

SKRIPSI

**SIMULASI PROTEKSI JARINGAN TRANSMISI DENGAN
RELAI DIFERENSIAL PERSENTASE DUAL-BIAS
MENGUNAKAN PROGRAM PSCAD**



ZAINAL ABIDIN

105821115517

CAHYU MIFTAHUL KHAIR

105821112817

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Zainal Abidin** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11155 17 dan **Cahyu Niftahul Khair** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11128 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0002/SK-Y/20201/091004/2022, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 22 Januari 2022.

Panitia Ujian :

. Pengawas Umum

Makassar,

28 Jumadil Akhir 1443 H

31 Januari 2022 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

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

. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

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

. Anggota : 1. Dr. Hj. Rossy Timur Wahyuningsih, S.T.,M.T

2. Ir. Abdul Hafid, M.T

3. Ridwang, S.Kom.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Andi Faharuddin, S.T.,M.T

NIP.132169986

Dr. Ir. H. Antarissubhi, S.T.,M.T

Dekan

Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.,IPM

NBM : 795 108

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadiran Allah S.W.T., atas berkat Rahmat dan Hidayah-Nya lah sehingga skripsi ini dapat kami susun dan selesaikan dengan sebaik mungkin. Salawat dan salam kepada junjungan kita Nabiullah Muhammad SAW.

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 Proteksi Jaringan Transmisi Dengan Relai Diferensial Persentase Dual-Bias Menggunakan Program PSCAD”**.

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

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

1. Ayah dan Ibu tercinta, kami mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam

bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.

2. Ibu Ir. Nunawaty, S.T., M.T. IPM Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu Adriani, S.T., M.T. Selaku Ketua Prodi Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Andi Faharuddin, S.T., M.T. Selaku Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. H. Antarissubhi, S.T., M.T. selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
5. Bapak/Ibu Dosen serta Staf Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani kami selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus Akurasi 2017 dan selembaga Fakultas Teknik 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 S.W.T dan skripsi yang sederhana ini bermanfaat bagi kita semua.

Aamiin.

Makassar, 28 Oktober 2021

Penulis

¹Zainal abidin . ²Cahyu miftahul khair

¹Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Unismuh Makassar

E_mail : user.zainalabidinn@gmail.com

²Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Unismuh Makassar

E_mail : cahyumiftahulkhair@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Zainal Abidin dan Cahyu Miftahul Khair, (2021) Saluran transmisi merupakan komponen yang sangat penting dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, yang menghubungkan unit pembangkit dengan pusat-pusat beban. Dalam sistem penyaluran tenaga listrik terutama pada saluran transmisi perlu pengamanan yang sangat baik untuk mencegah terjadinya hal yang tidak diinginkan. Maka dari itu saluran transmisi ini perlu penanganan yang baik, untuk itu salah satu peralatan *proteksi* yang digunakan adalah relai diferensial dual bias dimana relai ini adalah relai terbaik untuk proteksi saluran transmisi dan trafo yang di kembangkan dari relai pilot sebelumnya. Relai diferensial dual bias menggunakan dua relai di setiap ujung saluran transmisi yang dapat mencakup area proteksi yang cukup luas. Penelitian ini menunjukkan kinerja relai diferensial dual bias terhadap saluran transmisi pada gangguan *internal* dan *eksternal* dengan empat tipe gangguan dengan resistansi gangguan yang berbeda yang akan di simulasikan di PSCAD (*Power System Computer Aided Design*), yaitu gangguan *internal* dua fase, *internal* tiga fase, *eksternal* dua fase dan tiga fase dengan resistansi gangguan 1, 5 dan 10 ohm. Sistem yang dikaji pada penelitian ini memiliki sumber 150 kV, 3 fase, 50 Hz menggunakan saluran transmisi dengan panjang 6,4 km. Simulasi gangguan hubung singkat dan relai pada saluran transmisi menggunakan *software* PSCAD. Hasil simulasi menunjukkan bahwa relai diferensial dual bias bekerja dengan baik dimana pada saat gangguan internal terjadi *trip* dan pada saat gangguan eksternal terjadi *blok*.

Kata Kunci : *Proteksi* saluran transmisi, gangguan hubung singkat, relai diferensial dual bias, PSCAD

¹Zainal abidin . ²Cahyu miftahul khair

¹Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh Makassar

E_mail : user.zainalabidinn@gmail.com

²Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Unismuh Makassar

E_mail : cahyumiftahulkhair@gmail.com

ABSTRACT

Abstract; Zainal Abidin and Cahyu Miftahul Khair, (2021) The transmission line is a very important component in the operation of the electric power system, which connects the generating unit with load centers. In the electric power distribution system, especially on the transmission line, it is necessary to have very good security to prevent unwanted things from happening. Therefore, this transmission line needs good handling, for that one of the protection equipment used is a dual bias differential relay where this relay is the best relay for transmission line and transformer protection which was developed from the previous pilot relay. Dual bias differential relay use two relay at each end of the transmission line which can cover a fairly wide area of protection. This study shows the performance of dual bias differential relay on transmission lines on internal and external faults with four types of faults with different fault resistances which will be simulated in PSCAD (Power System Computer Aided Design), namely two-phase internal faults, three-phase internals, and external faults. two-phase and three-phase with fault resistance of 1, 5 and 10 ohms. The system studied in this study has a 150 kV, 3 phase, 50 Hz source using a transmission line with a length of 6.4 km. Simulation of short circuit and relay faults on transmission lines using PSCAD software. The simulation results show that the dual bias differential relay works well when there is a tripping internal fault and a block when an external fault occurs.

Keywords: Transmission line protection, short circuit fault, dual bias differential relay, PSCAD

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN SAMPUL | |
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| DAFTAR NOTASI | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang..... | 2 |
| B. Rumusan Masalah..... | 3 |
| C. Tujuan Penelitian..... | 3 |
| D. Batasan Masalah..... | 3 |
| E. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| F. Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| A. Umum..... | 6 |
| B. Sistem Proteksi..... | 6 |
| 1. Fungsi Sistem Proteksi..... | 8 |
| 2. Syarat-syarat Relai Pengaman..... | 9 |

| | | |
|-----|--|----|
| a. | Cepat bereaksi | 9 |
| b. | Selektif | 9 |
| c. | Peka/ sensitif | 10 |
| d. | Andal/ <i>reliabilit</i> | 11 |
| e. | Sederhana/ <i>simplicity</i> | 11 |
| f. | Murah/ <i>economy</i> | 11 |
| 3. | Daerah Proteksi | 11 |
| 4. | Komponen Utama Sistem Proteksi..... | 12 |
| a. | Relai | 12 |
| b. | CB (<i>circuit braker</i>)..... | 13 |
| 5. | Prangkat Proteksi..... | 13 |
| C. | Relai Proteksi Pada Saluran Transmisi | 14 |
| 1. | Relai Proteksi Nonpilot | 15 |
| a. | Relai Arus Lebih (<i>over current relay</i>) | 15 |
| b. | Relai Jarak (<i>distance relay</i>) | 15 |
| 2. | Skema Proteksi Pilot (Unit)..... | 16 |
| a. | Relai Pembanding Fasa | 16 |
| b. | Relai Perbanding arah | 17 |
| 3. | Relai Diferensial..... | 17 |
| a. | Prinsip Kerja Relai Diferensial | 17 |
| b. | Gangguan Relai Diferensial..... | 20 |
| 1). | Relai Diferensial Keadaan Gangguan Internal | 20 |
| 2). | Relai Diferensial Keadaan Ganggaun Eksternal | 21 |
| c. | Jenis Relai Diferensial | 22 |
| 1). | Relai Diferensial Logitunal | 22 |
| 2). | Relai Diferensial persentase | 23 |
| D. | Gangguan Sistem Tenaga Listrik | 23 |
| 1. | Penyebab gangguan | 23 |
| 2. | Jenis-jenis gangguan | 24 |
| E. | Relai Diferensial pada Proteksi Transmisi | 25 |
| 1. | Prinsip Kerja Relai Diferensial..... | 26 |

| | |
|--|-----------|
| F. Relai Diferensial Dual Bias | 27 |
| G. Perangkat Lunak PSCAD (<i>Power System Computer Aided Design</i>) | 33 |
| 1. Pengertian PSCAD | 33 |
| 2. Studi tipikal PSCAD/EMTDC | 33 |
| 3. Pengenalan Aplikasi PSCAD | 34 |
| a. <i>Kontrol Bar</i> | 35 |
| b. <i>Schematic Tabs</i> | 35 |
| c. <i>Workspace and Messages Windows</i> | 35 |
| d. <i>Opening A Case Project</i> | 36 |
| e. <i>Component wizard</i> | 37 |
| f. <i>Running A Simulation</i> | 37 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 40 |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian | 40 |
| B. Peralatan dan Bahan | 40 |
| 1. Peralatan | 40 |
| 2. Bahan | 41 |
| C. Skema Penelitian | 41 |
| D. Data penelitian | 44 |
| E. Langkah Penelitian | 44 |
| BAB IV HASIL DAN PENELITIAN | 47 |
| A. Permodelan Sistem Proteksi Jaringan Transmisi Dengan Relai Diferensial Dual Bias Menggunakan Pscad | 47 |
| B. Hasil simulasi | 50 |
| 1. Kondisi normal | 50 |
| a. Simulasi dan setelan arus diferensial | 50 |
| b. Grafik karakteristik relai DDB jaringan transmisi | 56 |
| c. Analisis kinerja relai DDB terhadap kondisi gangguan | 57 |
| 2. Simulasi gangguan internal | 59 |
| a. Gangguan internal dua fase (AB) | 59 |
| b. Gangguan internal tiga fase (ABC) | 63 |

| | |
|---|-----------|
| 3. Simulasi gangguan Eksternal | 67 |
| a. Gangguan eksternal dua fase (AB)..... | 68 |
| b. Gangguan eksternal tiga fase (ABC)..... | 72 |
| BAB V PENUTUP..... | 77 |
| A. Kesimpulan | 77 |
| B. Saran..... | 77 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 78 |
| LAMPIRAN A..... | 80 |
| LAMPIRAN B..... | 85 |
| SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT | 92 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Suatu Sistem Tenaga Listrik yang Sederhana Mengalami Gangguan pada Titik | 10 |
| Gambar 2.2 Prinsip Kerja Relai Diferensial | 18 |
| Gambar 2.3 Relai diferensial saat arus normal | 19 |
| Gambar 2.4 Relai Diferensial Keadaan Gangguan Internal | 20 |
| Gambar. 2.5 Relai Diferensial Keadaan Gangguan Eksternal | 21 |
| Gambar 2.6 Karakteristik Relai Diferensial Longitudinal..... | 22 |
| Gambar 2.7 Relai Diferensial pada Saluran Transmisi | 23 |
| Gambar 2.8 Relai Diferensial Kondisi Gangguan di Luar | 25 |
| Gambar 2.9 Relai Diferensial Kondisi Gangguan dalam Sistem | 25 |
| Gambar 2.10 Skema relai diferensial dual bias dengan <i>restraining coil</i> | 29 |
| Gambar 2.11 Kurva karakteristik <i>percentage current differential</i> | 30 |
| Gambar 2.12 Karakteristik <i>percentage differential</i> dengan 1 slope | 31 |
| Gambar 2.13 Karakteristik <i>percentage differential</i> dual slope-1 Bkp | 32 |
| Gambar 2.14 Tampilan <i>kontrolbar</i> (Muller, 2005) | 36 |
| Gambar 2.15 <i>Schematic Tabs</i> (Muller, 2005)..... | 36 |
| Gambar 2.16 <i>Workspace and messages windows</i> (Muller, 2005) | 37 |
| Gambar 2.17 <i>Open project</i> (Muller, 2005) | 37 |
| Gambar 2.18 <i>Tab PSCAD</i> (Muller, 2005) | 38 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2.19 komponen wizard..... | 38 |
| Gambar 2.20 <i>Simulasi run</i> | 38 |
| Gambar 2.21 Hasil simulasi PSCAD (Muller,2005) | 39 |
| Gambar 3.1 Skema penelitian | 41 |
| Gambar 3.2 Data penelitian | 44 |
| Gambar 3.3 Flowchart | 45 |
| Gambar 4.1 Rangkaian Simulasi PSCAD V 4.2.0 Student version (a) Kondisi normal (b) Gangguan Internal (c) Gangguan Eksternal. | 39 |
| Gambar 4.2 Model Relai..... | 39 |
| Gambar 4.3 Monitor, arus dan respon relai | 39 |
| Gambar 4.4 Gelombang arus relai A kondidi normal (a) tampilan respond arus relai tiga fase (b) tampilan respond relai Arus fase A..... | 39 |
| Gambar 4.5 Gelombang arus relai B kondidi normal (a) tampilan respond arus relai tiga fase (b) tampilan respond relai Arus fase A | 39 |
| Gambar 4.6 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase..... | 39 |
| Gambar 4.7. Karakteristik desain setelan Relai | 39 |
| Gambar 4.8 Gelombang arus relai A gangguan internal dua fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan respond arus relai dua fase AB (b) tampilan respond relai Arus fase A | 39 |
| Gambar 4.9 Gelombang arus relai B gangguan internal dua fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan respond arus relai dua fase AB (b) tampilan respond arus relai B fase A..... | 39 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.10 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase..... | 39 |
| Gambar 4.11 Monitor Relai A dan Relai B | 39 |
| Gambar 4.12 Gelombang arus relai-A gangguan internal Tiga-fase, Rf=1 ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A. ... | 39 |
| Gambar 4.13 Gelombang arus relai-B gangguan internal Tiga-fase, Rf=1 ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A. ... | 39 |
| Gambar 4.14 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut | 39 |
| Gambar 4.15 Respon relai A dan B terhadap gangguan intenal 3 fase | 39 |
| Gambar 4.16 Gelombang arus relai-A gangguan Eksternal dua-fase, Rf=1 ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A. ... | 39 |
| Gambar 4.17 Gelombang arus relai-B gangguan Eksternal dua-fase, Rf=1 ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A. ... | 39 |
| Gambar 4.18 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase | 39 |
| Gambar 4.19 respon relai A dan B terhadap gangguan eksternal 2 fase..... | 39 |
| Gambar 4.20 Gelombang arus relai-A gangguan Eksternal tiga-fase, Rf=1 ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A. ... | 39 |
| Gambar 4.21 Gelombang arus relai-B gangguan Eksternal tiga-fase, Rf=1 ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A. ... | 39 |
| Gambar 4.22 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase | 39 |
| Gambar 4.23 Respon relai A dan B terhadap gangguan eksternal 3 fase..... | 39 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 4.1 data penelitian | 50 |
| Tabel 4.2 data sfesifikasi setelan relai | 51 |
| Tabel 4.3 hasil setelan relai..... | 56 |
| Tabel 4.4 Performa relai terhadap gangguan internal dua-fase (AB) | 63 |
| Tabel 4.5 Performa relai terhadap gangguan internal Tiga-fase (ABC) | 67 |
| Tabel 4.6 Performa relai terhadap gangguan eksternal dua-fase (AB) | 72 |
| Tabel 4.7 Performa relai terhadap gangguan eksternal tiga-fase (ABC) | 76 |

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A bentuk kegunaan komponen yang digunakan

LAMPIRAN B grafik keluaran simulasi untuk gangguan internal dan eksternal

DAFTAR NOTASI

| | |
|---------|--|
| PSCAD | <i>(Power System Computer Aided Design)</i> |
| CT | <i>(current transformer)</i> |
| VT | <i>(Voltage Transformer)</i> |
| AC | <i>(Alternating Current)</i> |
| DC | <i>(Direct Current)</i> |
| CB | <i>(Circuit Breaker)</i> |
| IEC | <i>(International Electrotechnical Commission)</i> |
| GI | <i>(Gardu Induk)</i> |
| ZCT | <i>(zero current transformer)</i> |
| IEEE | <i>(Institute of Electrical and Electronics Engineers)</i> |
| BKP | <i>(Breakpoint)</i> |
| API | <i>(Application Programming Interface)</i> |
| FACTS | <i>(Flexible AC Transmission System)</i> |
| HVDC | <i>(High Voltage Direct Current)</i> |
| SSR | <i>(Sub-synchronous resonance)</i> |
| STATCOM | <i>(Static synchronous compensator)</i> |
| VSC | <i>(Vehicle Stability Control)</i> |
| FFT | <i>(Fast Fourier Transformator)</i> |
| DDB | <i>(Diferensial Dual Bias)</i> |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Operasi sistem tenaga terdiri dari tiga sistem yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi. Jaringan transmisi merupakan mata rantai yang dapat menghubungkan antara pembangkit dengan sistem distribusi dan menghubungkannya pada beban. Oleh karena itu sistem transmisi adalah komponen yang berperang penting pada sistem pengoperasian tenaga listrik.

