bernilai 0 (kondisi None Trip).

Nilai arus, tegangan, relai dan respon relai gangguan eksternal tiga-fase (ABC) dengan variasi R_f dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Performa relai terhadap gangguan eksternal tiga-fase (ABC)

Res.	Arus		Tegangan		Nilai Relai		Selisih Fase	Respon Relai			
	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B	Relai A	Relai B		Relai A		Relai B	
								Trip (1)	Blok (0)	Trip (1)	Blok (0)
2 ohm	2,682 kA	2,606 kA	186,690 kV	75,014 kV	-173,4	6,558	-180	-	✓	-	✓
5 ohm	1,661 kA	1,632 kA	184,538 kV	117,515 kV	-173	6,817	-180	-	✓	-	✓

Dari tabel 4.8 terlihat ke-dua varian Rf menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan $I_{setting}$, sehingga respon relai terhadap gangguan eksternal tiga-fase ke *none trip*.

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Dari hasil simulasi dan analisa yang dilakukan dalam tugas akhir ini, maka dapat diambil simpulan bahwa simulasi dengan menggunakan *Software* PSCAD V 4.2.0 (student version) dapat menunjukkan bahwa Peralatan relai perbandingan fasa menggunakan pengamatannya untuk membandingkan hubungan fase antara arus yang masuk ke satu terminal dari bagian saluran transmisi dan meninggalkan arus yang lain, performa relai pilot teknik perbandingan fase arus terhadap dua variasi R_f (2 ohm dan 5 ohm) dengan 4 tipe gangguan yaitu gangguan satu fase ke tanah, dua fase ke tanah, dua fase dan tiga fase pada saluran transmisi tersebut sangat baik, karna relai bekerja dalam mendeteksi gangguan internal dimana relai akan memberikan perintah untuk *men-trip* CB. Demikian juga untuk gangguan eksternal relai tetap stabil (mem-blok) karna relai tidak memberikan perintah untuk *men-trip* CB.

B. Saran

Dikarenakan keterbatasan versi PSCAD/EMTDC yang digunakan dalam penelitian ini, maka diharapkan untuk pemodelan Relai Pilot Perbandingan Fase yang lebih komplit seperti satu rangkain langsung 2 gangguan dan sebagainya sebaiknya menggunakan versi PSCAD/EMTDC yang lebih tinggi (*full version*) dari versi PSCAD/EMTDC yang digunakan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar dan Kuwahara, 1993, Teknik Tenaga Listrik, Jilid II Saluran transmisi , Penerbit Pradya Paramita, Jakarta.
- Mason, C. Rulles. 1979. *The Art and Science of Protective Relaying*.
- Muller, Craig. P. Eng. *On the use of PSCAD (Power Sistem Computers Aided Design)*, Research Centre ,Winnipeg,Manitoba, Canada.
- Paithanker Y. G dan S. R. Bhide, 2003. Fundemantals Of Power System Protection, Meenakshi Printers, Delhi.
- Stevenson. W. D. Jr. 1990. Analisis Sistem Tenaga Listrik, Edisi Keempat . Penerbit Erlangga : Jakarta
- Syukriyadin, Syahrizal dan Cut Rizky Nakhrisya 2011. ‘ Analisis Proteksi Relay Differensial Terhadap Gangguan Internal dan Ekternal Transformator Menggunakan PSCAD/EMTDC’ Jurnal Rekayasa Elektriika Vol. 9
- Taqiyyuddin Muhammad Alawiy, 2006. Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Relay Elektromagnetis, Universitas Islam Malang.
- Vishwakarma D. N., Ram Badri, 1995. *Power Sisyem Protection And Swicgear*, Tata McGraw-Hill, New Delhi.

LAMPIRAN A
BENTUK DAN KEGUNAAN
KOMPONEN YANG
DIGUNAKAN

LAMPIRAN A

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

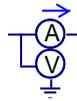
1. Three-Phase Voltage Source Model 2



Gambar A.1 Bentuk komponen Sumber Tiga-Phasa

Three-Phase voltage source model 2 adalah komponen yang memberikan input tegangan (kV), frekuensi (Hz) dan tipe impedansi yang diinginkan.

