

ANALISIS PENERAPAN FUNGSI DUA TAHAP PADA
RELAI PROTEKSI *STANDBY EARTH FAULT* (SBEF)
TRANSFORMATOR 30 MVA GARDU INDUK MAROS
150 KV



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ALFIN AKRAM DWI AMIR
421 18 003

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Penerapan Fungsi Dua Tahap Pada Relai Proteksi *Standby Earth Fault* (SBEF) Transformator 30 MVA Gardu Induk Maros 150 kV”, oleh Alfin Akram Dwi Amir NIM 421 18 003 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 28 Juli 2022

Pembimbing I



Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197609212000031001

Pembimbing II,



Muh. Imran Bachtiar, S.T., M.T.
NIP. 198408142019031009

Mengetahui

Ketua Program Studi,



Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T.
NIP. 198604042015041001



HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Selasa tanggal 2 Agustus 2022, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Alfin Akram Dwi Amir NIM 421 18 003 dengan judul **Analisis Penerapan Fungsi Dua Tahap Pada Relai Proteksi *Standby Earth Fault* (SEBF) Transformator 30 MVA Gardu Induk Maros 150 kV.**

Makassar, 2 Agustus 2022

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

| | | |
|--|------------|---|
| 1. Ir. H. Ahmad Gaffar, M.T. | Ketua |  |
| 2. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. | Sekretaris |  |
| 3. Kurniawati Naim, S.T., M.T. | Anggota |  |
| 4. Musfirah Putri Lukman, S.T., M.T. | Anggota |  |
| 5. Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. | Anggota |  |
| 6. Muh. Imran Bachtiar, S.T., M.T. | Anggota |  |



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul ” **Analisis Penerapan Fungsi Dua Tahap Pada Relai Proteksi *Standby Earth Fault (SBEF)* Transformator 30 MVA Gardu Induk Maros 150 kV**” dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai tanggal 1 Maret, sampai dengan tanggal 30 bulan Juni tahun 2022 bertempat di Gardu Induk Maros.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

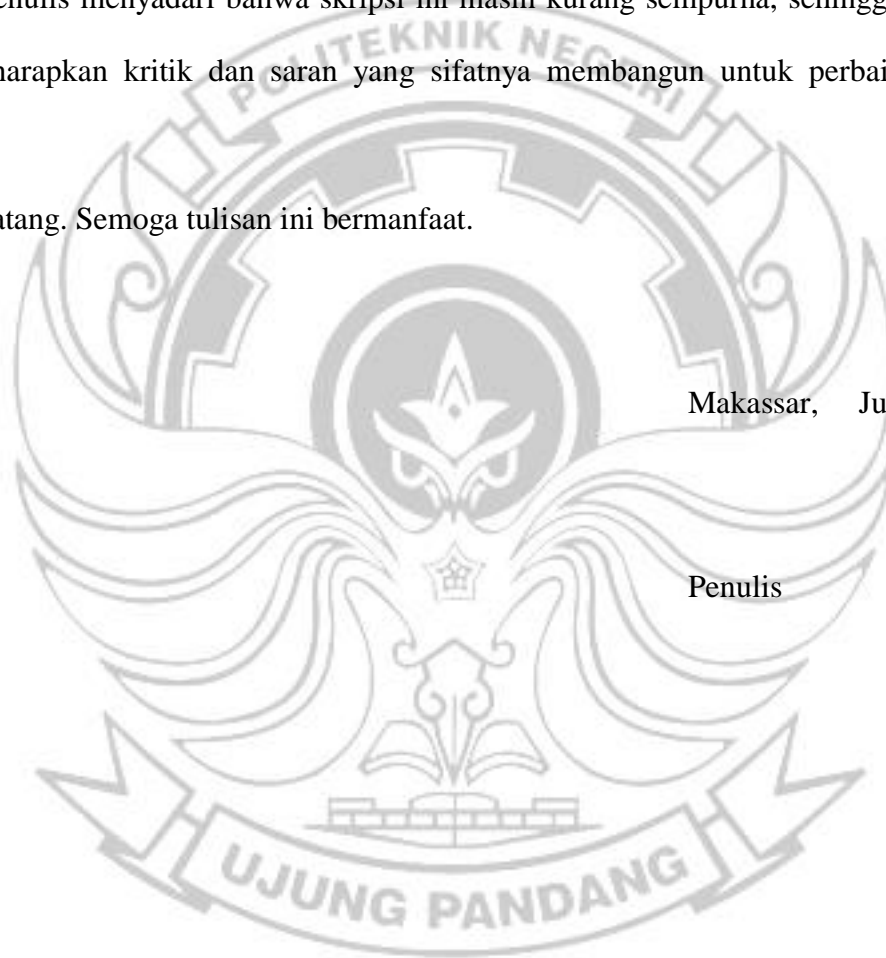
1. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung penulis dengan penuh kasih sayang.
2. Bapak Hasta, selaku Manager PT PLN (Persero) ULTG Maros.
3. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Pembimbing I dan Bapak Muhammad Imran Bachtiar, S.T., M.T. sebagai Pembimbing II yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

7. Staf dan Pegawai PT PLN (Persero) ULTG Maros.
8. Segenap Dosen dan Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
9. Saudara – saudari kelas 4A D4 Teknik Listrik.
10. Teman – teman Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, Juli 2022