Saluran transmisi terdiri dari dua yaitu saluran udara dan saluran bawa tanah. Saluran udara merupakan penghubung tenaga listrik melalui kawat penghantar yang digantung di udara melalui tiang-tiang transmisi yang berisolator. Sedangkan saluran bawah tanah yang dapat menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel berisolator tinggi yang di tanam dalam tanah

Saluran transmisi merupakan proses penyampaian energi listrik dari pusat pembangkit yang mempunyai level tegangan tertentu yang kemudian dinaikkan tegangannya ke level lebih tinggi sebelum disalurkan pada gardu induk. Pada umumnya, gardu induk mempunyai beberapa komponen penting seperti transformator daya, pemisah, pemutus, relai, busbar dan isolator

Maka dari itu Sistem proteksi pada saluran transmisi perlu mendapat perhatian lebih baik. Sistem penyaluran tenaga listrik harus memiliki keandalan

yang tinggi dengan gangguan yang minim. Tingkat keandalan yang dimaksud adalah kestabilan sistem penyaluran tenaga listrik, intensitas penyaluran yang baik, dan harga yang terjangkau bagi konsumen.

Sistem proteksi merupakan jantung dari proteksi saluran transmisi. Saluran transmisi adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang sangat rumit dan kinerjanya dapat berubah-ubah dikarenakan sistem pembangkitan, kondisi beban, dan terjadinya gangguan. Dilihat dari hal tersebut sistem proteksi pada saluran transmisi harus didesain dan diatur agar mampu menyesuaikan apabila terjadi perubahan sistem. Peralatan yang digunakan adalah relai proteksi.

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 (*Current Transformer*) 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 permodelan sistem daya, relai, gangguan dan lain-lain. Permodelan yang dilakukan dapat disimulasikan sesuai

dengan permodelan yang telah dirancang dari hasil simulasi penggunaan dapat mengetahui kinerja relai terhadap gangguan sesuai dengan permodelan yang akan di buat.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana model simulator sistem proteksi jaringan transmisi dengan relai diferensial persentase dual-bias?
2. Bagaimana kinerja dari sistem proteksi jaringan transmisi dengan relai diferensial persentase dual-bias tersebut?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk menghasilkan model sistem proteksi jaringan transmisi dengan relai diferensial persentase dual-bias; serta
2. Untuk mendapatkan kinerja dari model-model tersebut

D. Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian hanya meninjau gangguan hubung singkat internal dan eksternal pada saluran transmisi jenis: AB & ABC.
2. Nilai resistans gangguan: 1, 5 & 10 Ohm.

E. Manfaat penelitian

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

F. Sistematika Penulisan

Penyusunan tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa bab yang berisi uraian penjelasan. Secara garis besar, uraian pada bab-bab dalam sistematika penulisan dijelaskan di bawah ini:

Bab I Pendahuluan

Bab ini menguraikan terkait latar belakang perlunya diadakan penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Uraian bab ini dimaksudkan untuk menjelaskan latar belakang penelitian sehingga dapat memberikan manfaat sesuai dengan tujuan penelitian dengan batasan- batasan dan asumsi yang digunakan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi teori –teori yang menjadi landasan bagi penelitian, baik dari buku, jurnal, maupun berbagai sumber literasi lainnya. Bab ini menjealskan tentang sistem proteksi, jaringan transmisi, dan PSCAD.

Bab III Metode Penelitian

Metode penelitian Merupakan gambaran terstruktur yang disusun dalam flow chart dari alur pelaksanaan penelitian tugas akhir metodologi menguraian .

metode penelitian yang digunakan, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, skema penelitian melalui diagram balok, variabel penelitian yang dikaji dengan skema gambar rangkaian secara sistematis dan analisis yang dipakai untuk menarik kesimpulan, langkah penelitian serta jadwal dilakukannya penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Hasil dan Pembahasan menjelaskan berkenaan analisis dan interpretasi hasil berisi pembahasan tentang permasalahan yang sesuai pada konten penelitian

Bab V Penutup

Bab ini merupakan tahap akhir penyusunan penelitian yang berisi kesimpulan dari hasil perolehan yang di dapat serta saran mengenai hasil yang di capai

Daftar Pustaka

Bab ini mengenai kumpulan sumber referensi penulis dalam menentukan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian.

Lampiran

Lampiran Berisikan dokumentasi dari hasil penelitian beserta instrumen alat dan bahan yang digunakan selama penelitia

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Sistem tenaga listrik adalah sistem penyediaan tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pembangkit atau pusat listrik terhubung satu dengan lainnya oleh jaringan transmisi dengan pusat beban atau jaringan distribusi. Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga sub-sistem yaitu sub-sistem pembangkit, sub-sistem transmisi, sub-sistem distribusi.

Saat ini, kebutuhan akan tenaga listrik disamakan dengan sembako yang merupakan pokok dari kehidupan. Oleh karena itu, tenaga listrik harus tersedia dengan memperhatikan mutu baik tegangan maupun frekuensi dan keandalan lagi murah dan juga diperlukan kontinuitas pelayanan yang baik kepada konsumen. Untuk menjaga kelangsungan tenaga listrik diperlukan sistem proteksi yang sesuai dengan kebutuhan dan diperlukan koordinasi sistem proteksi yang baik agar kontinuitas pelayanan untuk distribusi tenaga listrik dapat terjaga (Naim, 2017)

B. Sistem Proteksi

Sistem proteksi atau pengaman suatu tenaga listrik yang membentuk suatu pola pengaman tidaklah hanya relai pengaman saja tetapi juga *Current Transformer* [CT] dan *Voltage Transformer* [VT] yang merupakan perangkat instrumen pada relai pengaman, Sumber daya DC merupakan sumber untuk

mengoperasikan relai pengaman dan pemutus tenaga CB yang akan menerima perintah akhir dari relai pengaman.

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

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

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

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

- a Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lainnya yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.

- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia. Untuk mendapatkan daerah pengaman yang cukup baik, dalam sistem tenaga listrik terbagi di dalam suatu daerah pengaman yang cukup dengan pemutusan sub-sistem seminimum mungkin (Syukriyadin dkk, 2011).

Menurut sonny tanyadji dan sarma thaha, (2015), dari buku sistem proteksi tenaga listrik yang saya baca bahwa tujuan relai adalah untuk mendeteksi gangguan dan kondisi abnormal dari sistem. Relai harus sanggup mengevaluasi perubahan parameter sistem dan bertindak bila di perlukan. Masalah dasar dari proteksi sistem tenaga adalah membedakan yang mana yang tergolong gangguan/kondisi abnormal dan yang mana yang tidak.

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 bagaimana melindungi sistem tenaga listrik dari akses gangguan yang terjadi pada sistem, dengan cara

memisahkan gangguan tersebut dari sistem lainya dengan cepat dan tepat. 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-bagian perlatan yang terganggu dari bagian sistem yang lain, dengan tingkat keandalan yang tinggi dan waktu pemutusan serta jumlah pemutusan sekecil mungkin (Tanyadji, 2015).

2. Syarat-syarat Relai Pengaman

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

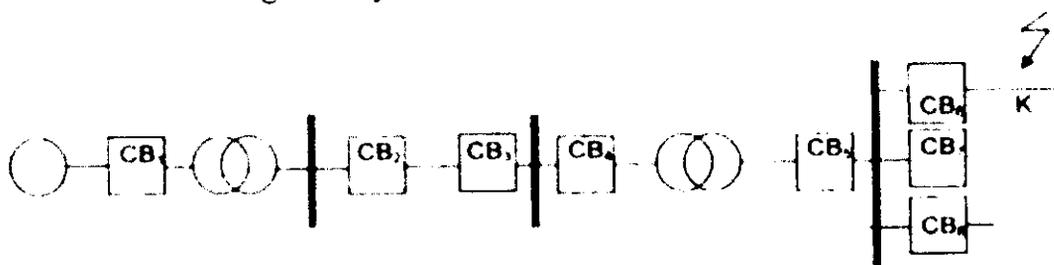
a. Cepat bereaksi

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 CB karena komando dari relai tersebut. Waktu bereaksi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan / kerja abnormal.

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 di minimalisir menjadi sekecil mungkin. Berikut contoh gambarnya :



Gambar 2.1 Suatu Sistem Tenaga Listrik yang Sederhana Mengalami Gangguan pada Titik

Dalam sistem tenaga listrik seperti gambar di atas, apabila terjadi gangguan pada titik K, maka hanya CB.6 saja yang boleh bekerja sedangkan untuk CB.1, CB.2 dan CB. - CB. 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 relai dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 X, maka :

$$\text{keandalan relai} = 23/25 \times 100 \% = 92 \% \dots\dots\dots(1)$$

Keandalan dapat dibagi dua :

- 1). Keteguhan : relai harus dapat diandalkan setiap saat.
- 2). Keamanan : 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

Menurut Sonny Tanyadji (2015) Daerah asuhan proteksi atau zona proteksi adalah bagian sistem yang dijaga oleh sistem proteksi yang

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

4) Komponen Utama Sistem Proteksi

Pada prinsipnya sistem proteksi tenaga listrik terdiri atas beberapa komponen antara lain relai, CB, 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. CB (*circuit breaker*)

Circuit breaker adalah alat untuk menghubungkan atau memisahkan peralatan yang diproteksi dari sistem. Sumber DC, pada statik relai, digital relai dan numerik relai, sumber DC merupakan sumber daya untuk mengaktifkan rangkaian operasi dari relai, sedangkan pada relai elektromekanik, hal ini tidak di butuhkan. Sumber DC ini pun, pada umumnya dipakai sebagai sumber daya untuk closing dan tripping coil pada CB, meskipun ada juga CB yang masih memakai sumber AC untuk kebutuhan tersebut

Circuit breaker ini harus memiliki kapasitas yang cukup untuk memikul arus hubung singkat maksimum sesaat yang dapat mengalir pada CB dan kemudian memutuskannya. CB juga harus mampu menahan proses penutupan balik pada saat hubung singkat (Tanyadji dkk, 2015)

5) Perangkat Proteksi

Terdapat beberapa cara yang dapat dan sering digunakan dalam mendefinisikan perangkat proteksi sistem tenaga listrik yang secara umum adalah sebagai berikut :

1. Sistem proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang

dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat pada standar IEC

2. Perangkat proteksi adalah kumpulan atau koleksi perangkat proteksi seperti sekering, relai dan lain-lainnya di luar perangkat trafo arus, perangkat pemutus tenaga yang biasa di sebut CB, kontaktor dan lain sebagainya.
3. Skema proteksi adalah kumpulan dari perangkat proteksi yang berfungsi untuk melakukan proteksi di mana semua perangkat yang termasuk dalam sistem proteksi terlibat di dalamnya seperti relai, trafo arus, trafo tegangan, CB, baterai dan sebagainya.

C. Relai Proteksi Pada Saluran Transmisi

Relai proteksi pada saluran transmisi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian transmisi dan bekerja secara otomatis untuk mengatur atau memberikan informasi agar segera membuka pemutus tenaga, untuk memisahkan peralatan atau bagian sistem yang terganggu dan memberikan isyarat bahwa telah terjadi gangguan. Ada dua skema proteksi pada saluran transmisi berdasarkan komponen frekuensi fundamental dan gangguan yang membangkitkan sinyal arus dan tenaga transien yaitu proteksi *nonunit* dan proteksi unit *pilot* (Indri Nirwana dkk, 2019)

1. Relai Proteksi Nonpilot

Relai proteksi nonpilot hanya menggunakan data pada salah satu ujung saluran transmisi. Saluran inilah yang memiliki kelemahan yaitu pemutusan gangguan tidak dapat dilakukan secara instan dari kedua ujung saluran apabila terjadi gangguan pada ujung saluran terdekat. Pada proteksi nonpilot, koordinasi dicapai dengan mengatur tundaan waktu dari relai yang terpasang pada saluran yang berdekatan dengan konsep proteksi utama dan proteksi pembantu. Ada dua jenis relai proteksi nonpilot yang di terapkan pada saluran transmisi yaitu

a) Relai Arus lebih (*over current relay*)

Prinsip kerja relai arus lebih adalah mendeteksi arus lebih dan memberikan perintah pada CB untuk memutus aliran pada titik peralatan saluran dan menghitung diperlukan nilai-nilai hubungan singkat di semua lokasi yang sesuai. Menghitung nilai maksimum dan minimum arus hubung singkat yang tersedia dengan memanfaatkan data maupun dengan simulasi hubung singkat

b) Relai Jarak (*distance relay*)

Prinsip kerja relai jarak adalah mengukur tegangan pada titik lokasi dan arus gangguan yang terlihat dari lokasi kemudian membagi tegangan dan arus untuk mencari nilai impedansi, hal tersebut menunjukkan bahwa zona perlindungan perlu di atur secara akurat untuk mengetahui seberapa luas jangkauan untuk menjamin keandalan dan *selektivitas* dari alat saat beroperasi

2. Skema Proteksi Pilot (Unit)

Relai pilot adalah jenis relai terbaik untuk proteksi saluran transmisi, kapan pun dan dimana pun relai pilot digunakan akan memberikan proteksi dengan kecepatan tinggi untuk semua jenis gangguan hubung singkat pada saluran transmisi terganggu. Hal ini disebabkan karena skema proteksi unit selalu menggunakan data dari kedua ujung saluran. Selama dua bentuk terminal, atau banyak terminal (multiterminal), dan seluruh pemutus daya dapat trip secara bersamaan, dengan begitu dapat dilakukan pemutus (*trip*) otomatis dengan kecepatan tinggi. Kombinasi pengetripan dan pemutusan otomatis tersebut semestinya membuat sistem transmisi terisi hingga hampir mencapai batas kestabilanya, dengan demikian saluran transmisi dapat menyalurkan tegangan sebaik mungkin untuk di kirimkan. Ada tiga jenis relai di antara sebagai berikut :

a. Relai Pembanding Fasa

Prinsip relai pembanding fasa dapat dilakukan dengan membandingkan arah arus yang mengalir pada saluran transmisi yang menghubungkan dua gardu. Dalam keadaan normal arus meninggalkan gardu, misal gardu G, sedangkan pada sisi remot arah arus akan memasuki gardu H. agar dapat membandingkan kedua fase arus yang saling berjauhan ini sistem proteksi perlu di lengkapi dengan perangkat kanal frekuensi pembawa yang dapat digunakan untuk membawa informasi besar sudut fasa dari ujung lain hingga dapat di bandingkan satu sama yang lain

b. Relai perbandingan arah

Relai ini mengidentifikasi perbedaan fasa arus dan tegangan. Relai ini mempunyai 2 buah parameter ukur yaitu tegangan dan arus yang masuk ke dalam relai untuk membedakan arah arus ke depan atau arah arus ke belakang pada pentanahan titik netral trafo dengan menggunakan tahanan, relai ini di pasang pada penyulang 20 KV. Relai ini bekerja berdasarkan adanya sumber arus dari ZCT (*zero current transformer*) dan sumber tegangan. (Indri Nirwana dkk, 2019)

3. Relai Diferensial

Relai diferensial merupakan suatu relai yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan, yang membandingkan arus-arus sekunder trafo arus yang terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang di amankan relai ini sangat selektif dan system kerjanya sangat cepat. Relai diferensial mempunyai prinsip dalam kondisi normal, arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang diamankan (generator, transformator)

a. Prinsip Kerja Relai Diferensial

Relai diferensial adalah salah satu relai pengaman utama sistem tenaga listrik yang bekerja seketika tanpa koordinasi relai disekitarnya sehingga waktu kerja dapat dibuat secepat mungkin. Sebuah relai diferensial didefinisikan sebagai relai yang bekerja ketika perbedaan fasor dari dua atau lebih listrik melebihi jumlah yang ditentukan.