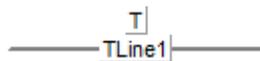
2. Multi meter



Gambar A.2 bentuk komponen multi meter

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

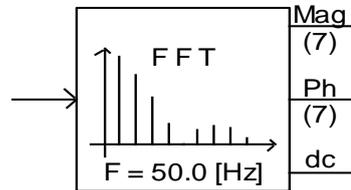
3. Transmission lines



Gambar A.3 bentuk komponen transmision lines

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

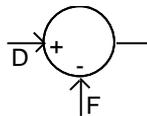
4. On-line Frekuensi Scanner (FFT)



Gambar A.4 bentuk komponen FFT

FFT adalah sebuah komponen yang dapat memproses nilai arus atau tegangan untuk menghasilkan nilai magnitudo dan sudut fase. Nilai magnitudo atau sudut fase berupa nilai domain waktu ($I \square \Theta$) dimana nilai I adalah magnitudo 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 mengurangi nilai yang di inginkan.

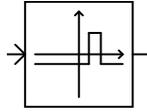
6. Output Channel



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, polymeter ,meter, dan lain-lain.

7. Range Comparator



Gamabar A.6 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.

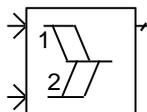
8. Angle Resolver



Gamabar A.6 bentuk komponen 8. Angle Resolver

Komponen ini mengubah sinyal sudut input dari derajat ke radian, atau radian ke derajat, rentang output dapat di pilih sebagai **0 to 2p** atau **p to -p**.

9. Vector Interlace



Gamabar A.6 bentuk komponen 9. Vector Interlace

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

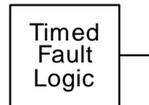
10. Three-Phase Fault



Gamabar A.6 bentuk komponen Three-Phase Fault

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

11. Timed Fault Logic



Gamabar A.6 bentuk komponen Fault Logic

Timed Fault Logic adalah komponen yang berfungsi untuk pengaturan waktu gangguan. Waktu yang diatur berupa saat mulai gangguan (apply fault), dan lama waktu terjadi gangguan (Duration fault)