Penulis



DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN SAMBUTAN | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PENERIMAAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| SURAT PERNYATAAN | xiv |
| RINGKASAN | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Ruang Lingkup Penelitian | 2 |
| 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.4.1 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4.2 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Sistem Tenaga Listrik | 4 |
| 2.2 Transformator | 6 |
| 2.3 Sistem Proteksi | 8 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik | 9 |
| 2.4.1 Faktor-Faktor Penyebab Gangguan | 9 |
| 2.4.2 Jenis Gangguan | 9 |
| 2.5 Komponen Simetris | 12 |
| 2.5.1 Besaran Per Unit | 12 |
| 2.5.2 Analisa Hubung Singkat | 13 |
| 2.5.3 Pengertian Fasor Komponen Simetris | 14 |
| 2.6 Persyaratan Relai Proteksi | 17 |
| 2.6.1 Cepat | 17 |
| 2.6.2 Selektif | 18 |
| 2.6.3 Sensitif | 18 |
| 2.6.4 Andal | 19 |
| 2.7 Proteksi Transformator Tenaga | 19 |
| 2.8 <i>Neutral Grounding Resistor</i> | 25 |
| 2.9 Karakteristik Relai | 27 |
| 2.9.1 <i>Instantaneous</i> | 27 |
| 2.9.2 <i>Definite Time</i> | 28 |
| 2.9.3 <i>Inverse</i> | 28 |
| 2.10 Relai OCR | 33 |
| 2.11 Relai GFR | 34 |
| 2.12 Relai SBEF | 34 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 37 |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 Alat | 37 |
| 3.3 Prosedur Penelitian..... | 37 |
| 3.4 Teknik Pengumpulan Data | 40 |
| 3.5 Teknik Analisis Data..... | 41 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 42 |
| 4.1 Hasil | 42 |
| 4.1.1 <i>Single Line Diagram</i> GI Maros | 42 |
| 4.1.2 Data Teknis Gardu Induk Maros..... | 44 |
| 4.1.3 Data <i>Setting</i> Relai OCR dan GFR sisi 150 Kv | 45 |
| 4.1.4 Data <i>Setting</i> Relai OCR dan GFR sisi 20 kV <i>Incoming</i> | 46 |
| 4.1.5 Data <i>Setting</i> Relai OCR GFR sisi 20 kV Penyulang | 46 |
| 4.2 Pembahasan..... | 47 |
| 4.2.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Transformator dan <i>Setting</i> Relai SBEF | 47 |
| 4.2.2 Simulasi Koordinasi antara Relai Proteksi SBEF dengan GFR sisi 150 kV | 53 |
| 4.2.3 Perbandingan Hasil Teori dan Simulasi <i>Setting</i> Relai Proteksi SBEF..... | 61 |
| 4.2.4 Perbandingan Frekuensi Gangguan yang Menyebabkan Transformator Padam Sebelum dan Setelah Penerapan Fungsi Dua Tahap Relai SBEF di ULTG Maros..... | 63 |
| BAB V PENUTUP..... | 64 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 64 |

| | |
|----------------------|----|
| 5.2 Saran..... | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA | 66 |
| LAMPIRAN..... | 67 |



DAFTAR TABEL

| | hal. |
|---|------|
| Tabel 2.1 Besar Nilai <i>Setting</i> GFR dan SBEF..... | 26 |
| Tabel 3.1 Peralatan yang Digunakan..... | 37 |
| Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator #1 Gardu Induk Maros..... | 44 |
| Tabel 4.2 Data Sistem Pentanahan Transformator #1 Gardu Induk Maros.... | 44 |
| Tabel 4.3 Data Setting Relai OCR GFR sisi 150 kV | 45 |
| Tabel 4.4 Data Setting Relai OCR dan GFR sisi 20 kV Incoming | 46 |
| Tabel 4.5 Data Setting Relai OCR sisi 20 kV Penyulang | 46 |
| Tabel 4.6 Data Setting Relai GFR sisi 20 kV Penyulang..... | 47 |
| Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai Base Transformator | 49 |
| Tabel 4.8 Data yang Dimasukkan di Etap..... | 55 |
| Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi dan Teori Relai SBEF | 61 |