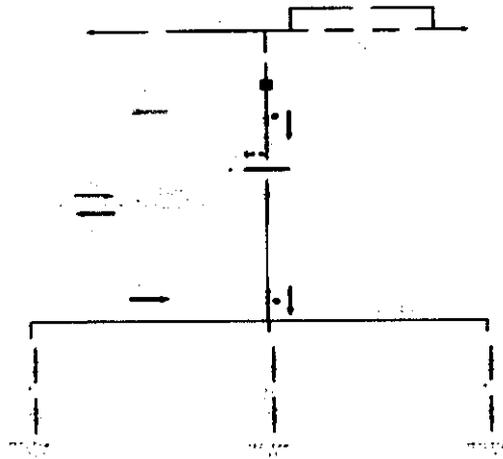
untuk daerah berikutnya.

Prinsip ini berdasarkan hukum *kirchhoff* yaitu membandingkan jumlah arus masuk I primer (I_p) sama dengan jumlah arus yang keluar dari sekunder (I_s). Dimana :

$$I_d = \text{Arus Differensial (A)}$$

$$I_p = \text{Arus Sisi Masuk (A)}$$

$$I_s = \text{Arus Sisi Keluar (A)}$$



Gambar 2.3 Relai differensial saat arus normal

$$I_d = I_p + I_s = 0 \text{ A} \dots\dots\dots(2)$$

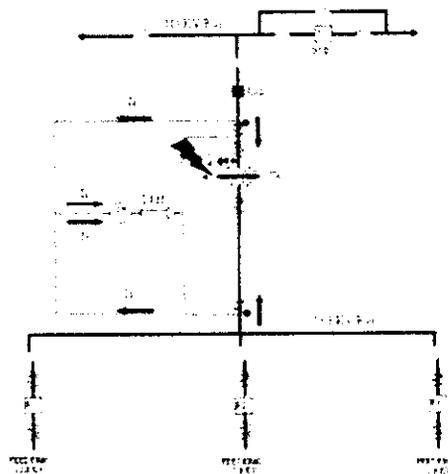
$$I_{dif} = I_p + I_s = 0 \text{ A} \dots\dots\dots(3)$$

Maka tidak ada tegangan yang melintasi *coil relay* dan tidak ada arus yang mengalir pada relai tersebut, sehingga relai differensial tidak bekerja.

b. Gangguan Relai Diferensial

1. Relai Diferensial Keadaan Gangguan Internal

Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi pada daerah pengamanan relai differensial (Gambar 2.4). Pada saat terjadi gangguan pada daerah pengamanan relai differensial, maka arus akan mengalir menuju titik gangguan tersebut. Sehingga arus yang mengalir pada CT_2 akan berbalik dari arah normalnya menuju titik gangguan tersebut. Gangguan tersebut mengakibatkan keamanan transformator terancam ketika transformator bekerja dan menjadikan sistem tidak seimbang. Asumsi sederhananya adalah :



Gambar 2.4 Relai Differensial Keadaan Gangguan Internal

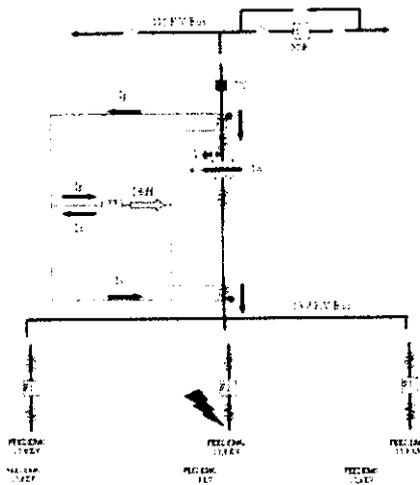
$$I_d = I_p + I_s > 0 \text{ A} \dots\dots\dots(4)$$

$$I_{dif} = I_p + I_s > 0 \text{ A} \dots\dots\dots(5)$$

Karena $I_d \neq 0$, maka relai differensial harus bekerja dengan memberikan sinyal trip kepada CB karena dapat menyebabkan kerusakan pada transformator jika gangguan tersebut dibiarkan.

2. Relai Diferensial Keadaan Gangguan Internal

Gangguan eksternal adalah gangguan yang terjadi di luar daerah pengamanan relai differensial (Gambar 2.5), seperti gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dan gangguan lainnya. Pada saat terjadi gangguan di luar daerah pengaman relai differensial, relai differensial tidak akan bekerja. Karena arus yang mengalir pada CT_1 dan CT_2 besarnya sama tapi arahnya berlawanan. Asumsi sederhananya adalah sebagai berikut :



Gambar. 2.5 Relai Diferensial Keadaan Gangguan Eksternal

$$I_d = I_p + I_s = 0 \text{ A} \dots\dots\dots(5)$$

$$I_{dif} = I_p + I_s = 0 \text{ A} \dots\dots\dots(6)$$

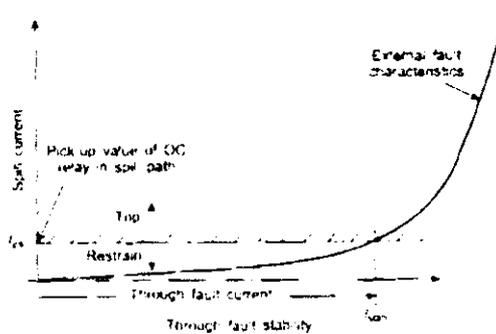
c. Jenis Relai diferensial

1. Relai diferensial logitunal

Relai diferensial logitunal biasa dikenal sebagai tipe sirkulasi arus. Dalam keadaan normal, maka gangguan yang terjadi di luar daerah pengamanan (zona) Mengakibatkan tidak ada arus atau bahkan sangat kecil yang mengalir di *operating coil*.

a) Karakteristik Relai Diferensial Longitudinal

Setiap relai diferensial dilengkapi dengan nilai settingnya dan memberikan karakteristik tripping tertentu. Karakteristik inilah yang akan mengenali jenis gangguan.



Gambar 2.6 Karakteristik Relai Diferensial Longitudinal

Relai ini akan bekerja seketika tanpa nilai waktu tunda ketika nilai I_{diff} melebihi nilai setting relai, relai ini akan bekerja beberapa milli detik (10-20 ms).

2. Relai diferensial persentase

Relai diferensial persentase muncul karena kelemahan relai

diferensial longitudinal yakni penyetelan arus harus dibuat lebih besar dari arus operasi dalam keadaan normal untuk mengatasi arus lebih dan gangguan yang cukup besar berada di luar daerah proteksinya.

D. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Menurut Raharjo dkk 2019 Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu gangguan yang berasal dari sistem dan gangguan yang berasal dari luar sistem. Pada dasarnya suatu sistem tenaga listrik harus dapat beroperasi secara terus-menerus secara normal, tanpa terjadi gangguan. Akan tetapi gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat dihindari.

1. Penyebab gangguan :

- a. Gangguan karena kesalahan manusia (kelalaian)
- b. Gangguan dari dalam sistem, misalnya karena faktor ketuaan, arus lebih, kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.
- c. Gangguan dari luar, biasanya karena faktor alam. Contohnya cuaca, gempa, petir, banjir, binatang, pohon dan lain-lain.
- d. Tegangan dan arus abnormal
- e. Pemasangan yang kurang baik

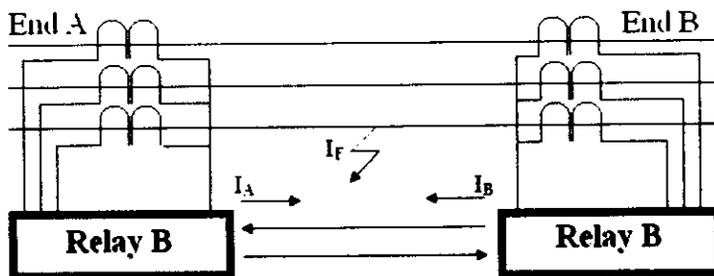
- f. Kesalahan mekanis karena proses penuaan
- g. Beban lebih

2. Jenis-jenis gangguan

- a. Jenis gangguan bila ditinjau dari sifat dan penyebabnya dapat dikelompokkan sebagai berikut :
 - 1) Beban lebih, ini disebabkan karena memang keadaan pembangkit yang kurang dari kebutuhan bebannya.
 - 2) Hubung singkat, jika kualitas isolasi tidak memenuhi syarat, yang mungkin disebabkan faktor umur, mekanis, dan daya isolasi bahan isolator tersebut.
 - 3) Tegangan lebih, yang membahayakan isolasi peralatan di gardu.
 - 4) Gangguan stabilitas, karena hubung singkat yang terlalu lama.
- b. Gangguan yang berasal dari luar sistem adalah :
 - 1) Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
 - 2) Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta petir. Pada gangguan karena petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*)
 - 3) Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia. (Raharjo dkk, 2019)

E. Relai Diferensial pada Proteksi Transmis

Suatu relai diferensial dapat melakukan tugas proteksi secara sempurna seperti untuk memproteksi trafo, generator maupun kabel bawah tanah. Dahulu praktik penggunaan relai diferensial untuk memproteksi saluran transmisi masih sangat terbatas terutama karena adanya kesulitan dalam menghubungkan trafo arus antara dua gardu yang saling berjauhan. Namun akhir-akhir ini proteksi saluran transmisi dengan menggunakan relai diferensial sudah mulai diterapkan terutama karena sudah tersedianya kanal-kanal sistem komunikasi yang dapat digunakan untuk membandingkan arus pada kedua ujung saluran yang berjauhan tersebut. Pada dasarnya yang di butuhkan untuk membangun sistem proteksi diferensial yang dapat digunakan untuk memproteksi saluran transmisi adalah tersedianya kanal telekomunikasi yang dapat digunakan untuk mengirim atau menerima besaran listrik dari satu ujung ke ujung lain sehingga besaran-besaran tersebut dapat saling diperbandingkan satu sama lain (Bonar, 2012)



Gambar 2.7 Relai Diferensial pada Saluran Transmisi

Relai kawat pilot dapat di terapkan dengan sukses untuk mendeteksi gangguan pada saluran transmisi yang panjangnya kurang dari 20 km. hal ini sebabkan karena hambatan dan kapasitas yang terkait dengan kawat pilot.

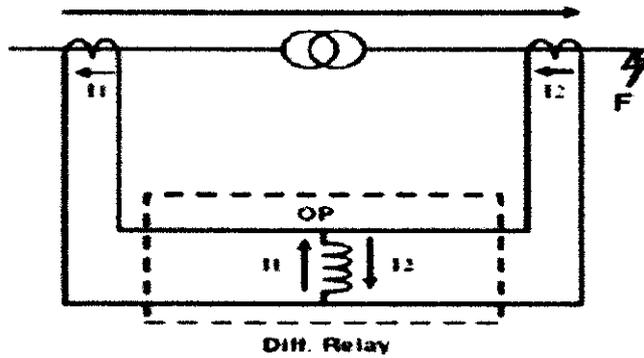
Berbagai cara kompensasi pilot telah di kembangkan, tetapi secara umum proteksi pilot berbasis kabel tidak dapat di terapkan secara memuaskan ke banyak sirkuit transmisi. perkembangan terbaru dalam perlindungan diferensial digital telah ditunjukkan untuk mengatasi keterbatasan ini (Indri Nirwana, dkk 2019)

1. Prinsip Kerja Relai Diferensial

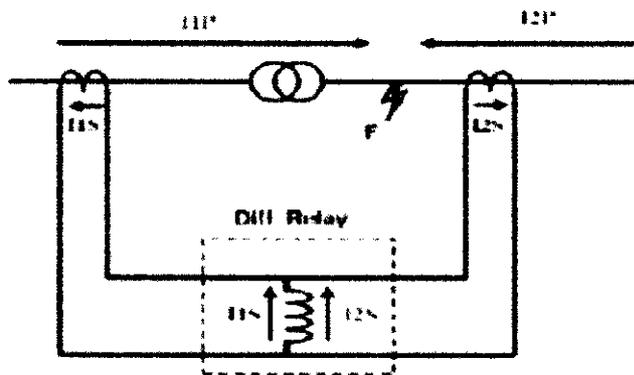
Proteksi diferensial dengan menggunakan prinsip relai diferensial tipe logitunal, biasa di kenal sebagai sirkulasi arus. Dalam keadaan normal, maka gangguan yang terjadi diluar daerah pengaman mengakibatkan kecilnya arus atau bahkan tidak ada sama sekali yang mengalir di *operating coil*

Arus diferensial antara lain adalah unit proteksi yang dengan kabel pilot yang menghubungkan antara trafo arus yang terpasang pada kedua ujung saluran. Dalam keadaan normal atau gangguan luar daerah proteksi arus sekunder kedua trafo arus akan mengelilingi rangkaian sepasang kawat kabel pilot tanpa ada arus yang mengalir melalui relai.

Bila terjadi gangguan di antara kedua CT maka kedua arus sekunder menjadi tidak simetris hingga terdapat beda kedua arus yang akan mengalir melalui relai yang selanjutnya bisa digunakan untuk melaksanakan perintah *trip* pada kedua CB untuk mengisolasi saluran yang terganggu.



Gambar 2.8 Relai Diferensial Kondisi Gangguan di Luar



Gambar 2.9 Relai Diferensial Kondisi Gangguan dalam Sistem

F. Relai Diferensial Dual Bias

Proteksi relai diferensial dual bias bekerja terhadap gangguan sekecil mungkin. Sehingga *circuit breaker* dapat segera mengisolasi gangguan. Namun *pickup setting* harus cukup aman sehingga relai diferensial tidak bekerja akibat arus diferensial palsu. Pada saat kondisi normal terdapat kemungkinan muncul arus tidak seimbang yang disebut arus difrensial palsu yang dapat menyebabkan 87B salah kerja. Penyebab timbulnya arus tidak seimbang antara lain saturasi CT yang menyebabkan arus sekunder CT tidak lagi linier terhadap arus primer CT dan perubahan posisi *tap*

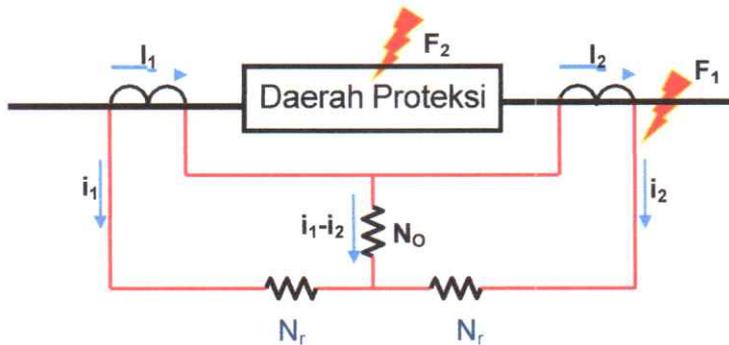
changer transformator daya. Untuk mencegah arus gangguan (IF) yang besar di luar bus yang diamankan maka pada relai diferensial dipasang kumparan penahan pada kedua sisinya dapat dilihat pada gambar 2.16. Kumparan penahan (*restraint coil*) berfungsi untuk menahan relai agar tidak bekerja (tetap stabil) ketika terdapat arus gangguan eksternal yang besar. Hal ini disebabkan oleh semakin besar arus gangguan yang melewati relai maka kopel yang dihasilkan oleh kumparan penahan juga semakin besar sehingga mencegah terjadinya kesalahan relai karena adanya arus yang mengalir melalui *restraining coil* akibat kejenuhan CT. Apabila terjadi gangguan internal, arus-arus yang mengalir melalui kumparan penahan akan saling memperlemah (berlawanan arah satu dengan lainnya) sehingga kopel yang dihasilkan akan sangat kecil.