LAMPIRAN B

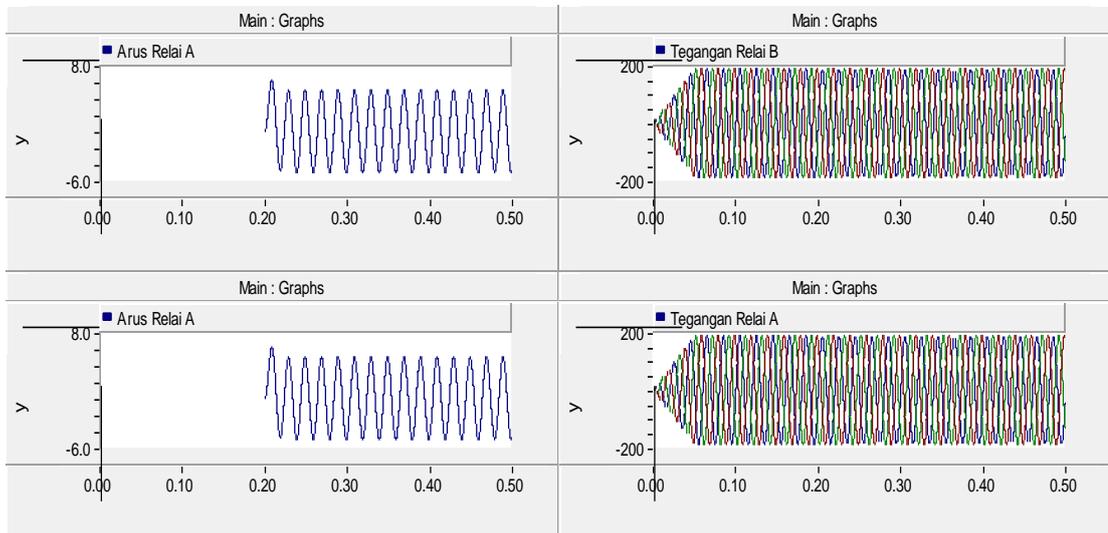
GRAFIK KELUARAN SIMULASI

UNTUK GANGGUAN

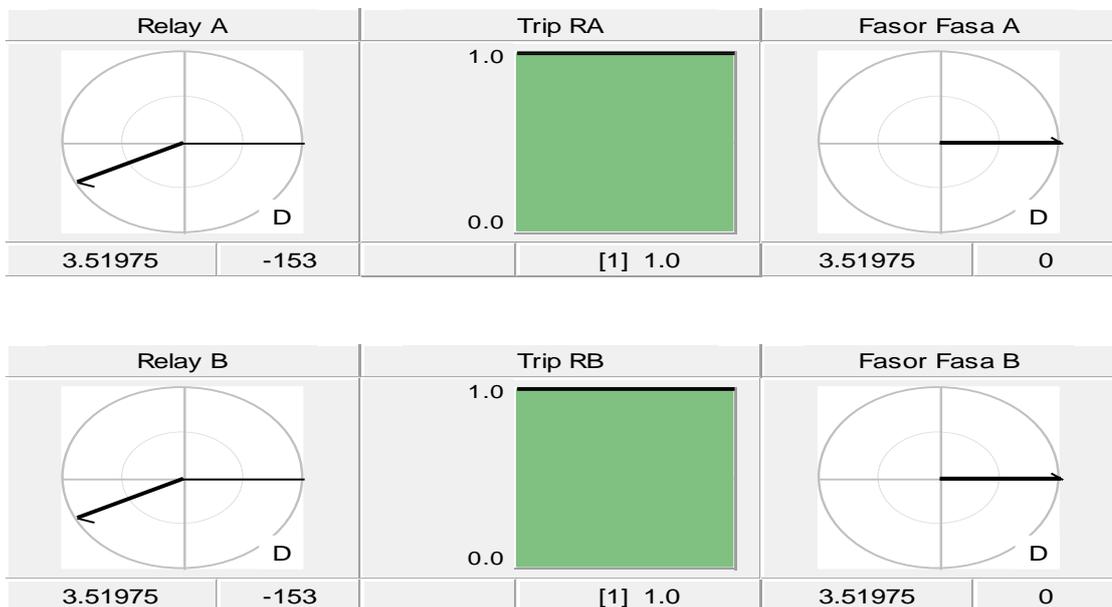
INTERNAL DAN EKSTERNAL

Lampiran B.1 Gangguan Intenal Satu-Fase Ketanah (A-G)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



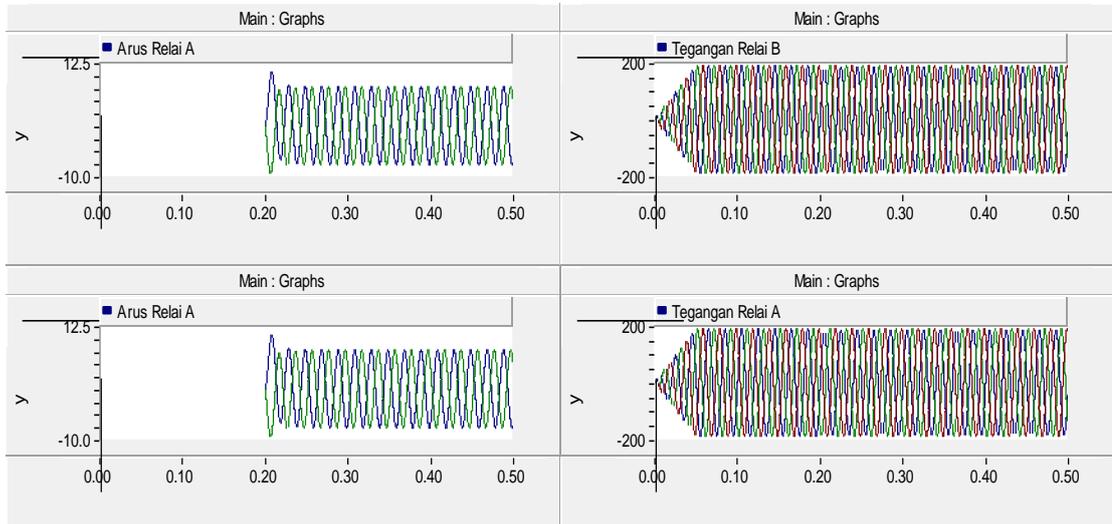
Gambar B.1.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