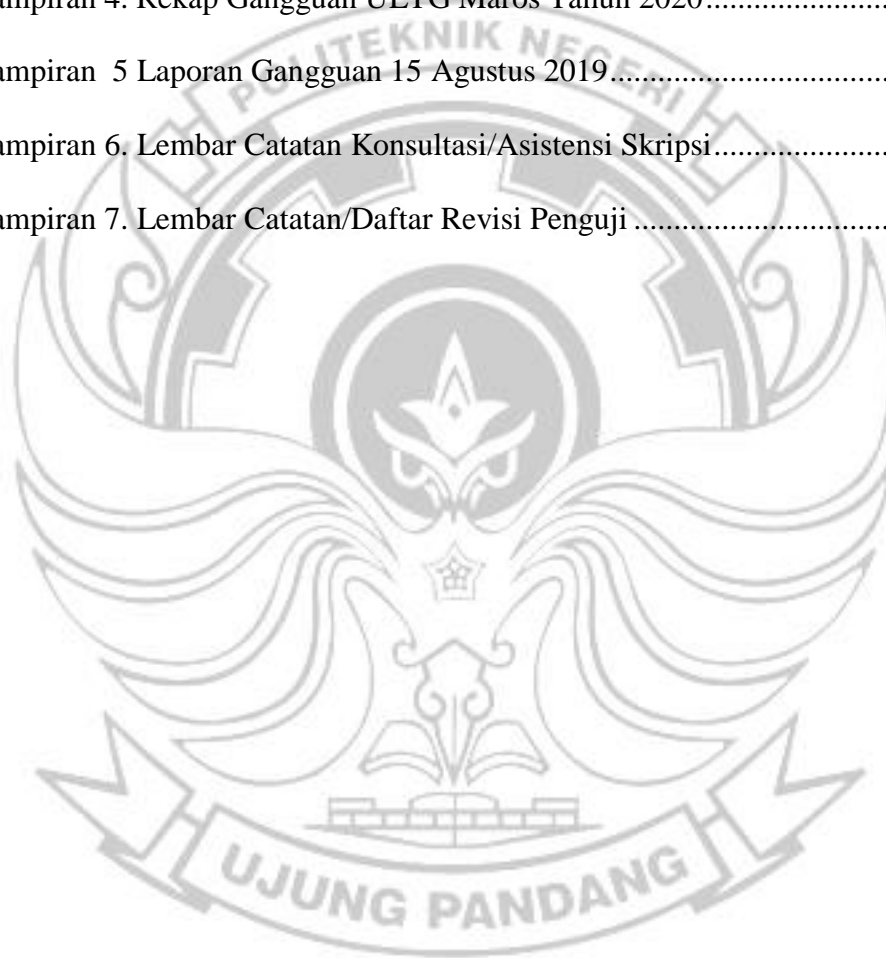
DAFTAR GAMBAR

| | hal. |
|---|------|
| Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik | 4 |
| Gambar 2.2 Arus Bolak Balik Mengelilingi Inti Besi | 7 |
| Gambar 2.3 Prinsip Kerja Transformator | 7 |
| Gambar 2.4 Zona Sistem Proteksi | 8 |
| Gambar 2.5 Kondisi Fasor Komponen Simetris | 15 |
| Gambar 2.6 Urutan Fasor Komponen Positif | 16 |
| Gambar 2.7 Urutan Fasor Komponen Negatif | 16 |
| Gambar 2.8 Urutan Fasor Komponen Urutan Nol | 17 |
| Gambar 2.9 Gangguan Pada Titik K | 18 |
| Gambar 2.10 Proteksi Transformator Tenaga | 19 |
| Gambar 2. 11 Proteksi Transformator Tenaga setelah Reposisi | 20 |
| Gambar 2.12 Daerah Kerja Proteksi Trafo Tenaga dengan Kondisi Normal | 21 |
| Gambar 2.13 Daerah Kerja Proteksi Trafo Tenaga dengan Kondisi Gangguan | 22 |
| Gambar 2.14 Relai Bucholz | 23 |
| Gambar 2.15 Relai Tekanan Lebih | 24 |
| Gambar 2.16 Relai Suhu | 24 |
| Gambar 2.17 Relai Jansen | 24 |
| Gambar 2.18 Pentanahan Langsung dan Pentanahan Melalui NGR | 26 |
| Gambar 2.19 Kurva Karakteristik <i>Standard Inverse</i> | 29 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2.20 Kurva Karakteristik <i>Very Inverse</i> | 30 |
| Gambar 2.21 Kurva Karakteristik <i>Extremely Inverse</i> | 31 |
| Gambar 2.22 Kurva Karakteristik <i>Long Time Inverse</i> | 32 |
| Gambar 2.23 Rangkaian Pengawatan Relai GFR..... | 34 |
| Gambar 2.24 Skema <i>Wiring Standby Earth Fault</i> (SBEF) | 35 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Penelitian | 39 |
| Gambar 4.1 Single Line Diagram GI Maros | 43 |
| Gambar 4.2 Rangkaian Impedansi Urutan Nol dan Positif/Negatif Trafo | 50 |
| Gambar 4.3 Rangkaian Ekuivalen Perhitungan Arus Hubung Singkat 1 Fasa di Bus 20 kV | 51 |
| Gambar 4.4 Pemodelan Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi SBEF dengan GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada Transformator..... | 56 |
| Gambar 4.5 Simulasi Gangguan Arus Hubung Singkat Fasa - Ground di sisi Penyulang (<i>Outgoing</i>)..... | 57 |
| Gambar 4.6 Tampilan Sequence Viewer..... | 58 |
| Gambar 4.7 Simulasi Gangguan Arus Hubung Singkat fasa - fasa di sisi Penyulang (<i>Outgoing</i>)..... | 60 |
| Gambar 4.8 Tampilan Sequence Viewer..... | 60 |
| Gambar 4.9 Grafik Perbandingan antara Hasil Simulasi dan Teori Relai SBEF | 62 |
| Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Frekuensi Gangguan Sebelum dan Setelah Penerapan Fungsi Dua Tahap di ULTG Maros..... | 63 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | hal. |
|--|------|
| Lampiran 1. Spesifikasi Transformator Distribusi #1 | 67 |
| Lampiran 2. Data Sistem Pentanahan Transformator Distribusi #1 | 67 |
| Lampiran 3. Rekap Gangguan ULTG Maros Tahun 2019 | 68 |
| Lampiran 4. Rekap Gangguan ULTG Maros Tahun 2020 | 68 |
| Lampiran 5 Laporan Gangguan 15 Agustus 2019 | 69 |
| Lampiran 6. Lembar Catatan Konsultasi/Asistensi Skripsi | 70 |
| Lampiran 7. Lembar Catatan/Daftar Revisi Penguji | 71 |



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfin Akram Dwi Amir

NIM : 421 18 003

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **Analisis Penerapan Fungsi Dua Tahap Pada Relai Proteksi *Standby Earth Fault (SBEF)* Transformator 30 MVA Gardu Induk Maros 150 kV** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 27 Juli 2022



Alfin Akram Dwi Amir
NIM 421 18 003

ANALISIS PENERAPAN FUNGSI DUA TAHAP PADA RELAI PROTEKSI *STANDBY EARTH FAULT* (SBEF) TRANSFORMATOR 30 MVA Gardu Induk Maros 150 kV