Karakteristik operasi relai *low impedance differential* berupa garis lurus dari *slope*. Secara umum *setting slope low impedance differential relay* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$K1 = \frac{i_1 - i_2}{\frac{i_1 + i_2}{2}} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Atau dalam sudut dari slop (α), yaitu :

$$\text{Tan } \alpha = K_{\text{sett}} (\alpha \tan^{-1} K_{\text{sett}}) \dots\dots\dots(8)$$



Gambar 2.10 Skema relai diferensial dual bias dengan *restraining coil*

Waktu kerja relai diferensial sangat cepat yaitu pada $1/2 - 4$ cycle. *Setting* pada relai diferensial harus mempertimbangkan besar arus gangguan yang ada di sekitar daerah pengaman. Besar arus gangguan tersebut adalah arus gangguan minimum (*line-to-line*).

Pada rangkaian diferensial, saat kondisi normal arus yang mengalir pada setiap CT disebut arus *restraint* (I_R) sedangkan perbedaan arus yang menyebabkan relai diferensial bekerja disebut I_{diff} atau I_{OP} . Perbandingan antara I_R dan I_{diff} disebut *slope* (%). Nilai arus *restraint* berbanding lurus dengan arus diferensial sehingga relai diferensial akan bekerja apabila terjadi peningkatan nilai I_R dan I_{diff} secara proporsional. Relai diferensial bekerja ketika I_{diff} dan I_R melebihi ambang minimum dari *setting slope* yang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Gambar tersebut menunjukkan karakteristik kerja *percentage current differential* sebagai berikut :

a. Kondisi normal

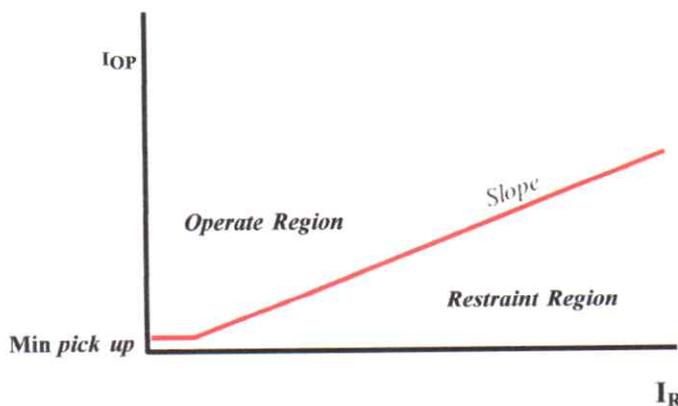
Pada gambar 2.11 menunjukkan ketika kondisi normal IOP sama dengan nol dan IR berbanding lurus dengan arus beban normal yang mengalir pada bus. Pada kondisi normal titik operasi relai berada pada *restraint region*.

b. Kondisi gangguan internal

Pada gambar 2.11 menunjukkan ketika terjadi gangguan di dalam daerah yang diamankan maka akan terjadi peningkatan secara proporsional nilai IOP dan IR. Hal ini menyebabkan titik operasi relai berada pada *operate region*. Perubahan posisi titik operasi relai menyebabkan mengirimkan sinyal trip ke *circuit breaker*. Saat terjadi gangguan internal, seluruh arus pada *incoming* dan *outgoing* bus mengalir menuju titik gangguan.

c. Kondisi gangguan eksternal

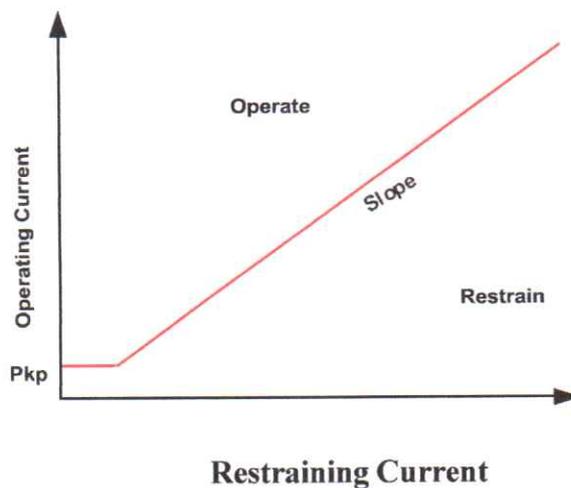
Saat terjadi gangguan diluar bus yang diamankan, relai diferensial harus stabil sehingga tidak mengirimkan sinyal trip ke *circuit breaker*.



Gambar 2.11 Kurva karakteristik *percentage current differential*

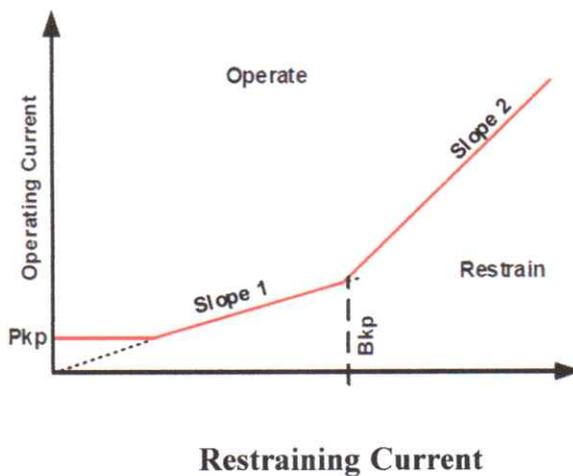
Parameter setting relai diferensial *low impedance* untuk mendapatkan selektivitas kerja relai yang lebih tinggi, yaitu setting I_{diff} dan slope. I_{diff} merupakan selisih antara arus yang dirasakan oleh $CT_{incoming}$ dengan $CT_{outgoing}$, sedangkan slope adalah perbandingan antara I_{diff} dengan $I_{restraint}$. Apabila kedua fungsi ini dijalankan dengan logika AND, maka relai diferensial hanya akan bekerja saat setting I_{diff} dan setting slope terlewati (*pickup*).

Setting arus restrain (I_R) untuk setiap manufaktur relai diferensial tidaklah sama. Setting slope yang sama akan menghasilkan sensitivitas kerja relai diferensial yang berbeda apabila fungsi untuk menentukan I_R nya berbeda. Oleh karena itu, perlu diperhatikan pemilihan persamaan I_R sebelum melakukan setting relai diferensial. Pada umumnya setiap karakteristik terdiri dari *pickup* setting (P_{kp}) dan setidaknya terdapat satu slope seperti yang terlihat pada gambar berikut



Gambar 2.12 Karakteristik *percentage differential* dengan 1 slope

Namun karakteristik operasi *percentage differential* dengan dua slope dengan slope yang kedua disetting lebih besar untuk mengantisipasi *error* untuk arus yang bernilai lebih besar. Karakteristik dual slope dilengkapi dengan nilai *breakpoint* (Bkp) untuk memisahkan slope rendah dengan slope yang lebih tinggi seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.13 Karakteristik *percentage differential* dual slope – 1 Bkp

Analisis kinerja sistem proteksi Relai DDB didasarkan pada dua kondisi yakni kondisi gangguan di luar zona proteksi (Gangguan EKSTERNAL) serta kondisi gangguan di dalam zona proteksi (Gangguan INTERNAL). Maka dari itu untuk menentukannya maka dapat digunakan persamaan berikut:

Case 1

$$|I_{bias}| < I_{S2}$$

$$|I_{diff}| > K_1 \cdot |I_{bias}| + I_{S1} \dots\dots\dots(9)$$

Atau dapat menggunakan persamaan berikut :

Case 2

$$|I_{bias}| > I_{S2}$$

$$|I_{diff}| > K_1 \cdot |I_{bias}| - (K_2 - K_1) \dots\dots\dots(10)$$

G. Perangkat Lunak PSCAD (*Power System Computer Aided Design*)

1. Pengertian PSCAD (*Power System Computer Aided Design*)

PSCAD merupakan perangkat lunak simulasi standar industri dalam mengamati perilaku transien dari suatu jaringan listrik. Konsumen grafisnya diinterpretasikan sebagai sumber daya untuk menghadapi stimulasi yang dilakukan dalam lingkungan terintegrasi tunggal termasuk pembuatan sirkuit, kontrol *run-time*, pelaporan dan analisis hasil. Pustaka modelnya yang komprehensif mendukung sebagian besar AC dan DC komponen dan kontrol pembangkit listrik, sedemikian rupa sehingga FACTS, daya khusus, dan sistem HVDC dapat dimodelkan dengan kecepatan dan presisi. Ini menyediakan sumber daya yang kuat untuk menilai dampak teknologi daya baru di jaringan daya (Anaya dan Acha, 2014).

PSCAD adalah alat simulasi domain waktu komersial tujuan umum untuk mempelajari perilaku transien dari jaringan listrik. Kekuatannya, selain kinerja komputasi dan antarmuka pengguna yang canggih, berada dalam modularitas pemodelan dan kemampuan untuk memodelkan

komponen menggunakan komponen pustaka standar atau komponen model yang dibuat pengguna dari tingkat detail yang diinginkan. PSCAD menyediakan apa yang disebut API otomatisasi, antarmuka Python yang dapat digunakan untuk berinteraksi dengan perangkat lunak, mis. membuka dan memuat proyek, mengatur parameter model dan menjalankan simulasi (Divshali dkk, 2019).

PSCAD (*Power Systems Computer Aided Design*) adalah pengguna grafis antar muka yang *fleksibel* serta kuat bagi mesin simulasi *transien elektromagnetik* populer di dunia. PSCAD merupakan sebuah aplikasi yang dapat memudahkan pengguna untuk membangun sirkuit secara otomatis, mensimulasikan, menganalisis hasil, dan mengelola suatu data dalam bentuk grafis yang menyatu sepenuhnya. Fungsi suatu kontrol serta meter plot *online* yang memungkinkan pengguna untuk dapat mengubah parameter sistem sepanjang berjalannya simulasi dan melihat efeknya saat sedang berlangsung (Manitoba HVDC Research Centre, 2018: 1).

2. Studi Tipikal PSCAD/ EMTDC

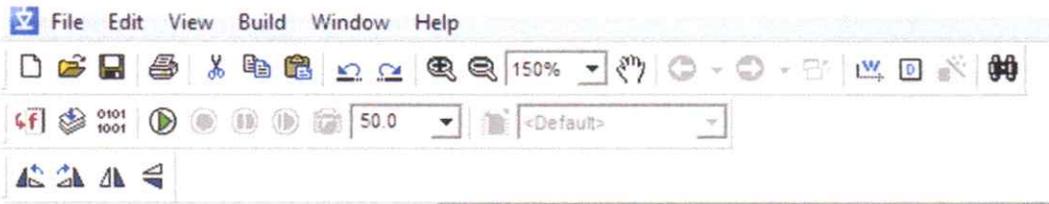
Menurut Manitoba HVDC Research Centre (2018: 2-3) cakupan pengguna PSCAD meliputi insinyur, ilmuwan akademisi, konsultan, lembaga penelitian dan militer yang mana dalam hal ini PSCAD digunakan dalam desain, operasi, spesifikasi tender serta pembelajaran. Adapun beberapa studi yang dilakukan secara rutin dalam hal penggunaan PSCAD diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Koordinasi Relai
- b. Koordinasi pemutus dan penahan , dan isolasi transformator.
- c. Uji impuls transformator.
- d. Evaluasi analisis harmonik dan desain filter.
- e. Analisis kontijensi jaringan AC yang meliputi mesin putar, turbin, trafo, saluran transmisi, *excavator*, kabel beserta beban.
- f. Pengaturan efek saturasi trafo.
- g. *Sub-syncoous resonance* (SSR) study jaringan dengan mesin, saluran transmisi dan sistem HVDC.
- h. Konstruksi sistem *control* dan koordinasi FACTS dan HVDC termasuk STATCOM, VSC, dan *cycloconverters*.
- i. Desain parameter pengontrol yang optimum.
- j. Eksplorasi konsep *circuit* dan kontrol baru.
- k. Studi gangguan atau operasi pemutus dan sambaran petir.
- l. Desain kapal angkatan laut listrik
- m. Analitis efek denyut mesin diesel dan turbin angin pada jaringan listrik

3. Pengenalan Aplikasi PSCAD

1) *Kontrol Bar*

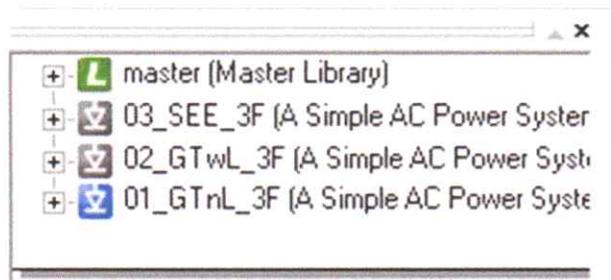
Kontrol Bar adalah sebuah menu utama pada software ini dimana sebagian besar berfungsi untuk menjalankan sebuah aplikasi PSCAD ini ada pada area ini seperti menjalankan sebuah program.



Gambar 2.14 Tampilan kontrol bar (Muller, 2005)

2) *Schematic Tabs*

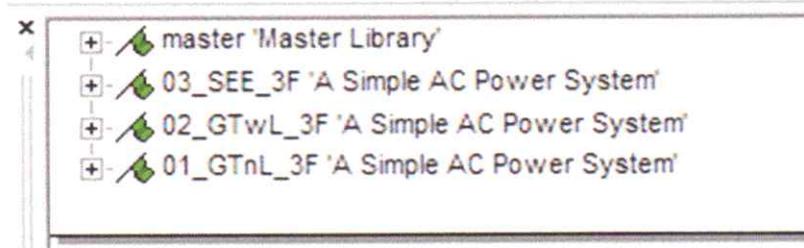
Setiap proyek yang dimuat dalam ruang kerja akan di wakili oleh tab skematik. Tab itu sendiri menampilkan nama proyek, bersama dengan nama, jalur dan nomor panggilan dari modul yang kanvasnya sedang dilihat. Tab ini juga bisa di sebut sebagai layer program kerja atau proyek yang kita kerjakan seperti gambar berikut beberapa program kerja yang sedang di buka.



Gambar 2.15 *Schematic Tabs* (Muller, 2005)

3) *Workspace and Messages Windows*

Area kosong yang berada di tengah adalah area kerja dimana di area itulah kita dapat mendesain sebuah proyek, dan di sudut kiri bawa lingkungan, kita akan melihat jendela merapat yang disebut sebagai jendela *Message windows* yang berfungsi untuk menginformasikan sebuah program yang ingin di simulasikan



Gambar 2.16 *Workspace and messages windows* (Muller, 2005)

Ruang kerja memberi Anda tampilan keseluruhan dari setiap perpustakaan dan / atau proyek kasus yang dimuat. Kita dapat menggunakannya untuk melakukan berbagai kegiatan, seperti navigasi atau mengakses file.

4) *Opening A Case Project*

Membuka proyek kasus kami akan mulai dengan contoh kasus paling sederhana untuk tutorial ini. Latihan ini akan membantu kami memastikan bahwa kedua PSCAD, dan setiap kompiler FORTRAN yang digunakan, dipasang dengan benar.

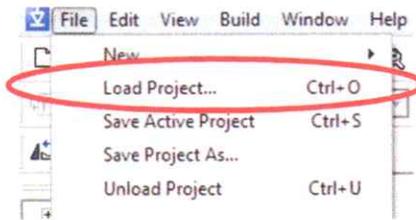
Untuk memuat proyek kasus yang ada, lakukan salah satu operasi berikut:

- 1) Klik tombol Open Project di bilah akses cepat:



Gambar 2.17 *Open project* (Muller, 2005)

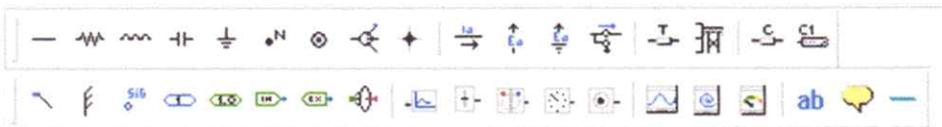
- 2) Tekan tombol pintas Ctrl + O keyboard.
- 3) Klik tab PSCAD di bilah kendali pita dan pilih Buka (melakukan open | Open project secara default):



Gambar 2.18 *Tab PSCAD* (Muller, 2005)

5) *Component Wizard*

Component Wizard adalah sebuah *tools* yang dapat menampilkan beberapa alat yang dapat di gunakan secara langsung pada rangkaian seperti wire, resistor, konduktor dll.