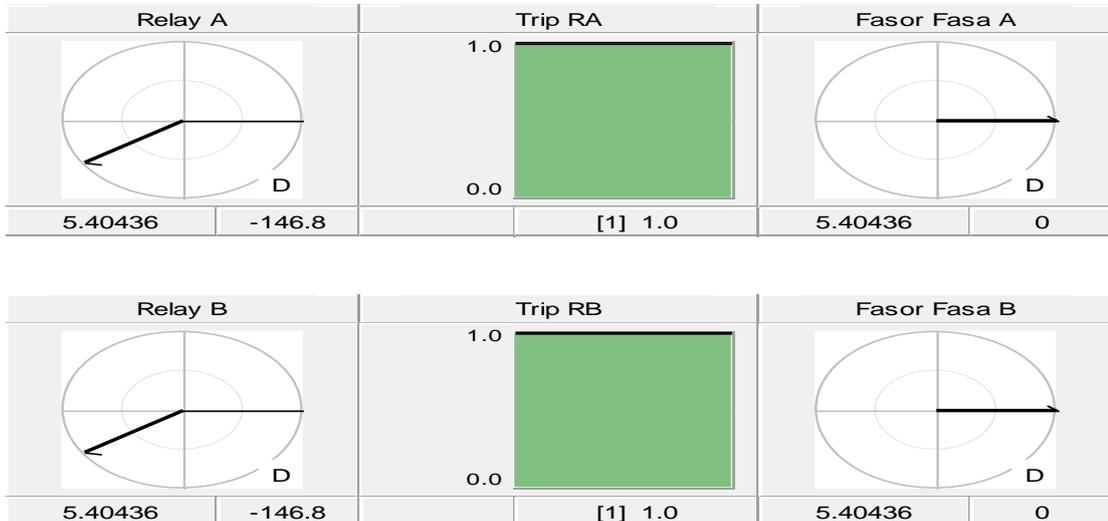
Gambar B.1.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai

Lampiran B.2 Gangguan Internal Dua-fase ketanah (AB-G)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



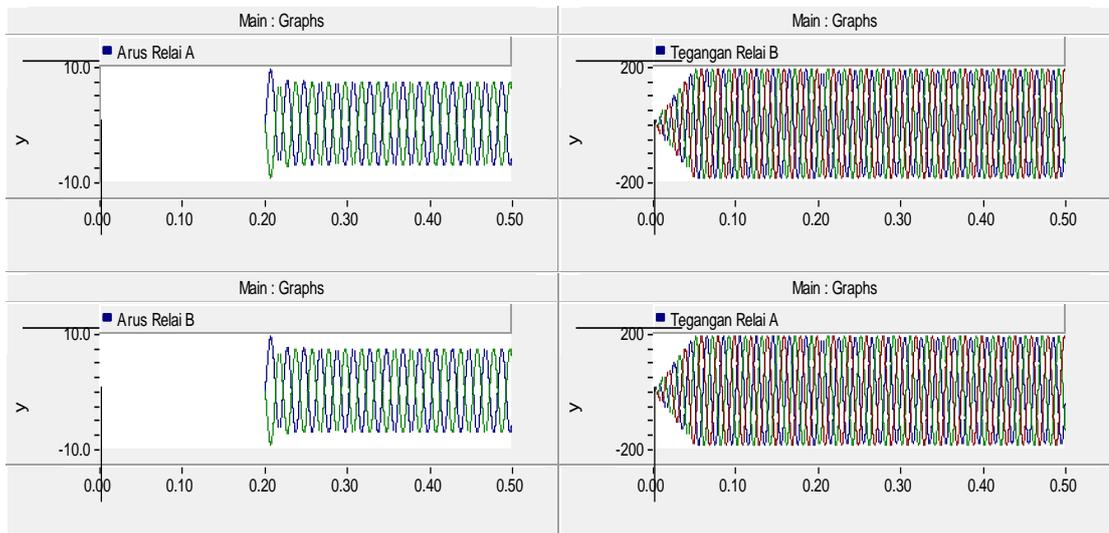
Gambar B.2.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



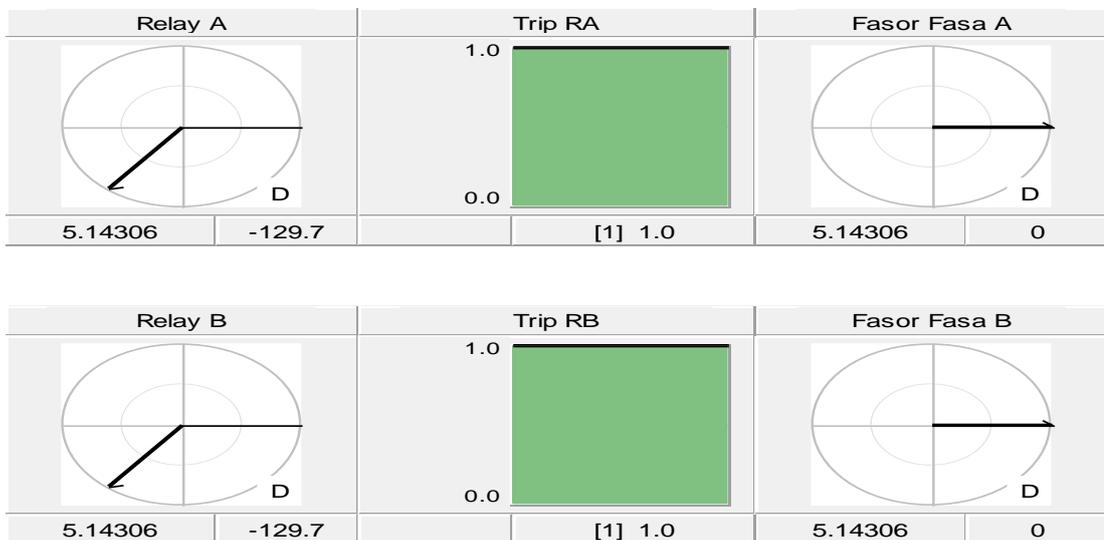
Gambar B.2.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai

Lampiran B.3 Gangguan Internal Dua-fase (AB)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



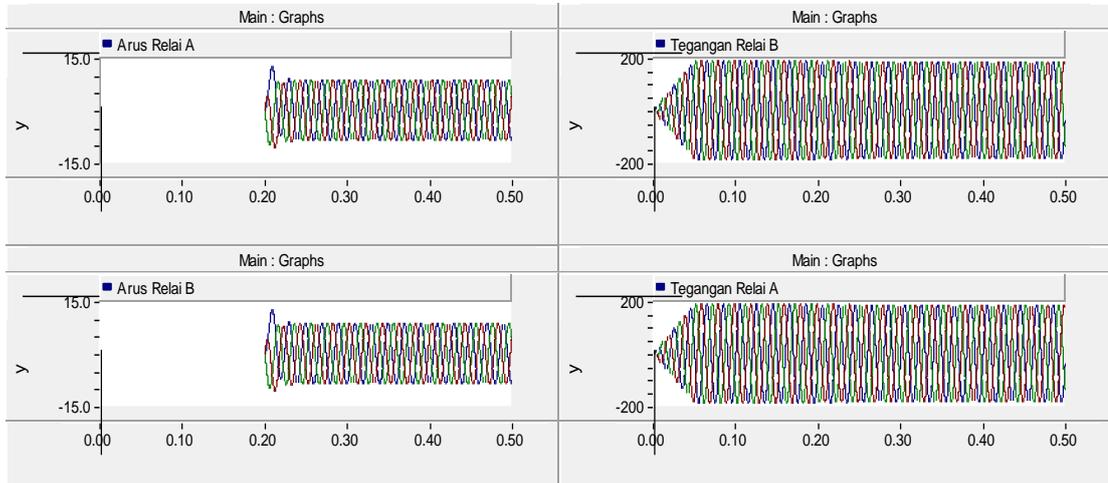
Gambar B.3.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



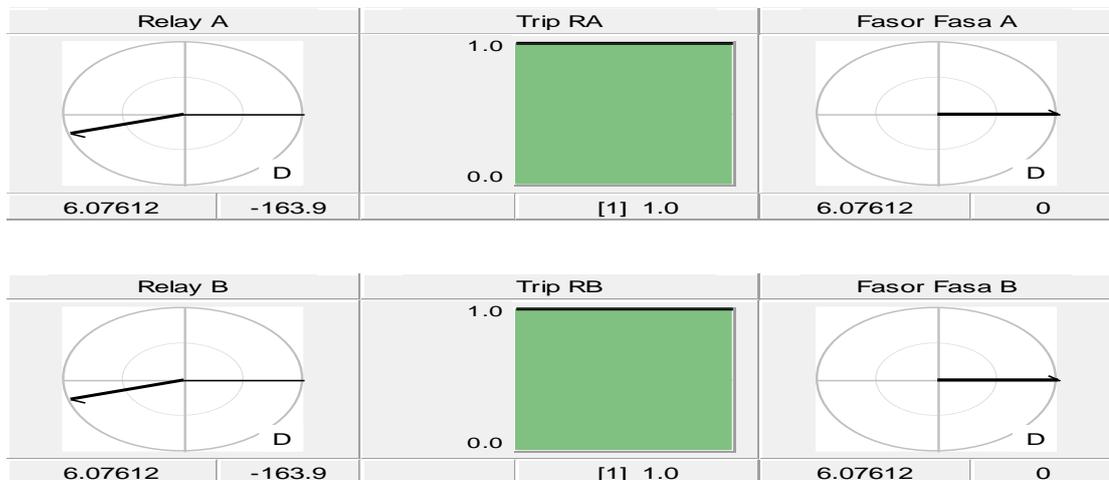
Gambar B.3.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai

Lampiran B.5 Gangguan Internal Tiga-Fase (ABC)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



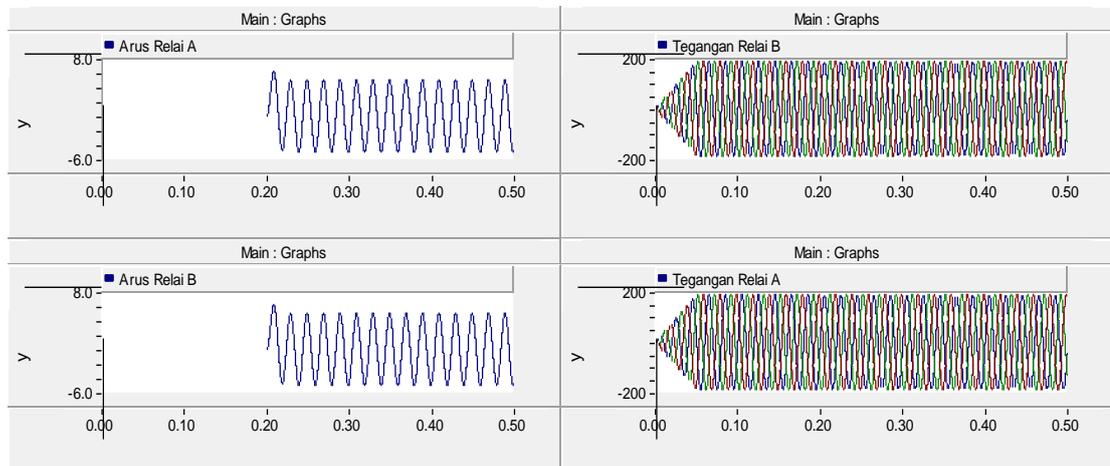
Gambar B.5.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



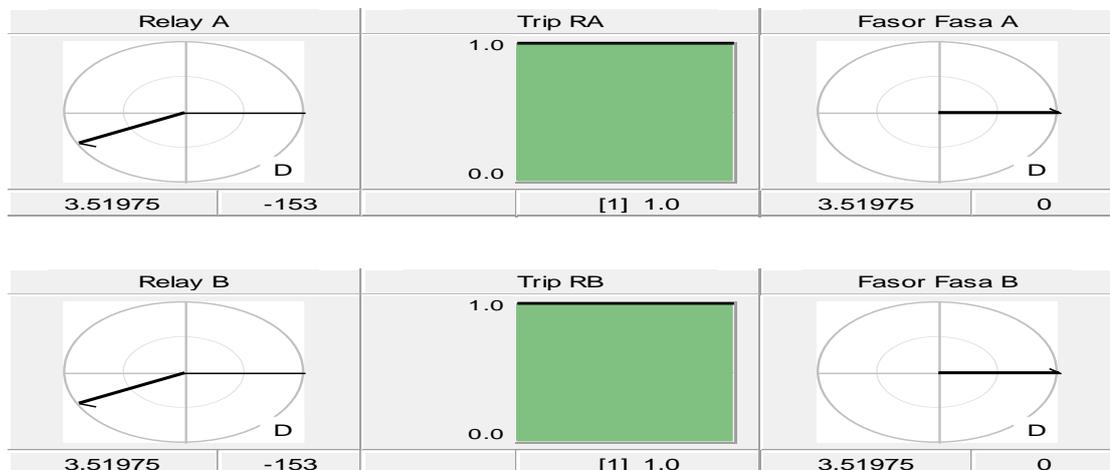
Gambar B.5.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai

Lampiran B.6. Gangguan Eksternal Satu-Fase Ketanah (A-G)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