RINGKASAN

Masalah kegagalan sistem proteksi sangat berpengaruh terhadap keandalan dalam penyaluran energi listrik. Relai SBEF merupakan relai yang berfungsi untuk melindungi NGR di sisi netral sekunder transformator, relai ini bekerja dengan mentripkan PMT sisi 150 kV yang *interlock* dengan PMT sisi 20 kV apabila muncul arus di sisi netral sekunder trafo, tapi pada tahun 2020 untuk mendukung program *zero trip* PMT 150 kV, PLN menerapkan fungsi dua tahap relai SBEF guna memberi jeda ketika ada gangguan yang membuat relai SBEF bekerja dan akan mentripkan sisi 20 kV terlebih dahulu. Tujuan penelitian adalah menganalisis arus hubung singkat dari transformator 30 MVA di Gardu Induk Maros beserta *setting* dari relai SBEF, menganalisis koordinasi relai SBEF dan GFR (*Ground Fault Relay*) berdasarkan simulasi di aplikasi ETAP 16.0.0. Metode dalam penelitian ini berupa studi literatur, observasi dan wawancara sedangkan teknik analisis data menggunakan metode deskriptif kualitatif. Data yang digunakan adalah data teknis Gardu Induk Maros yang terdiri dari spesifikasi transformator, data impedansi sumber dan *setting* terbaru yaitu fungsi dua tahap SBEF. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa *setting* arus kerja SBEF sebesar 86,6 A untuk tahap satu dan tahap dua. Sedangkan TMS (*Time Multiple Second*) sebesar 0,097 untuk tahap satu dan 0,117 untuk tahap 2, dimana tahap 1 untuk mentripkan PMT sisi 20 kV (*Incoming*) sedangkan tahap 2 untuk mentripkan PMT sisi 150 kV. dan untuk simulasinya, GFR bekerja secara bertahap tergantung dari lokasi gangguannya yang dimulai dari GFR Penyulang, GFR *Incoming*, SBEF tahap satu dan SBEF tahap dua.

Keywords : SBEF, *setting* relai, koordinasi relai, ETAP

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem proteksi merupakan suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik dari gangguan seperti gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya (Azis, 2019). Sistem proteksi bekerja dengan cara mendeteksi kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik dan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem yang sehat, sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar sehingga sistem dapat terus berfungsi.

Zona proteksi transformator merupakan salah satu contoh sub sistem dari sistem proteksi. Pola proteksi transformator harus dapat mengamankan transformator dari gangguan *internal* maupun gangguan *external*. Untuk gangguan *internal*, transformator memiliki proteksi mekanik dan proteksi elektrik, sedangkan untuk gangguan *external* transformator hanya memiliki proteksi elektrik. Proteksi transformator tenaga umumnya menggunakan *Differential Relay* dan *Restricted Earth Fault* (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR). Relai proteksi *Standby Earth Fault* (SBEF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor dan fungsinya lebih mengamankan *Neutral Grounding Resistor* (NGR) (Makmur, 2019).

Umumnya, relai proteksi SBEF yang berfungsi sebagai pengaman NGR bekerja dengan memisahkan bagian transformator secara keseluruhan (memutus

PMT sisi 150 kV pada Transformator 150/20 kV) tetapi prinsip tersebut terkadang sangat merugikan karena biasanya penyebab gangguan berada di sisi beban (sisi 20 kV). Sehingga pada tahun 2020 untuk mendukung program *zero trip* PMT 150 kV, PLN menerapkan fungsi SBEF dua tahap guna memberi jeda ketika ada gangguan yang membuat relai SBEF bekerja dan akan mentripkan sisi 20 kV terlebih dahulu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan, maka dapat dirumuskan permasalahan seperti berikut :

1. Bagaimana menganalisis arus hubung singkat transformator dan *setting* relai SBEF?
2. Bagaimana melakukan simulasi koordinasi antara relai proteksi SBEF dengan relai GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada transformator menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Agar pembahasan terfokus dan tidak menyimpang, maka ruang lingkup skripsi ini hanya meliputi :

1. Perhitungan arus hubung singkat transformator dan *setting* relai SBEF.
2. Simulasi koordinasi antara relai proteksi SBEF dengan relai GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada transformator menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Adapun berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penulisan skripsi ini yaitu :

1. Menganalisis perhitungan arus hubung singkat transformator dan *setting* relai SBEF.
2. Menganalisis hasil simulasi koordinasi antara relai proteksi SBEF dengan relai GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada transformator menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0.

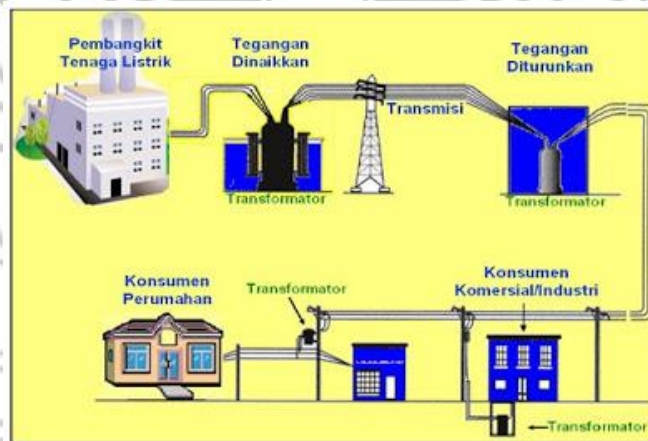
1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari penerapan fungsi dua tahap relai SBEF terhadap keandalan sistem proteksi unit layanan transmisi dan gardu induk (ULTG) Maros yang dilakukan dengan cara membandingkan jumlah gangguan fasa ke tanah yang menyebabkan transformator padam berdasarkan data gangguan ULTG Maros tahun 2019 dan 2020.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik merupakan kumpulan dari beberapa komponen sistem berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan atau terkoneksi dan bekerja sama dalam melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan (Suripto, 2016). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1 mengenai skema sistem tenaga listrik.