Gambar 2.19 *componen wizard* (muller, 2015)

6) *Running a Simulation*

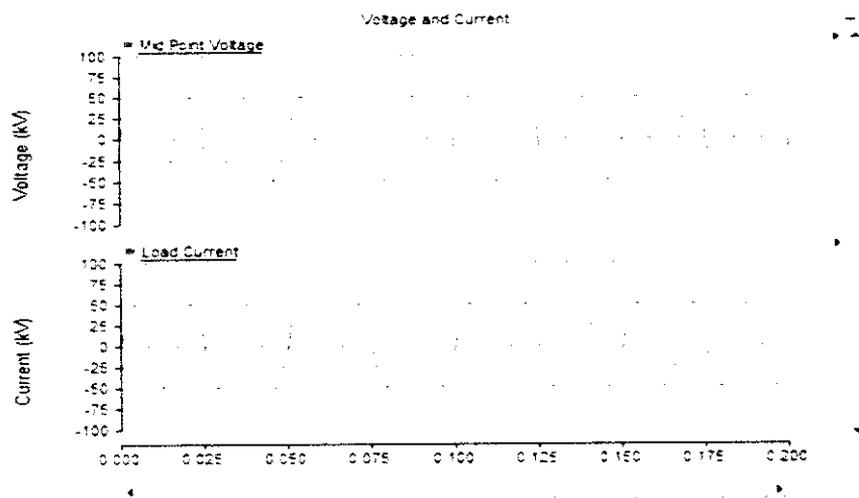
Sebelum menjalankan simulasi, akan dilakukan perhitungan sederhana untuk mencari tahu apa arus beban dan tegangan titik-tengah yang seharusnya kita harapkan.



Gambar 2.20 *Simulasi run* (Muller, 2005)

Ketika tombol ini ditekan, PSCAD akan melewati beberapa tahap pemrosesan sirkuit sebelum memulai simulasi. seperti melihat pesan di bilah status, di bagian bawah jendela PSCAD, yang terkait dengan berbagai tahapan proses. Bergantung pada seberapa cepat komputer yang digunakan, sehingga kita dapat dapat membacanya.

Setelah proses simulasi berjalan maka akan muncul grafik atau hasil program rangkain yang kita buat seperti gambar di bawa ini



Gambar 2.21 Hasil simulasi PSCAD (Muller, 2005)

Pastikan simulasi Anda menghasilkan hasil yang sama seperti yang ditunjukkan di sini. Ini adalah satu langkah menuju memastikan bahwa simulasi yang kita lakukan berhasil.

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara simulasi dengan menggunakan metode eksperimen software PSCAD melalui perangkat komputer sebagai simulasi persentase sistem proteksi pada jaringan transmisi untuk mengetahui jumlah beban atau gangguan tanpa harus mengujinya secara langsung.

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Oktober 2021 - Januari 2022

Tempat : Unismuh Makassar Gedung Lantai 3 Fakultas Teknik

B. Peralatan dan Bahan

1. Peralatan

a. Laptop COMPAQ Presario CQ43 dengan spesifikasi :

Processor : AMD Radeon E-300 HD Graphics 1.30 GHz

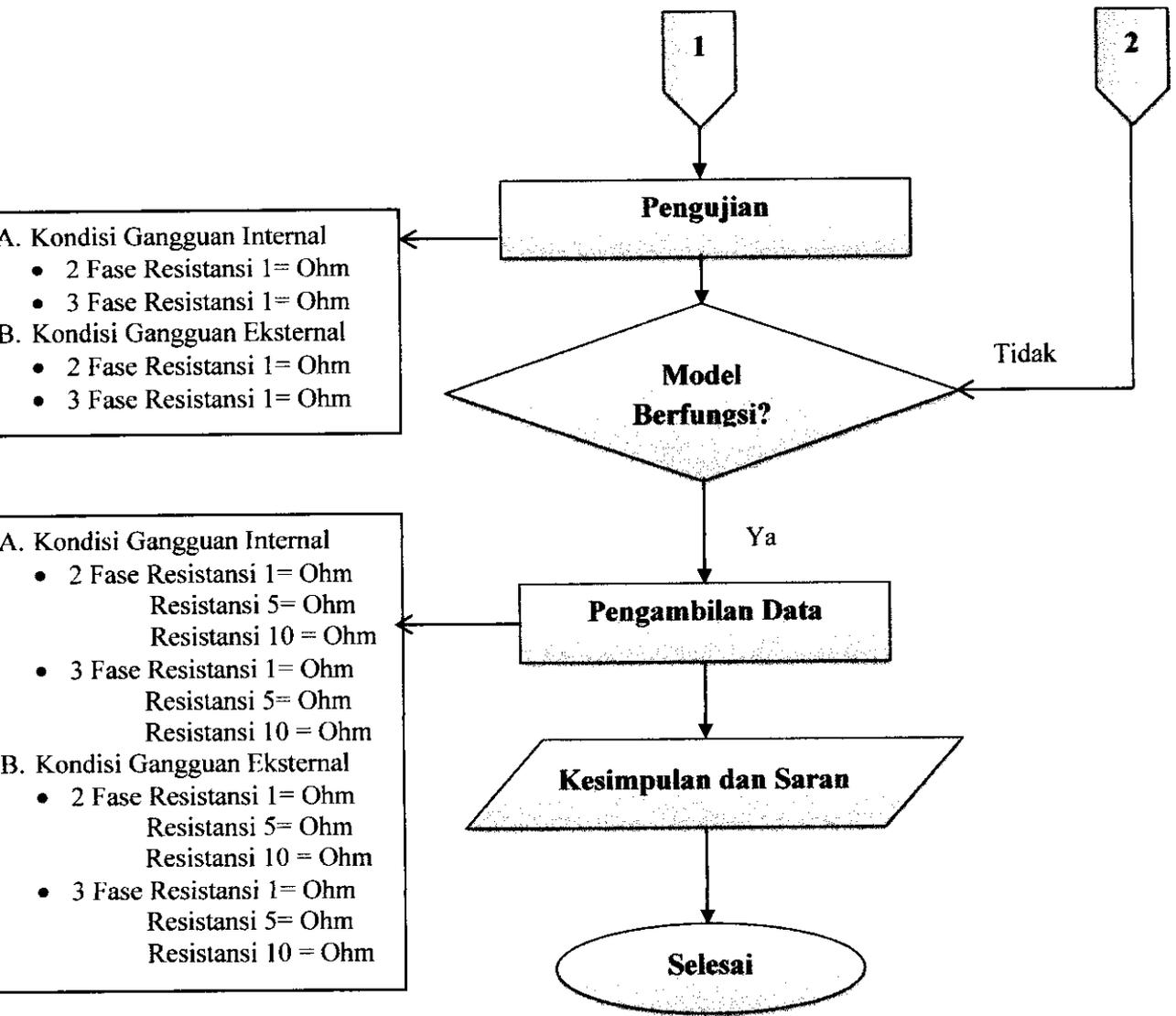
RAM Memory : 2 GB

System type : 64-bit

System Operation : Windows 7 Ultimate

b. Perangkat Lunak Software *Power System Computer Aided Design*

(PSCAD) versi student 4.2.1



Gambar 3.2 Flowchart

E. Jadwal Penelitian

| No | Kegiatan | Bulan | | | | |
|----|--|---------|----------|----------|---------|----------|
| | | Oktober | November | Desember | Januari | Februari |
| 1 | Mengidentifikasi masalah | | | | | |
| 2 | Studi pustaka | | | | | |
| 3 | Permodelan transmisi 3 fasa dan gangguan | | | | | |
| 4 | Uji coba rangkaian simulasi | | | | | |
| 5 | Analisa data hasil pengujian | | | | | |
| 6 | Pembuatan laporan | | | | | |

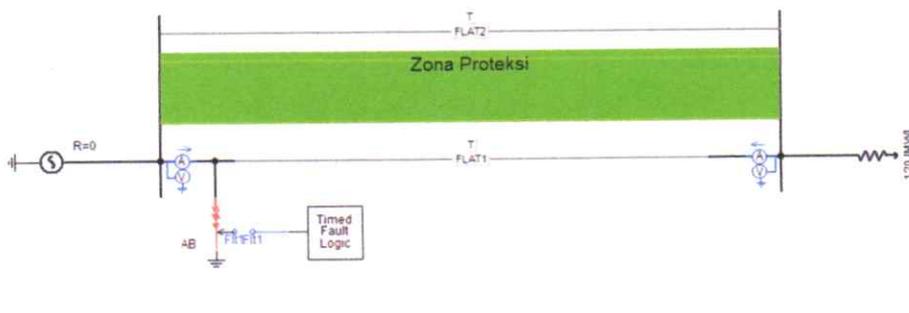
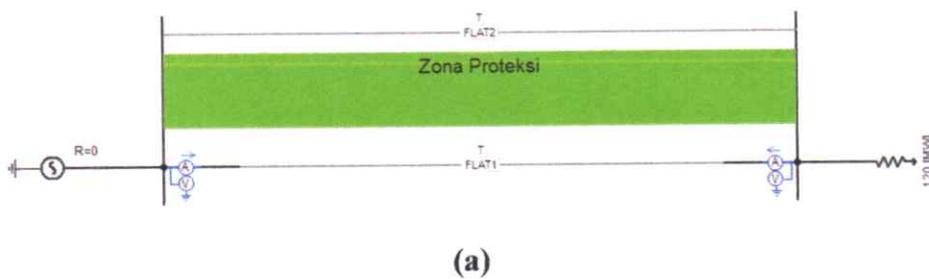
Tabel 3.1 Jadwal penelitian

BAB IV

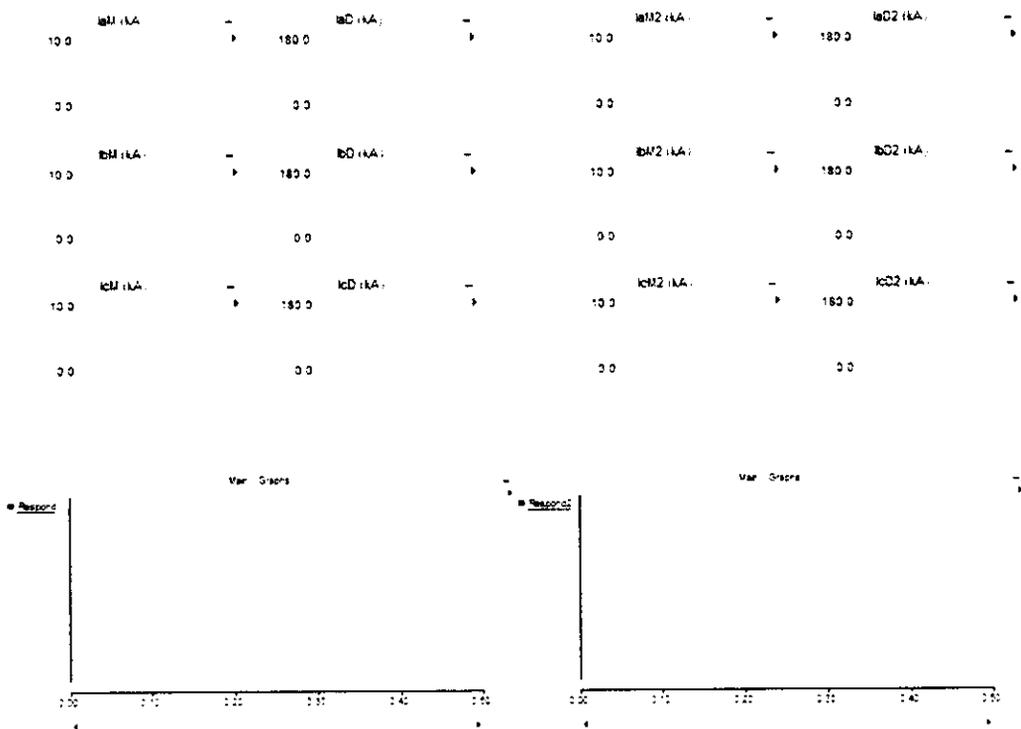
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Permodelan Sistem Proteksi Jaringan Transmisi Dengan Relai Diferensial Dual Bias Menggunakan 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 satu sumber ekuivalen tiga fase 150 kV, frekuensi 50 Hz. Sumber memiliki impedansi resistif sebesar 1,0 Ohm. Saluran yang digunakan adalah saluran transmisi dengan panjang 6,5 KM dengan dua saluran yang sama panjang. Ada tiga jenis Gambar rangkaian yang digunakan di bawah ini yaitu (a) Gambar kondisi normal, (b). Gambar gangguan internal dan (c). Gambar gangguan eksternal, yang disimulasikan menggunakan software PSCAD V 4.2.0 Student Version.



Pada Gambar 4.2 Model relai terdiri dari dua relai yang memiliki dua komponen utama. Yang terdiri dari Frekuensi scanner, Relai dual slop, output channel dan data signal label yang berfungsi untuk mengkonversi arus ke magnitudo dan sudut fase. Relai dual slope mengubah data output FFT (sinyal magnitudo dan sinyal sudut fase) berfungsi untuk keluaran logika proteksi.



Gambar 4.3 Monitor, arus dan respon relai

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

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

B. Hasil Simulasi

1. Kondisi normal

Kondisi normal adalah dimana pada saluran transmisi berada pada keadaan tidak terganggu. Dikatakan kondisi normal apabila arus dan sudut fasenya tidak berubah. Hasil simulasi berupa gelombang keluaran pscad. Nilai yang di peroleh merupakan nilai gelombang apabila tidak ada gangguan apapun.

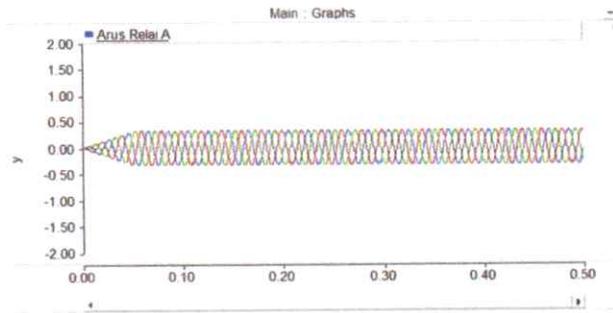
a. Simulasi dan setelan arus diferensial

Relai deferensial merupakan pengaman-utama [*main protection*] untuk gangguan hubung-singkat antarfase [dua fase dan tiga fase]. Relai ini harus bekerja lebih cepat dari relai lain apabila terjadi gangguan hubung singkat antar fase di zona proteksinya [zona internal]. Berikut data setelan relai DDB :

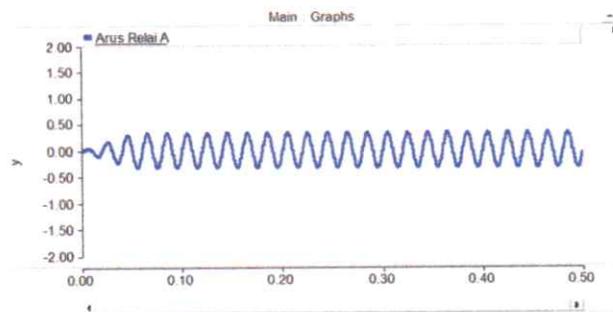
| RELAI DIFERENSIAL | |
|---------------------------------------|-------|
| Arus Nominal | 230 A |
| Setelan arus diferensial (I_{s1}) | 20% |
| Setelan arus diferensial (I_{s2}) | 200% |
| Setelan persentase (K_1) | 5% |
| Setelan persentase (K_2) | 150% |

Tabel 4.1 data sfesifikasi setelan relai

Setelan arus-diferensial didasarkan pada arus nominal pada jaringan trasnmisi, dalam hal ini, arus yang merupakan masukan relai adalah arus dari sumber yang digunakan. berikut hasilnya :