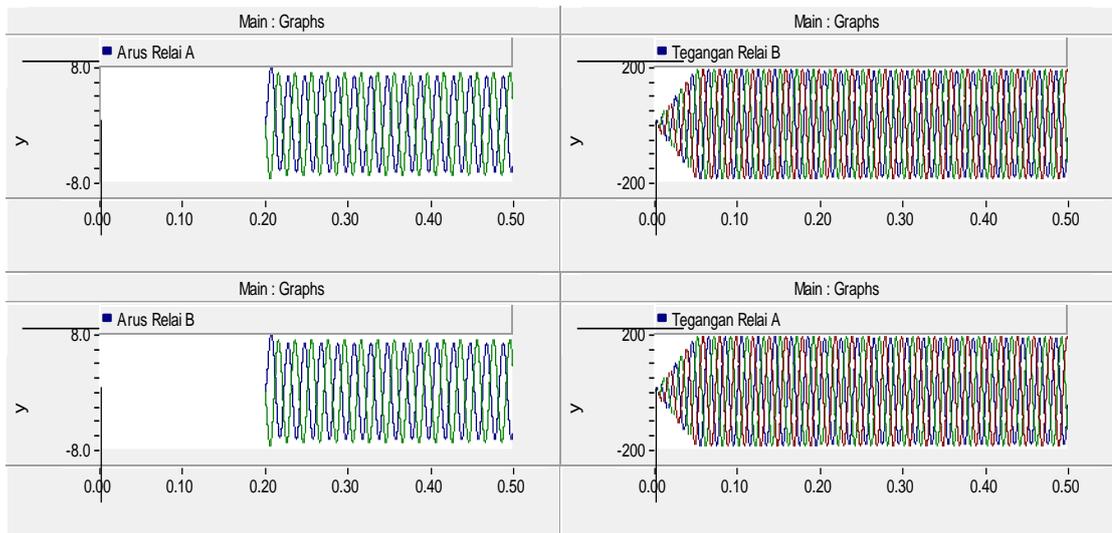
Gambar B.6.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



Gambar B.6.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai

Lampiran B.7 Gangguan Eksternal Dua-Fase Ketanah (AB-G)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



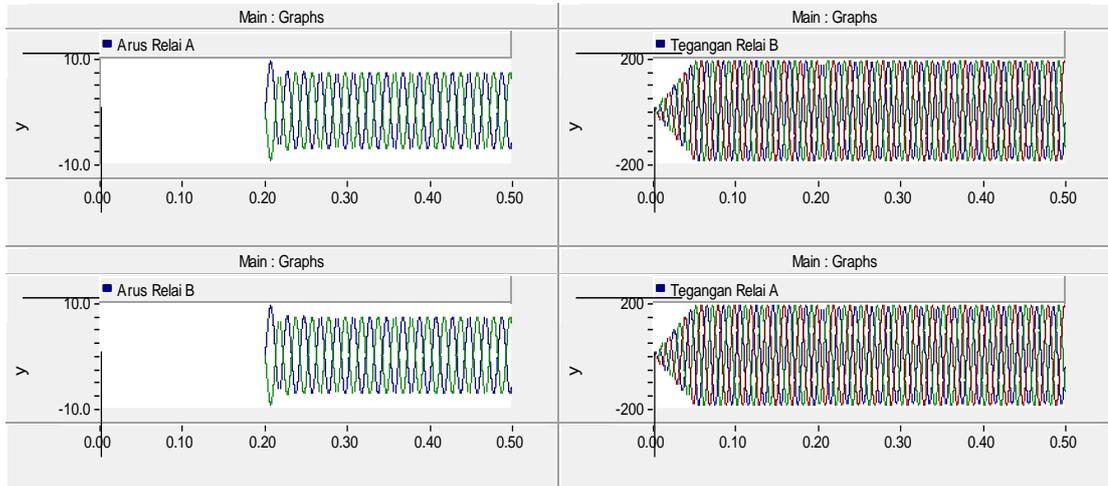
Gambar B.7.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



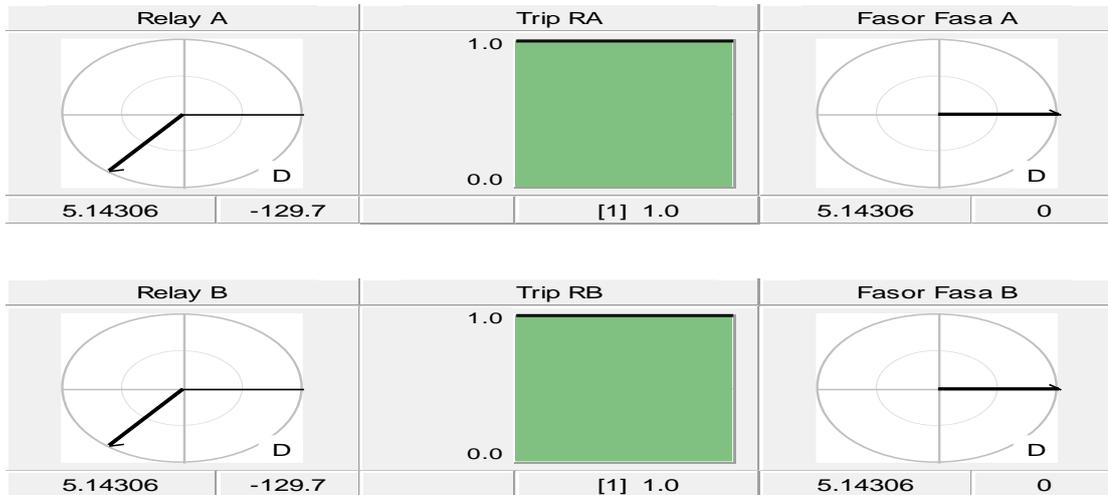
Gambar B.7.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai

Lampiran B.8. Gangguan Eksternal Dua-Fase (AB)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



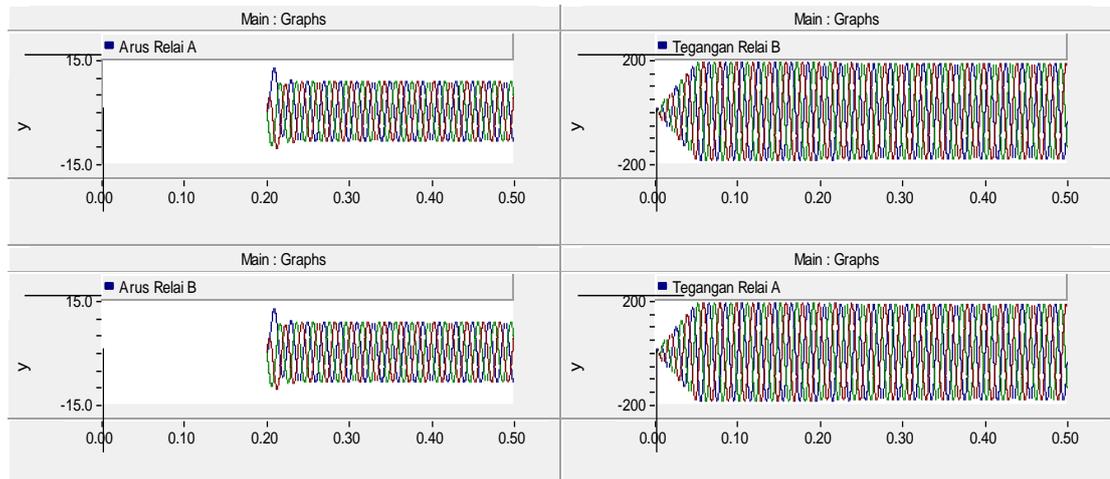
Gambar B.8.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



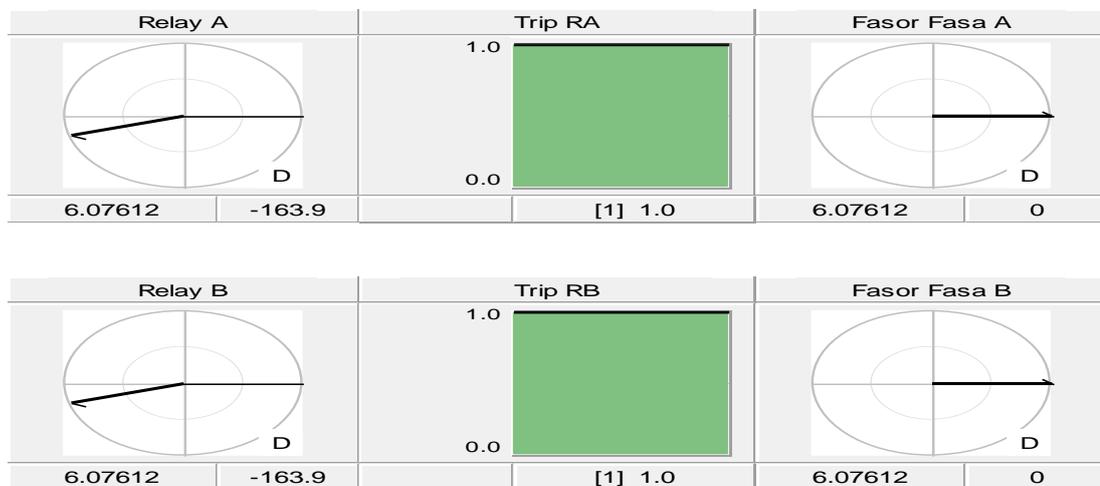
Gambar B.8.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai

Lampiran B.9. Gangguan Eksternal Tiga-Fase (ABC)

- Resistansi gangguan 5 Ohm



Gambar B.9.1 Gelombang arus dan tegangan relai A dan relai B



Gambar B.9.2 Monitor keluaran nilai relai, fasor fasa dan respon relai