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik
(sumber: <https://gamasemesta/>)

Fungsi dari masing-masing komponen sistem secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pembangkitan adalah komponen sistem yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik. Pembangkit mengubah energi yang berasal dari sumber energi primer seperti air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan komponen sistem yang berfungsi untuk menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.

3. Distribusi merupakan komponen sistem yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.
4. Beban merupakan peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

Pada sebuah sistem tenaga listrik, tegangan kerja pada masing-masing komponen berbeda-beda sesuai dengan kepentingannya. Dengan kata lain, setiap komponen pada sistem tenaga listrik memiliki level tegangan yang berbeda-beda.

Pada sistem pembangkitan, tegangan kerja disesuaikan dari spesifikasi generator pembangkit yang digunakan, berkisar antara 11 sampai dengan 24 kV. Untuk pembangkit dengan kapasitas lebih besar biasanya menggunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini dimaksudkan agar arus yang mengalir tidak terlalu besar karena dengan kapasitas daya tertentu, tegangan berbanding terbalik dengan besar arus yang mengalir. Level tegangan pada sistem pembangkit biasanya tidak terlalu tinggi, karena semakin tinggi tegangan generasinya, maka jumlah lilitan generator harus lebih banyak. Lilitan yang banyak mengakibatkan generator menjadi lebih besar dan lebih berat sehingga memiliki nilai efisiensi yang rendah (Suripto, 2016).

Pada saluran transmisi, digunakan level tegangan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena fungsi utama dari saluran transmisi adalah menyalurkan daya, sehingga yang diutamakan adalah sistem mampu menyalurkan daya dengan nilai efisiensi yang tinggi atau rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang kecil. Upaya yang dilakukan ialah mempertinggi level tegangan pada jaringan transmisi agar arus yang mengalir lebih kecil. Level tegangan pada saluran transmisi lebih tinggi

dibandingkan dengan tegangan yang dihasilkan generator pembangkit. Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 sampai dengan 500 kV. Untuk menaikkan level tegangan pembangkit ke level tegangan saluran transmisi diperlukan transformator daya sebagai penaik tegangan (Suripto, 2016).

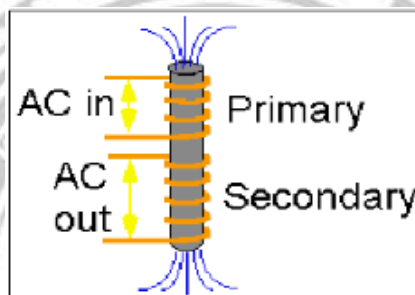
Pada jaringan distribusi digunakan tegangan yang lebih rendah dari tegangan saluran transmisi. Hal ini dikarenakan daya yang didistribusikan pada setiap jaringan distribusi relatif lebih kecil dibanding dengan daya yang disalurkan pada saluran transmisi. Hal ini juga bertujuan untuk menyesuaikan dengan tegangan pelanggan atau pengguna energi listrik. Level tegangan dari jaringan distribusi yang sering digunakan yaitu 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220/380 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR). Dengan demikian dibutuhkan gardu induk dengan trafo penurun tegangan untuk menurunkan tegangan dari saluran transmisi ke tegangan distribusi 20 kV. Dibutuhkan juga trafo distribusi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV ke 220/380V sesuai tegangan pelanggan (Suripto, 2016).

Level tegangan beban atau pelanggan menyesuaikan dari jenis bebannya. Beban industri biasanya membutuhkan daya yang relatif besar sehingga menggunakan tegangan menengah 20 kV. Untuk beban rumah tangga dengan daya yang relatif kecil, biasanya menggunakan tegangan rendah 220/380 V (Suripto, 2016).

2.2 Transformator

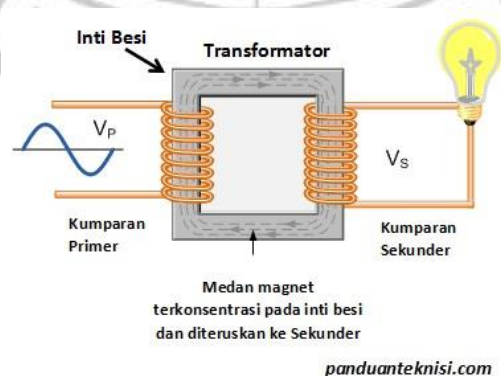
Transformator berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sistem, digunakan trafo daya di gardu induk. Di ujung pembangkit, tegangan hanya

dinaikkan untuk transmisi daya sementara di semua gardu induk berikutnya tegangan diturunkan secara bertahap untuk akhirnya mencapai tingkat tegangan kerja (Bakshi, 2020). Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet (gambar 2.2). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2 mengenai arus bolak balik mengelilingi inti besi.