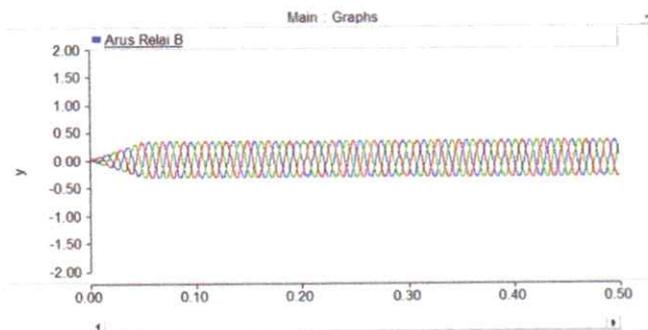


(a)

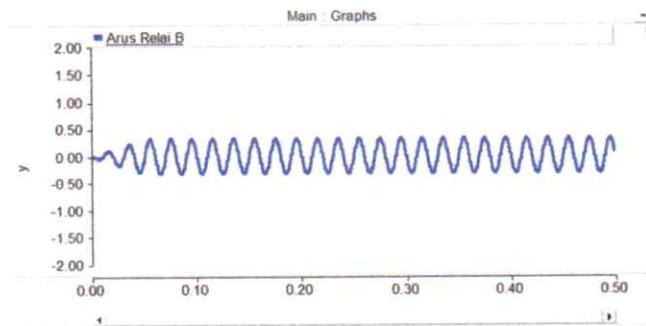


(b)

Gambar 4.4 Gelombang arus relai A kondidi normal (a) tampilan respond arus relai tiga fase (b) tampilan respond relai Arus fase A



(a)

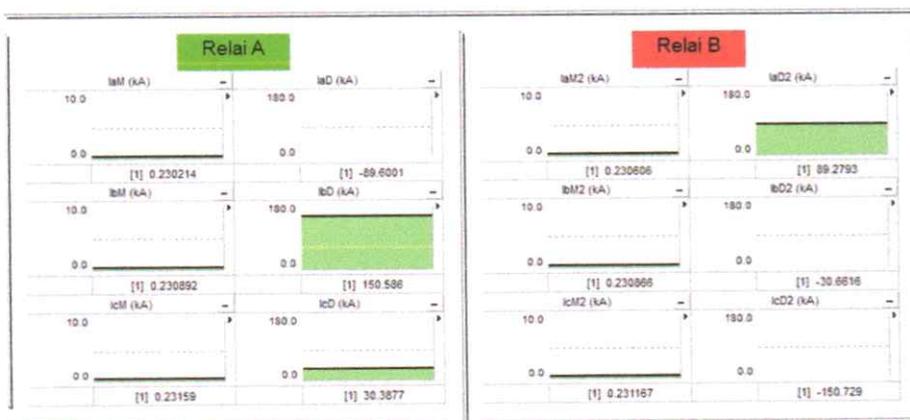


(b)

Gambar 4.5 Gelombang arus relai B kondisi normal (a) tampilan respond arus relai tiga fase (b) tampilan respond relai Arus fase A

Hasil simulasi keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.4 (a) dan (b), dari hasil simulasi terlihat arus tetap normal dengan bernilai sekitar 0,314 kA

Sedangkan pada relai B dapat dilihat pada gambar 4.5 (a) dan (b), hasil simulasi terlihat sama pada relai A dengan nilai sekitar 0,314 kA. Ini artinya bahwa tanpa adanya gangguan nilai arus tetap stabil pada kedua relai sehingga di sebut kondisi normal. Berikut ini nilai kedua relai pada saat kondisi normal



Gambar 4.6 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase

Gambar 4.6 Monitor yaitu monitor keluaran magnitudo dan sudut fase arus dari hasil simulasi FFT, dari hasil tersebut maka arus nominal pada keadaan normal adalah 0,230 kA atau setara dengan **230 A** dengan demikian dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{s1} = 20\% \times I_N$$

$$I_{s1} = 20\% \times 230$$

$$I_{s1} = 46 \text{ A}$$

Arus tersebut adalah nilai setelan pada relai. Jadi, nilai setelan arus I_{s1} adalah **46 Ampere**. Sedangkan untuk setelan I_{s2} adalah sebagai berikut :

$$I_{s2} = 200\% \times I_N$$

$$I_{s2} = 200\% \times 230$$

$$I_{s2} = 460 \text{ A}$$

Jadi, nilai setelan arus pada I_{s2} adalah **460 Ampere**.

Setelah mendapatkan nilai I_{s1} dan I_{s2} maka untuk menentukan nilai dan sudut slope satu atau di sebut setelan K_I dengan menggunakan persamaan berikut :

$$K_I = \frac{|I1 - I2|}{\frac{|I1 + I2|}{2}} \times 100\%$$

$$K_I = \frac{|230 - 230|}{\frac{|230 + 230|}{2}} \times 100\%$$

$$K_I = \frac{|0|}{\frac{|460|}{2}} \times 100\%$$

$$K_I = \frac{|0|}{|230|} \times 100\%$$

$$K_I = 0 \%$$

Nilai setelan *slope* K_1 adalah nol. Namun demikian, menurut Thompson [2014], dengan pertimbangan kestabilan atas adanya kemungkinan *Error* Pengukuran Relai maka biasanya diambil batas *error* sebesar 5% dan karena itu, secara praktis, nilai setelan K_1 yang aktual [K_{1_set}], ditentukan dengan dasar pertimbangan faktor di atas, sehingga akan diperoleh seperti berikut,

$$K_{1_set} = (0+5)\%$$

$$K_{1_set} = (5)\%$$

Berdasarkan Tabel 4.1., nilai yang tersedia di rentang setelan persentase yang terdekat dengan hasil perhitungan adalah nilai setelan K_1 sebesar 5%. Sementara itu, bila nilai setelan tersebut dinyatakan dalam setelan sudut *slope*, maka akan diperoleh sebagai berikut,

$$\tan(\alpha) = (K_{1_set})$$

$$\tan(\alpha) = (5\%)$$

$$(\alpha) = \tan^{-1}(5\%)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(0,05)$$

$$(\alpha) = 2,86^\circ$$

Dengan demikian, sudut setelan aktual K_1 adalah *slope* K_{1_set} yaitu $2,86^\circ$, terhadap sumbu X

setelah menentukan dan mendapatkan setingan arus dan sudut pada K_1 maka selanjutnya untuk menentukan setelan pada K_2 dapat menggunakan persamaan berikut :

$$K_2 = \frac{|I1 - I2|}{\frac{|I1 + I2|}{2}} \times 100\%$$

$$K_2 = \frac{|230 - 230|}{\frac{|230 + 230|}{2}} \times 100\%$$

$$K_2 = \frac{|0|}{\frac{|460|}{2}} \times 100\%$$

$$K_2 = \frac{|0|}{|230|} \times 100\%$$

$$K_2 = 0\%$$

Karena kemungkinan terjadinya *error* lebih besar daripada setingan K_1 maka diambil batasan *error* sebesar 150%. dan karena itu, secara praktis, nilai setelan K_2 yang aktual [K_{2_set}], ditentukan dengan dasar pertimbangan faktor di atas, sehingga akan diperoleh seperti berikut,

$$K_{2_sett} = (0+150)\%$$

$$K_{2_sett} = (150)\%$$

Nilai di atas adalah nilai setting pada K_2 yang tersedia di rentang setelan persentase yang terdekat dengan hasil perhitungan adalah nilai setelan sebesar 150%. Sementara itu, bila nilai setelan tersebut dinyatakan dalam setelan sudut *slope*, maka akan diperoleh sebagai berikut,

$$\tan(\alpha) = (K_{2_sett})$$

$$\tan(\alpha) = (150\%)$$

$$(\alpha) = \tan^{-1}(150\%)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(1,5)$$

$$(\alpha) = 56,30^\circ$$

Dengan demikian, sudut setelan aktual K_2 adalah *slope* K_{2_set} yaitu $56,30^\circ$ terhadap sumbu X pada K_1 . Berikut hasil data perhitungan setingan relai DDB :

| | |
|------------|----------------------|
| I_{S1} | 46 A |
| I_{S2} | 460 A |
| K_{1set} | $\angle 2,86^\circ$ |
| K_{2set} | $\angle 56,30^\circ$ |

Tabel 4.2 hasil setelan relai

b. Grafik Karakteristik Relai DDB Jaringan Trasmisi

Karakteristik Relai DDB untuk jaringan transmisi ditampilkan oleh Gambar 4.7. Gambar karakteristik ini adalah wujud grafis dari analisis setelan yang diperoleh pada bagian sebelumnya. Grafik karakteristik, pada dasarnya membagi dua area atau wilayah pada karakteristik: Area TRIP dan Area BLOK. Kedua area tersebut terkonstruksi dari nilai setelan ambang arus-diferensial (I_{diff}) sebesar $20\% I_N$ [setara 46 Ampere] dan (I_{bias}) sebesar $200\% I_N$ [setara 460 Ampere] serta setelan *slope* $K_1 = 5\%$ [setara 2,86 derajat], $K_2 = 150\%$ [setara 56,30 derajat] dalam satuan persentase atau derajat geometris.

sesuai dengan filosofi dari sistem proteksi yang mana hanya bagian atau daerah yang mengalami gangguan yang akan diisolasi terhadap sistem energi. Kebalikan dari hal tersebut, analisis terhadap Gangguan INTERNAL dilakukan untuk memastikan bahwa sistem proteksi akan sanggup mendeteksi gangguan sekecil apapun, ketika gangguan tersebut ternyata berada di daerah tanggung jawabnya. Sebagai konsekuensi dari hal ini, maka sistem proteksi akan melakukan aksi sebaliknya yakni Aksi TRIP terhadap pemutus daya, sehingga bagian yang terganggu menjadi terisolasi dari bagian sistem energi yang normal.

Jenis gangguan dianalisis adalah jenis gangguan sesuai fungsi proteksi yakni gangguan yang terkategori gangguan antar fase. Gangguan antar fase meliputi dua jenis yakni Gangguan Dua-Fase dan Tiga-Fase. Sementara itu, varian arus gangguan akan didasarkan pada rekomendasi IEEE yakni gangguan akan dianggap memiliki resistans gangguan, R_f , yakni 1, 5 & 10 Ohm. Dengan demikian, seluruh gangguan akan dianalisis dengan keterlibatan nilai resistans gangguan, sebagai telah disebutkan, baik untuk Gangguan EKSTERNAL maupun INTERNAL. Sampel luaran program gangguan hubung-singkat di PSCAD berupa arus-arus setiap fase dan relai, untuk Gangguan Dua-Fase serta Tiga-Fase (yang resistans 5 & 10), baik yang EKSTERNAL maupun INTERNAL dapat dilihat pada Lampiran L-02.

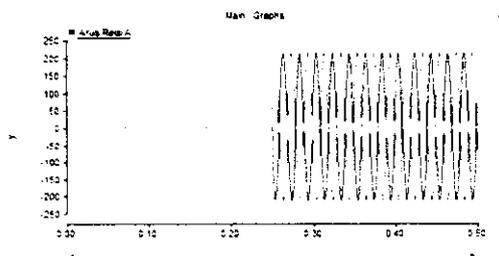
2. Simulasi Gangguan Internal

Gangguan internal adalah gangguan pada saluran transmisi yang berada pada zona yang di lindungi, dikatakan gangguan internal jika sudut fasenya berada pada

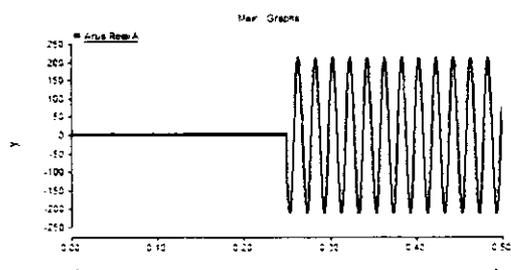
0 sampai 180 .hasil simulasi berupa gelombang keluaran pscad. Nilai yang di peroleh merupakan nilai maksimum pada keadaan *steady state* dari gelombang keluaran tersebut,berikut rangkiannya :

a. gangguan internal dua fase (AB)

Gangguan divariasikan dengan tiga variasi resistansi gangguan R_f (1,5 dan 10 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.25 detik selama 0,5 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan internal dua fase dengan nilai R_f sebesar 1 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.8 dan 4.9 sebagai berikut:

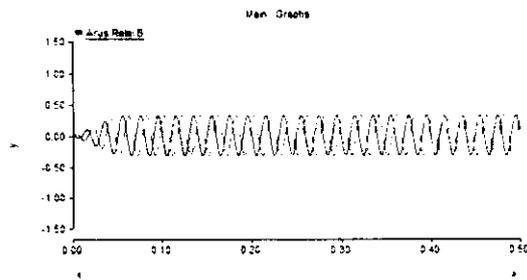


(a)

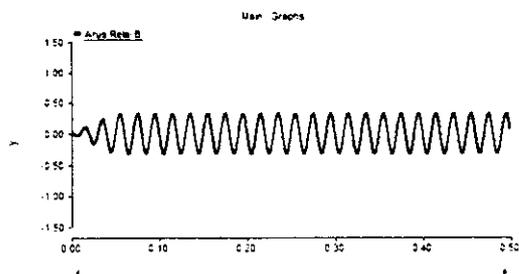


(b)

Gambar 4.8 Gelombang arus relai A gangguan internal dua fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan respond arus relai dua fase AB (b) tampilan respond relai Arus fase A



(a)



(b)

Gambar 4.9 Gelombang arus relai B gangguan internal dua fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan respond arus relai dua fase AB (b) tampilan respond arus relai B fase A

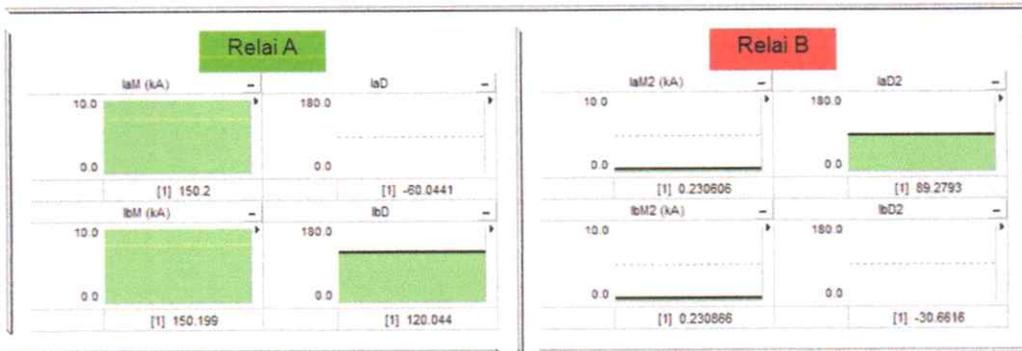
Hasil simulasi keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.8 (a) dan (b), dari hasil simulasi terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Arus sebelum terjadi gangguan bernilai sekitar 0,325 kA, Pada saat waktu 0,25 detik gangguan terjadi sehingga terjadi kenaikan arus sekitar 207,244 kA

Sedangkan pada relai B dapat dilihat pada gambar 4.9 (a) dan (b), hasil simulasi terlihat nilai arus kedua fase AB maksimum pada keadaan steady state sekitar 0,323 kA, yang nilainya tidak terlalu berbeda dengan arus awal sebelum terjadi gangguan pada relai A, sedangkan fase yang tidak terganggu (Fase C) tidak mengalami perubahan arus

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 dan 10 ohm di sajikan pada

lembar lampiran.