Gambar 2.2 Arus Bolak Balik Mengelilingi Inti Besi
Sumber : Sinuhaji. 2012

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga didalam inti besi akan mengalir flux magnet (Gambar 2.3). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3 mengenai prinsip kerja transformator.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Transformator
(sumber: <https://fajarpendidikan.co.id/>)

2.3 Sistem Proteksi

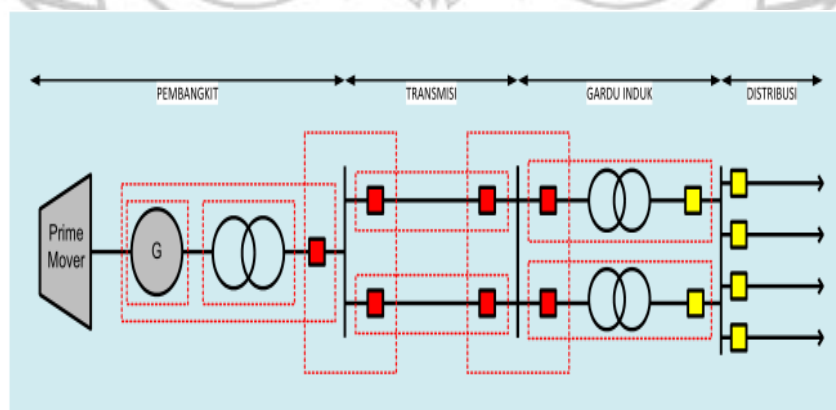
Sistem proteksi merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu instalasi tenaga listrik, selain untuk melindungi peralatan utama bila terjadi gangguan hubung singkat, sistem proteksi juga harus dapat mengamankan daerah yang terganggu dan memisahkan daerah yang tidak terganggu, sehingga gangguan tidak meluas dan kerugian yang timbul akibat gangguan tersebut dapat diminimalisasi.

Perlindungan sistem kelistrikan tidak hanya harus aman dalam semua kondisi layanan, tetapi juga harus selektif untuk memastikan kontinuitas layanan (Guyer, 2020).

Sistem proteksi terdiri dari :

- 1) Proteksi Pembangkit
- 2) Proteksi Transmisi
- 3) Proteksi Gardu Induk
- 4) Proteksi Distribusi

Pada Gambar 2.4 diperlihatkan gambaran umum zona sistem proteksi.



Gambar 2.4 Zona Sistem Proteksi

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

2.4 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

2.4.1 Faktor-Faktor Penyebab Gangguan

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen dan sangat kompleks. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut :

- 1) Faktor manusia, ini menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya salah menyambung rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.
- 2) Faktor *internal*, ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai (ketuaan), keausan, dan sebagainya.
- 3) Faktor *external*, ini meliputi gangguan-gangguan yang berasal dari lingkungan di sekitar sistem. Gangguan eksternal berarti gangguan yang terjadi di luar zona proteksi transformator dan ketidaknormalan lainnya yang dibagi lagi menjadi kondisi kelebihan beban, tegangan lebih, frekuensi rendah, dan lonjakan magnetisasi (Patel, 2020).

2.4.2 Jenis Gangguan

Jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya, jenis gangguan dapat dikelompokkan sebagai tegangan lebih dan hubung singkat.

1) Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Tegangan lebih merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena kondisi *external* dan *internal*. Kondisi *internal* terutama karena isolasi

akibat perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian atau karena resonansi. Misalnya operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang mendadak, operasi pelepasan pemutus tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan sebagainya. Kondisi *external* terutama akibat adanya sambaran petir. Petir terjadi disebabkan oleh terkumpulnya muatan listrik, yang mengakibatkan bertemunya muatan positif dan negatif. Pertemuan ini berakibat terjadinya beda tegangan antara awan bermuatan positif dengan muatan negatif, atau awan bermuatan positif atau negatif dengan tanah. Bila beda tegangan ini cukup tinggi maka akan terjadi loncatan muatan listrik dari awan ke awan atau dari awan ke tanah.

2) Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Meskipun semua komponen peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara, gas, dan sebagainya. Namun karena usia pemakaian, keausan, tekanan mekanis, dan sebab-sebab lainnya, maka kekuatan isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini akan mudah menimbulkan hubung singkat. Gangguan hubung singkat terdiri dari 5 jenis, yaitu gangguan hubung singkat 2 fasa, hubung singkat 3 fasa, hubung singkat

1 phasa ke tanah, hubung singkat 2 phasa ke tanah, dan hubung singkat 3 phasa ke tanah.

Berikut ini persamaan untuk menghitung arus gangguan hubung singkat 1 phasa ke tanah.

$$Z_{s1} = R_1 + X_1 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$Z_{s2} = R_2 + X_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Z_{s0} = R_0 + X_0 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$Z_1 = Z_{s1} + j.X_{tp1} + j.X_{ts1} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$Z_2 = Z_{s2} + j.X_{tp2} + j.X_{ts2} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Z_0 = \left\{ \frac{(Z_{s0} + j.X_{tp0}) \times j.X_{tt0}}{(Z_{s0} + j.X_{tp0}) + j.X_{tt0}} \right\} + j.X_{ts0} + R_{NGR} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I_{f1\phi 20} = \frac{3}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \times I_{base} LV \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana,

R₁ : Tahanan impedansi sumber urutan positif (pu)

X₁ : Reaktansi impedansi sumber urutan positif (pu)

R₂ : Tahanan impedansi sumber urutan negatif (pu)

X₂ : Reaktansi impedansi sumber urutan negatif (pu)

R₀ : Tahanan impedansi sumber urutan nol (pu)

X₀ : Reaktansi impedansi sumber urutan nol (pu)

Z_{s1} : Impedansi sumber urutan positif (pu)

Z_{s2} : Impedansi sumber urutan negatif (pu)

Z_{s0} : Impedansi sumber urutan nol (pu)

X_{tp1}, X_{ts1}, X_{tt1} : Impedansi transformator urutan positif (pu)

$X_{tp2}, X_{ts2}, X_{tt2}$: Impedansi transformator urutan negatif (pu)

$X_{tp0}, X_{ts0}, X_{tt0}$: Impedansi transformator urutan nol (pu)

Z_1 : Impedansi total urutan positif (pu)

Z_2 : Impedansi total urutan negatif (pu)

Z_0 : Impedansi total urutan nol (pu)

R_{NGR} : Tahanan *neutral grounding resistance* (pu)

I_b LV : Arus dasar *low voltage* (A)

$I_{f1\phi 20}$: Arus hubung singkat 1 phasa sisi 20 kV (A)

2.5 Komponen Simetris

2.5.1 Besaran Per Unit

Pada daya yang besar, saluran transmisi biasanya dioperasikan pada tegangan beberapa ratus ribu volt atau beberapa ratus kilovolt (kV). Dayanya beberapa juta watt, volt-ampere, atau VAR atau biasa disebut dengan satuan MW, MVA atau MVAR. Arusnya biasanya beberapa ribu ampere atau kiloampere (kA). Para insinyur sistem tenaga biasanya menyatakan tegangan, arus, dan daya dalam persen atau per-unit (pu). Besaran per-unit adalah rasio antara besaran sebenarnya terhadap besaran dasar. Secara historis, ini dilakukan untuk menyederhanakan perhitungan numerik yang dibuat dengan tangan. Meskipun keuntungan ini telah dihilangkan dengan menggunakan komputer, keuntungan lain tetap ada : (Grigsby, 2017)

- Parameter perangkat cenderung jatuh ke dalam kisaran yang relatif sempit, membuat nilai yang salah menjadi mencolok.

- metode didefinisikan untuk menghilangkan transformator ideal sebagai komponen rangkaian.
- tegangan yang melalui sistem tenaga biasanya mendekati kesatuan

Berikut ini persamaan untuk menghitung nilai *base*.

$$Z_b \text{ HV} = \frac{V_{hv}^2}{S_b} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Z_b \text{ LV} = \frac{V_{lv}^2}{S_b} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$I_b \text{ HV} = \frac{S}{V_{hv} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$I_b \text{ LV} = \frac{S}{V_{lv} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$X_{t1} = \frac{S_b}{S} \times X_{t\%} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana,

$Z_b \text{ HV}$: Impedansi dasar *high voltage* (pu)

$Z_b \text{ LV}$: Impedansi dasar *low voltage* (pu)

$I_b \text{ HV}$: Arus dasar *high voltage* (A)

$I_b \text{ LV}$: Arus dasar *low voltage* (A)

2.5.2 Analisa Hubung Singkat

Sistem tenaga yang besar, dengan wilayah yang luas, sangat rentan dengan kemungkinan terjadinya kerusakan peralatan akibat suatu gangguan hubung singkat, baik yang bersifat temporer, seperti penghantar udara terkena ranting patah atau layang-layang. Juga yang bersifat permanen seperti kawat penghantar yang putus atau juga petir dan proses *switching* (manuver jaringan) yang

menimbulkan tegangan berlebih yang bisa menyebabkan terjadinya *flashover* pada isolator.

Banyaknya kemungkinan gangguan hubung singkat yang mungkin mengakibatkan kerusakan pada peralatan, maka perlu dilakukan analisa hubung singkat dengan tujuan sebagai berikut :

- 1) Untuk menentukan kemampuan memutus (*breaking capacity*) dari suatu pengaman (*Circuit Breaker*).
- 2) Untuk menentukan *setting* relai proteksi yang harus dipasang agar peralatan pengaman tersebut bekerja secara optimal.

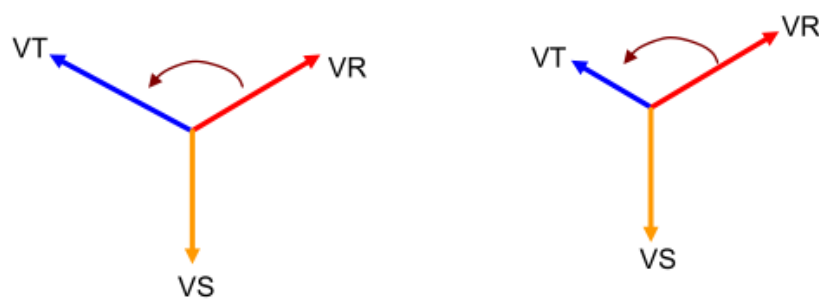
Gangguan tidak simetris pada saluran transmisi tiga fasa dapat disebabkan oleh hubung singkat, perbedaan impedansi akibat pembebanan yang tidak sama, dan penghantar terbuka (*open circuit*). Untuk melakukan analisis dalam rangkaian tiga fasa yang tidak seimbang dapat dilakukan dengan menggunakan metoda komponen simetris.

Teori komponen simetris pertama kali diperkenalkan pada tahun 1918 oleh ilmuwan Amerika yang bernama CL Fortescue. Setelah dilakukan berbagai pengkajian dan penyelidikan serta uji coba, maka beberapa tahun metoda komponen simetris menjadi populer dan hingga saat ini banyak digunakan oleh para insinyur untuk melakukan berbagai perhitungan dan analisa gangguan.

Dasar pemahaman dalam metoda komponen simetris adalah bagaimana suatu sistem yang tidak seimbang pada rangkaian tiga fasa dapat diuraikan menjadi fasor-fasor yang seimbang. Himpunan fasor-fasor inilah yang disebut komponen simetris.