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



Gambar 4.10 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase

Gambar 4.10 Monitor yaitu monitor keluaran magnitudo dan sudut fase arus dari hasil simulasi FFT, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A Fase A = 150,200 kA dan Fase B = 0,230 kA sedangkan Relai B fase A = 150,200 kA dan fase B = 0,230 kA dengan demikian dapat di hitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 |I_{diff}| &= |I_{S1} - I_{S2}| \\
 &= |150.200 - 230| \\
 &= 149.970 \text{ A} \\
 |I_{bias}| &= \frac{|IS1 + IS2|}{2} \\
 &= \frac{|150.200 + 230|}{2} \\
 &= \frac{|150.430|}{2} \\
 &= 75.215 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Karena $I_{bias} = 75.215 \text{ A}$ yang artinya lebih besar dari $I_{S2} = 460 \text{ A}$ maka kondisi *trip* akan terjadi sesuai persamaan berikut:

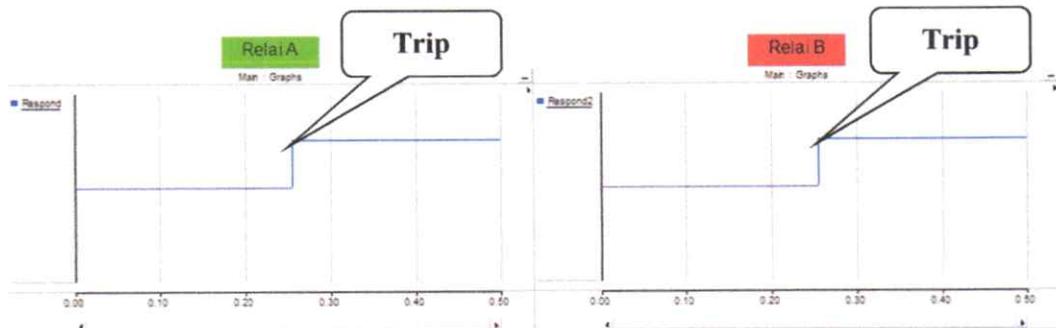
$$|I_{diff}| > K_2 |I_{bias}| - (K_2 - K_1)$$

$$\text{Arus diferensial} = 149.970 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} K_2 |I_{bias}| - (k_2 - k_1) &= 1,5 |75.215| - (1,5 - 0,05) \\ &= |112.822,5| - (1,45) \\ &= 112.821,05 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan demikian, arus diferensial = $149.970 \text{ A} > 112.821,05 \text{ A}$

Sehingga lokus arus gangguan berada di wilayah TRIP dari karakteristik relai pada gambar 4.7



Gambar 4.11 Monitor Relai A dan Relai B

Nilai arus dan respon relai gangguan internal dua fase ke (AB) dengan R_f 1,5 dan 10 dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.3 berikut:

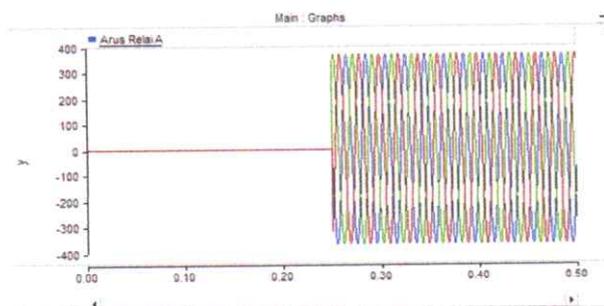
| Resistan | Arus | | Nilai Arus Relai DDB | Respon Relai | | | |
|----------|------------|----------|--------------------------|--------------|------|---------|------|
| | Relai A | Relai B | | Relai A | | Relai B | |
| | | | | Trip | Blok | Trip | Blok |
| 1 Ohm | 150,200 kA | 0,230 kA | 149.970 A > 112.821,05 A | ✓ | - | ✓ | - |
| 5 Ohm | 30,200 kA | 0,230 kA | 29.970 A > 22.281,05 A | ✓ | - | ✓ | - |
| 10 Ohm | 15,200 kA | 0,230 kA | 14.970 A > 11.571,05 A | ✓ | - | ✓ | - |

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

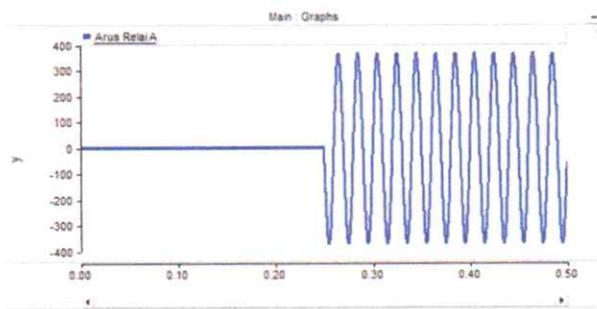
Dari tabel 4.3 terlihat ke-tiga varian Rf menghasilkan nilai arus teknik perbandingan fase sama dengan hasil setingan sehingga respon relai terhadap gangguan internal dua fase (AB) *trip*.

d. Gangguan internal Tiga-fase (ABC)

Gangguan divariasikan dengan tiga variasi resistansi gangguan Rf (1,5 dan 10 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0,25 detik dan terjadi selama 0.5 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan internal tiga fase dengan nilai Rf sebesar 1 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.12 dan 4.13 sebagai berikut:

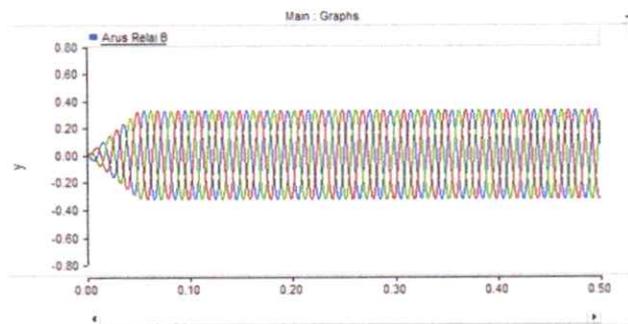


(a)

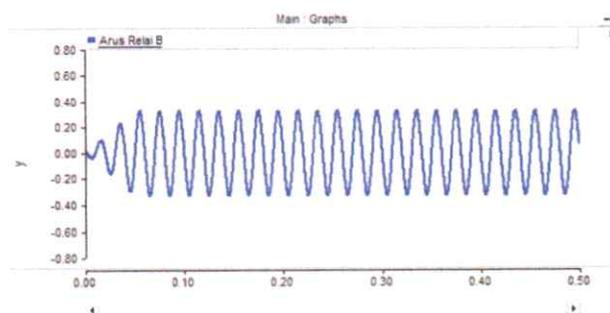


(b)

Gambar 4.12 Gelombang arus relai-A gangguan internal Tiga-fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A.



(a)



(b)

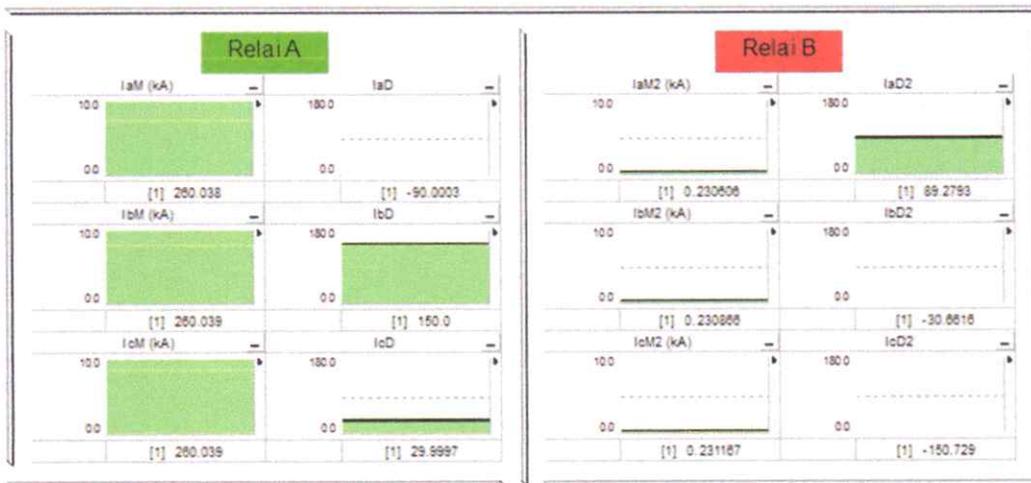
Gambar 4.13 Gelombang arus relai-B gangguan internal Tiga-fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A.

Bentuk hasil keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.12 (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 347,692 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 0,324 kA.

Untuk gelombang arus pada relai B dapat dilihat pada gambar 4.13 (a) dan (b), hasil simulasi yang menunjukkan nilai arus relai A dan relai B tidak memiliki perbedaan yang besar, nilai arus maksimum sebelum terjadi gangguan (fase AB) keadaan *steady state* sekitar 0,316 kA.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 dan 10 ohm di sajikan pada lampiran.

Berikut ini nilai relai dan selisih relai dan sudut arus fase, serta respon relai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.14 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase

Gambar 4.14 Monitor yaitu monitor keluaran magnitudo dan sudut fase arus dari hasil simulasi FFT, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A Fase A = 260,308 kA, Fase B = 260,039 kA, Fase C = 260,308 kA. sedangkan Relai B Fase A = 0,230 kA, Fase B = 0,230 kA dan Fase C = 0.230 kA dengan demikian dapat di hitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} |I_{diff}| &= | I_{S1} - I_{S2} | \\ &= | 260.308 - 230 | \\ &= 260.078 \text{ A} \end{aligned}$$

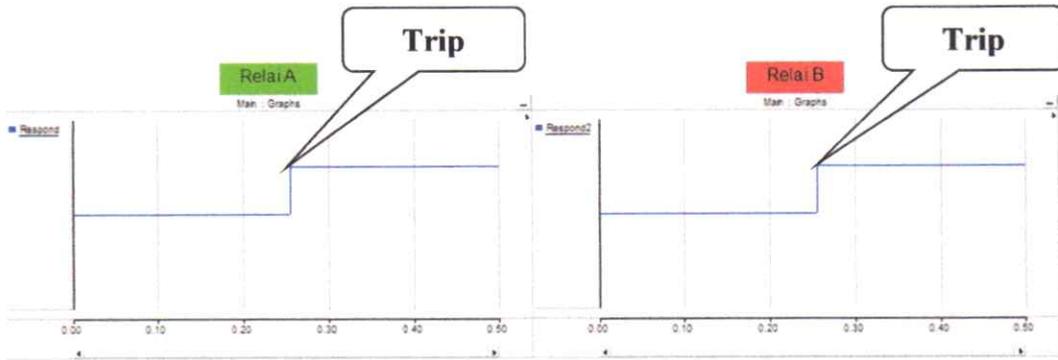
$$\begin{aligned} |I_{bias}| &= \frac{| I_{S1} + I_{S2} |}{2} \\ &= \frac{| 260.308 + 230 |}{2} \\ &= \frac{| 260.538 |}{2} \\ &= 130.268 \text{ A} \end{aligned}$$

Karena $I_{bias} = 130.268 \text{ A}$ yang artinya lebih besar dari $I_{S2} = 460 \text{ A}$ maka kondisi *trip* akan terjadi sesuai persamaan berikut:

$$\begin{aligned} |I_{diff}| &> K_2 |I_{bias}| - (K_2 - K_1) \\ \text{Arus diferensial} &= 260.078 \text{ A} \\ K_2 |I_{bias}| - (k_2 - k_1) &= 1,5 |130.268| - (1,5 - 0,05) \\ &= |195.402| - (1,45) \\ &= 193.952 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan demikian, arus diferensial = 260.078A > 193.952 A

Sehingga lokus arus gangguan berada di wilayah TRIP dari karakteristik relai pada gambar 4.7



Gambar 4.15 Respon relai A dan B terhadap gangguan internal 3 fase

Nilai arus, relai dan respon relai gangguan internal tiga fase (ABC) dengan R_f 1,5 dan 10 dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.4 berikut:

| Resistan | Arus | | Nilai Arus Relai DDB | Respon Relai | | | |
|----------|------------|----------|-------------------------|--------------|------|---------|------|
| | Relai A | Relai B | | Relai A | | Relai B | |
| | | | | Trip | Blok | Trip | Blok |
| 1 Ohm | 260,038 kA | 0,230 kA | $260.078A > 193.952 A$ | ✓ | - | ✓ | - |
| 5 Ohm | 52,191 kA | 0,230 kA | $51.961 A > 39.314,3 A$ | ✓ | - | ✓ | - |
| 10 Ohm | 26,211 kA | 0,230 kA | $25.981 A > 19.829,3 A$ | ✓ | - | ✓ | - |

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

Dari tabel 4.4 terlihat ke-tiga varian R_f menghasilkan nilai arus berbeda sehingga respon relai terhadap gangguan internal tiga fase (ABC) *trip*.

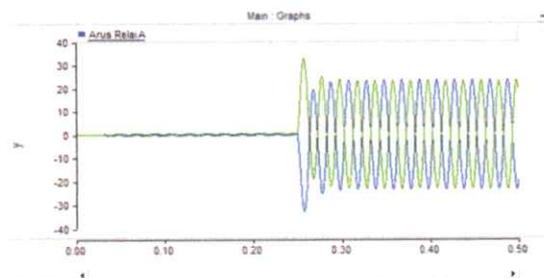
3. Simulasi Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal adalah gangguan pada saluran transmisi yang berada di luar zona atau saluran yang di lindungi, dikatakan gangguan eksternal jika sudut

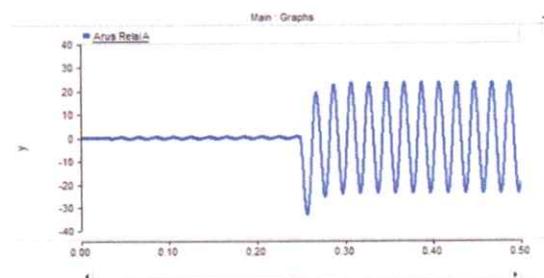
fasenya berada pada 0 sampai 180 dan 0 sampai -180. hasil simulasi berupa gelombang keluaran PSCAD. Nilai yang di peroleh merupakan nilai maksimum pada keadaan *steady state* dari gelombang keluaran tersebut, berikut hasilnya :

a. Gangguan Eksternal Dua-fase (AB)

Gangguan divariasikan dengan tiga variasi resistansi gangguan R_f (1,5 dan 10 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0,25 detik dan terjadi selama 0.5 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan internal tiga fase dengan nilai R_f sebesar 1 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.16 dan 4.17 sebagai berikut:

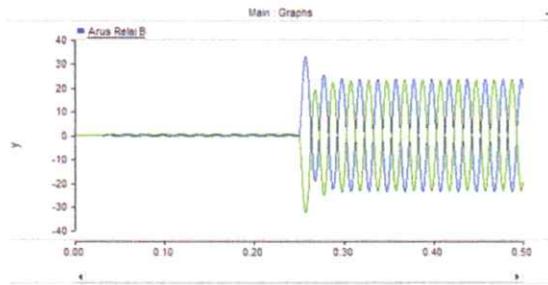


(a)

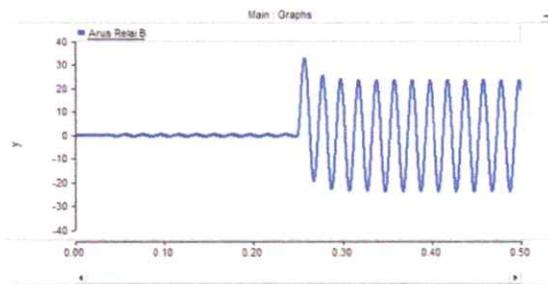


(b)

Gambar 4.16 Gelombang arus relai-A gangguan Eksternal dua-fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A.



(a)



(b)

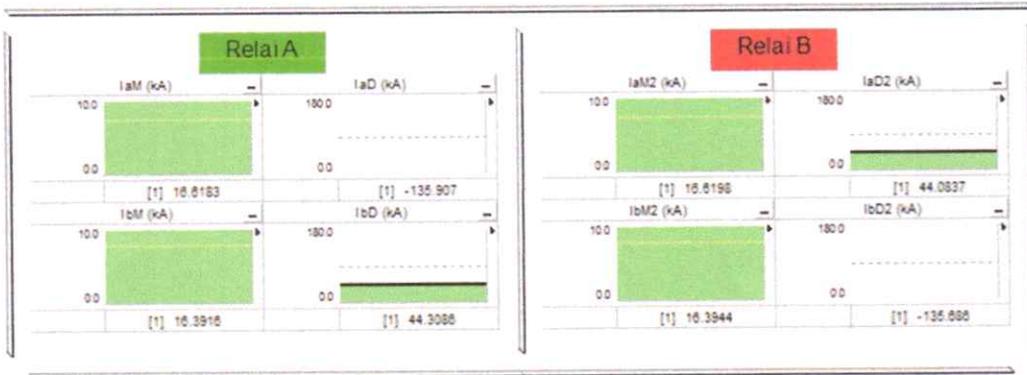
Gambar 4.17 Gelombang arus relai-B gangguan Eksternal dua-fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A.

Hasil simulasi gangguan eksternal AB keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.16 (a) dan (b), terlihat perubahan arus pada saat terjadi gangguan untuk kedua fase yang terganggu. Awal penurunan arus (fase-A) yang terjadi adalah nilai puncak transien yang terjadi bernilai sekitar $-32,215$ kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady states* sekitar $23,143$ kA, sedangkan fase yang tidak terganggu (Fase-C) tidak mengalami perubahan.

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 memiliki nilai puncak sekitar $32,890$ kA , nilai arus maksimum pada keadaan *steady states* sekitar $23,241$ kA sedangkan nilai arus fase C tidak berubah.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi Rf 5 dan 10 ohm di sajikan pada lembar lampiran.

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



Gambar 4.18 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase

Gambar 4.18 yaitu monitor keluaran magnitudo dan sudut fase arus dari hasil simulasi FFT, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A Fase A = 16,61 kA, dan Fase B = 16,39 kA. sedangkan Relai B Fase A = 16,61 kA, dan Fase B = 16,39 kA dengan demikian dapat di hitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 |I_{diff}| &= |I_{S1} - I_{S2}| \\
 &= |16.61 - 16.61| \\
 &= 0 \text{ A} \\
 |I_{bias}| &= \frac{|I_{S1} + I_{S2}|}{2} \\
 &= \frac{|16.61 + 16.61|}{2} \\
 &= \frac{|33.220|}{2} \\
 &= 16.610 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Karena $I_{bias} = 16.610 \text{ A}$ yang artinya lebih besar dari $I_{S2} = 460 \text{ A}$ maka kondisi *trip* akan terjadi sesuai persamaan berikut:

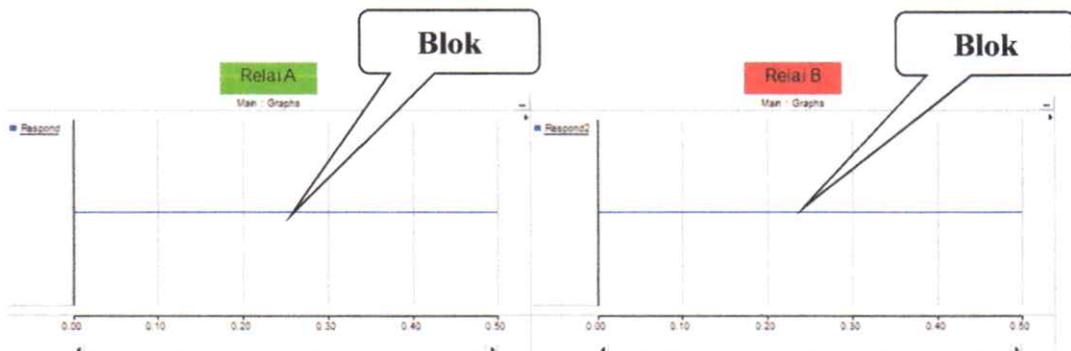
$$|I_{diff}| > K_2 |I_{bias}| - (K_2 - K_1)$$

$$\text{Arus diferensial} = 0 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} K_2 |I_{bias}| - (k_2 - k_1) &= 1,5 |16.610| - (1,5 - 0,05) \\ &= |24.915| - (1,45) \\ &= 24.913,55 \text{ A} \end{aligned}$$

Dengan demikian, arus diferensial = $0 \text{ A} < 24.913,55 \text{ A}$

Sehingga lokus arus gangguan berada di wilayah BLOK dari karakteristik relai pada gambar 4.7



Gambar 4.19 respon relai A dan B terhadap gangguan eksternal 2 fase

Nilai arus, relai dan respon relai gangguan eksternal dua fase (AB) dengan $R_f 1,5$ dan 10 dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.5 berikut:

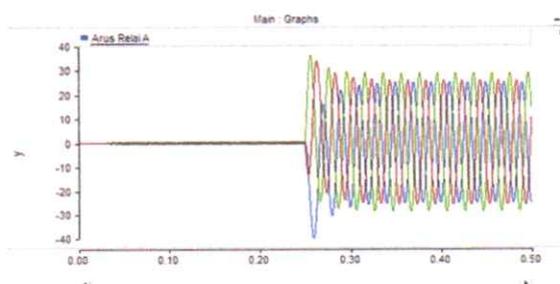
| Resistan | Arus | | Nilai Arus Relai DDB | Respon Relai | | | |
|----------|----------|----------|----------------------|--------------|------|---------|------|
| | Relai A | Relai B | | Relai A | | Relai B | |
| | | | | Trip | Blok | Trip | Blok |
| 1 Ohm | 16,61 kA | 16,61 kA | 0 A < 24.913,55 A | - | ✓ | - | ✓ |
| 5 Ohm | 11,26 kA | 11,26 kA | 0 A < 16.891,55 A | - | ✓ | - | ✓ |
| 10 Ohm | 6,99 kA | 6,99 kA | 0A < 10.483,55 A | - | ✓ | - | ✓ |

Tabel 4.5 Performa relai terhadap gangguan eksternal dua-fase (AB)

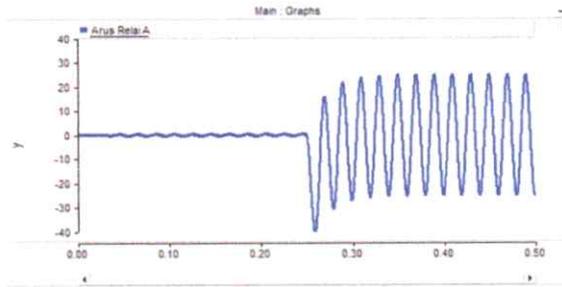
Dari tabel 4.5 terlihat ke-tiga varian Rf menghasilkan nilai arus berbeda dimana semakin tinggi resistansi gangguan di berikan maka semakin rendah arus yang di keluarkan sehingga respon relai terhadap gangguan eksternal dua fase (AB) *blok*.

b. Gangguan Eksternal tiga-fase (ABC)

Gangguan divariasikan dengan tiga variasi resistansi gangguan Rf (1,5 dan 10 ohm). Gangguan pada sistem terjadi di waktu 0.5 detik. Bentuk gelombang hasil simulasi gangguan internal tiga fase dengan nilai Rf sebesar 1 ohm keluaran dari PSCAD di perlihatkan pada gambar 4.20 dan 4.21 sebagai berikut:

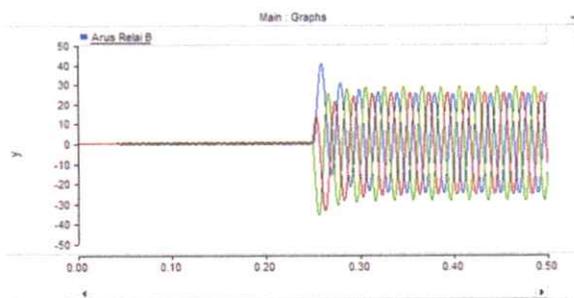


(a)

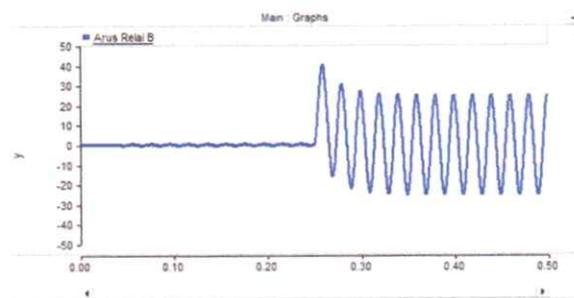


(b)

Gambar 4.20 Gelombang arus relai-A gangguan Eksternal tiga-fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A.



(a)



(b)

Gambar 4.21 Gelombang arus relai-B gangguan Eksternal tiga-fase, $R_f=1$ ohm; (a) tampilan arus tiga fase; (b) tampilan arus fase A.

Hasil simulasi keluaran gelombang arus pada relai A dapat dilihat pada gambar 4.20 (a) dan (b), terlihat kenaikan arus pada saat terjadi gangguan untuk ketiga fase yang terganggu. Awal penurunan arus (fase-A) adalah nilai puncak

transien yang terjadi bernilai sekitar -40,208 kA, nilai harus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 24,515 kA, begitu juga fase B dan fase C juga mengalami kenaikan arus.

Keluaran bentuk gelombang pada relai B di perhatikan pada gambar 4.21 (a) dan (b), hasil simulasi menunjukkan nilai kenaikan arus (fase A) bernilai sekitar 39,676 kA sedangkan nilai arus maksimum pada keadaan *steady state* sekitar 25,063 kA.

Untuk Gambar gangguan dengan variasi R_f 5 dan 10 ohm di sajikan pada lampiran. Berikut ini nilai relai dan selisih relai dan sudut fasor arus, serta respon nilai A dan relai B terhadap gangguan :



Gambar 4.22 Monitor keluaran nilai magnitudo dan sudut fase

Gambar 4.22 yaitu monitor keluaran magnitudo dan sudut fase arus Fase ABC dari hasil simulasi FFT, dengan nilai yang didapat yaitu sekitar Relai A Fase A = 17,70 kA, Fase B = 20,26 dan Fase C = 18,197 kA. sedangkan Relai B Fase A = 17,70 kA, Fase B = 20,26 kA dan Fase C = 18,2 kA dengan demikian dapat di hitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 |I_{diff}| &= |I_{S1} - I_{S2}| \\
 &= |17.700 - 17.700| \\
 &= 0 \text{ A}
 \end{aligned}$$

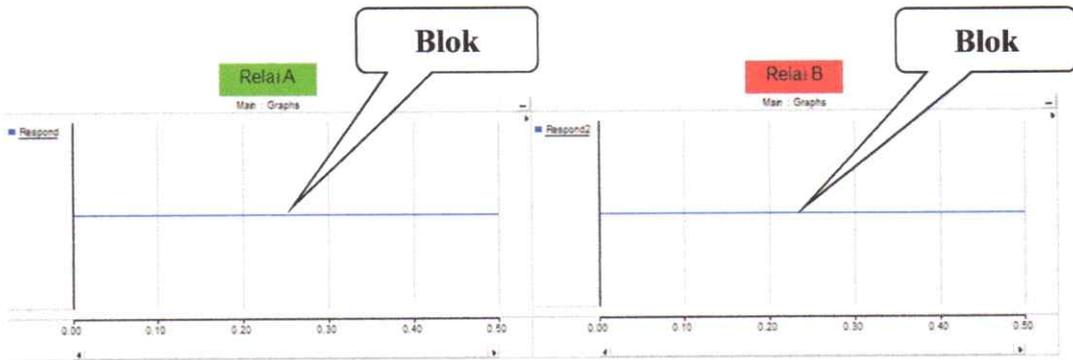
$$\begin{aligned}
 |I_{bias}| &= \frac{|I_{S1} + I_{S2}|}{2} \\
 &= \frac{|17.700 + 17.700|}{2} \\
 &= \frac{|35.400|}{2} \\
 &= 17.700 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Karena $I_{bias} = 17.700 \text{ A}$ yang artinya lebih besar dari $I_{S2} = 460 \text{ A}$ maka kondisi *trip* akan terjadi sesuai persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 |I_{diff}| &> K_2 |I_{bias}| - (K_2 - K_1) \\
 \text{Arus diferensial} &= 0 \text{ A} \\
 K_2 |I_{bias}| - (k_2 - k_1) &= 1,5 |17.700| - (1,5 - 0,05) \\
 &= |26.550| - (1,45) \\
 &= 26.548,55 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, arus diferensial = $0 \text{ A} < 26.548,55 \text{ A}$

Sehingga lokus arus gangguan berada di wilayah BLOK dari karakteristik relai pada gambar 4.7



Gambar 4.23 Respon relai A dan B terhadap gangguan eksternal 3 fase

Nilai arus, relai, dan respon relai gangguan eksternal tiga fase (ABC) dengan R_f 1,5 dan 10 dapat dilihat selengkapnya pada tabel 4.6 berikut:

| Resistan | Arus | | Nilai Arus Relai DDB | Respon Relai | | | |
|----------|----------|----------|----------------------|--------------|------|---------|------|
| | Relai A | Relai B | | Relai A | | Relai B | |
| | | | | Trip | Blok | Trip | Blok |
| 1 Ohm | 17,70 kA | 17,70 kA | $0 A < 26.548,55 A$ | - | ✓ | - | ✓ |
| 5 Ohm | 14,15 kA | 14,15 kA | $0 A > 21.223,55 A$ | - | ✓ | - | ✓ |
| 10 Ohm | 10,15 kA | 10,15 kA | $0 A > 15.223,55 A$ | - | ✓ | - | ✓ |

Tabel 4.6 Performa relai terhadap gangguan eksternal tiga-fase (ABC)

Dari tabel 4.6 terlihat ke-tiga varian R_f menghasilkan nilai arus berbeda dimana setiap kenaikan resistansi gangguan maka nilai arus akan menurun sehingga respon relai terhadap gangguan eksternal tiga fase (ABC) *blok*.

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 diferensial dual bias pada jaringan transmisi menggunakan pengamatannya untuk mengetahui kinerja proteksi antara relai A dan relai B antara setiap ujung saluran transmisi, performa relai dual bias terhadap variasi R_f (1, 5, dan 10 Ohm) dengan empat tipe gangguan yaitu gangguan internal dua fase dan tiga fase, gangguan eksternal dua fase dan tiga fase pada saluran transmisi tersebut sangat baik, karena 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 yang digunakan dalam penelitian ini, maka diharapkan untuk pemodelan Relai diferensial dual bias pada saluran transmisi yang lebih komplit seperti permodelan tiga line tanpa harus di batasi penggunaan simpul nodes. sebaiknya menggunakan versi PSCAD yang lebih tinggi (*full version*) dari versi yang digunakan pada penelitian saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bonar pandjaitan. 2012 *praktik-praktik proteksi sistem tenaga listrik*. Yogyakarta
Andi Offset
- Kurniawati Naim. (2017). *Simulasi koordinasi proteksi pada jaringan transmisi menggunakan simulator transmisi*, jurnal Teknologi Elekterika Hal 1-2
- Syukriyadin, Syahrizal, dan Cut Rizky Nakhrisyia. (2011). *Analisis Proteksi Relay Differensial Terhadap Gangguan Internal dan Eksternal Transformator Menggunakan PSCAD/EMTDC*. Jurnal Rekayasa Elektrika. Vol. 9, No.3, April 2011
- Indri Nirwana, Supriadi,Zahir Zainuddin & Andi Faharuddin.2019. Simulasi Relai Pilot TeknikPerbandingan –Fase untuk Saluran Transmisi Udara Menggunakan Perangkat Lunak PSCAD (Power System Computer Aided Design)/ EMTDC: Makassar.
- Mason, C. Rulles. 1979. *The Art and Science of Protective Relaying*
- Taqiyyuddin Muhammad Alawiy, (2006). *Proteksi Sistem Tenaga ListrikSeri Relay Elektromagnetis*,Universitas Islam Malang.
- Dharmawan, ariastin. (2020). *Studi sistem proteksi line current diferensial relay pada saluran transmisi 150 KV*, jurnal SPEKTRUM Vol 7, No 1 maret 2020

Vishwakarma D. N., Ram Badri, (1995). *Power Sisyem Protection And Swicgear*,
Tata McGraw-Hill, New Delhi.

Rizkaurun Nur Fadliyah. (2017). *Evaluasi Kegagalan Setting Relai Diferensial pada Bus 18 KV di sistem kelistrikan PLTU UP PAITON UNIT 1*,
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Muller, Craig. P. Eng. On the use of PSCAD (Power Sistem Computers Aided Design), Research Centre ,Winnipeg,Manitoba, Canada.

Manitoba HVDC Research Centre. 2018. Power Systems Computer Aided Design (PSCAD). Canada: Manitoba Hydro Internasional

Tyadi, sarman thaha . 2015 sistem proteksi tenaga listrik. Makassar penerbit ininnawa

Jemjem kunaen. 2002 pengaman diferensial arus untuk sistem transmisi, protection for transmisiion line.