2.5.3 Pengertian Fasor Komponen Simetris

Pada jaringan tiga fasa seimbang fasor urutan fasa mempunyai besaran yang sama dengan pergeseran sudut fasor sebesar 120° , dimana urutan fasanya berlawanan arah jarum jam mengikuti urutan fasa pada generator (Gambar 2.5 kondisi fasor komponen simetris.a). Jika terjadi hubung singkat, misalkan pada fasa-T, maka fasor tegangan menjadi tidak seimbang lagi, dimana besaran fasa-T menjadi lebih kecil, sedangkan fasa lainnya (VR & VS) dimungkinkan menjadi lebih besar dari sebelumnya (Gambar 2.5.b)



(a) Kondisi Seimbang

(b) Kondisi Gangguan pada Fasa T

Gambar 2.5 Kondisi Fasor Komponen Simetris

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

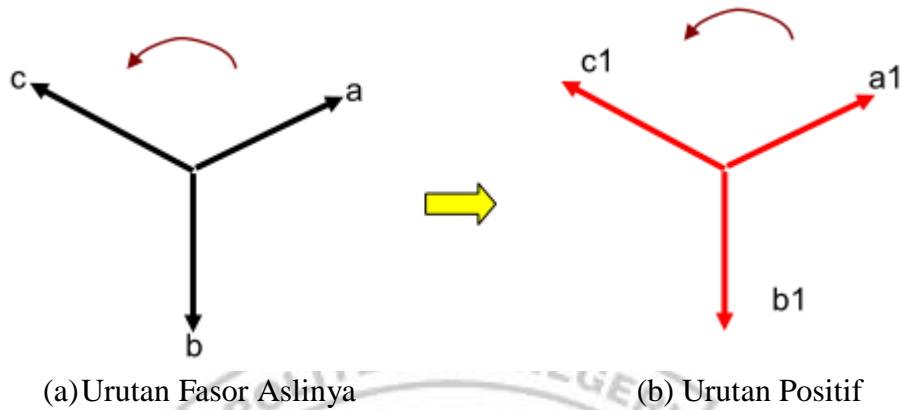
Menurut teori komponen simetris, fasor -fasor pada jaringan tiga fasa yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi 3 fasor yang seimbang, yaitu :

1) Komponen urutan positif

Sifat-sifat :

- Terdiri dari 3 fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 1 : a1, b1 dan c1.
- Beda sudut antar fasor adalah 120° .
- Mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya, yaitu berlawanan dengan arah jarum jam.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6.

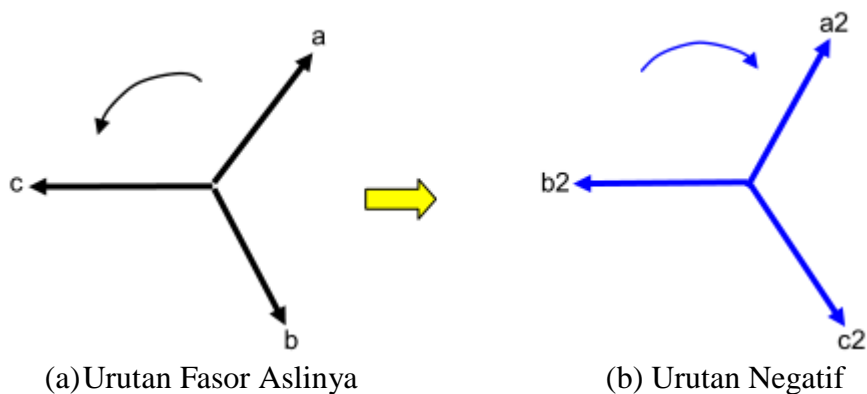


Gambar 2.6 Urutan Fasor Komponen Positif
Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

2) Komponen urutan negatif

Sifat-sifat :

- a) Terdiri dari tiga fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 2 : a_2 , b_2 dan c_2 .
- b) Beda sudut antar fasor adalah 120° .
- c) Mempunyai urutan fasa yang berlawanan arah dengan fasor aslinya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7.

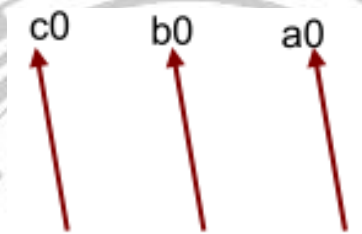


Gambar 2.7 Urutan Fasor Komponen Negatif
Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

3) Komponen urutan nol

Sifat-sifat :

- a) Terdiri dari 3 fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 0 : a_0 , b_0 dan c_0
- b) Antara fasor satu dengan fasor lainnya tidak terdapat perbedaan sudut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Urutan Fasor Komponen Urutan Nol
Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

2.6 Persyaratan Relai Proteksi

Syarat-syarat agar peralatan relai pengaman dapat dikatakan bekerja dengan baik dan benar adalah:

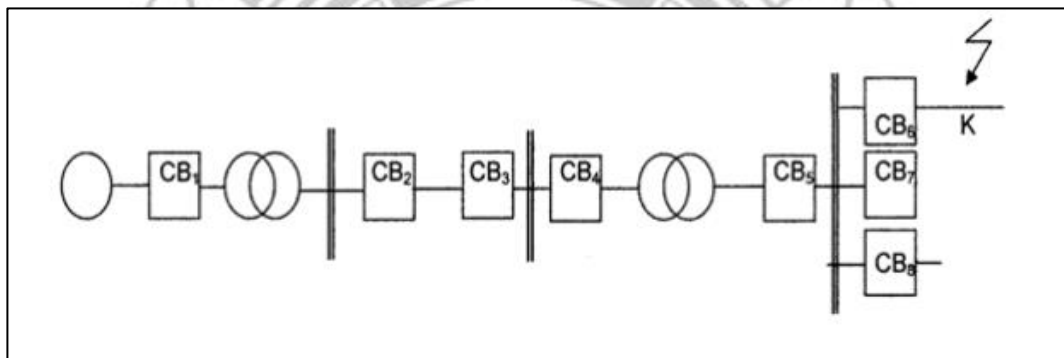
2.6.1 Cepat

Relai harus cepat bereaksi/bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari relai adalah saat relai mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan *circuit breaker* (CB) karena komando dari relai tersebut.

Waktu bereaksi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan / kerja abnormal.

2.6.2 Selektif

Selektif di sini adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, dimana hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi, maka relai pengamanan harus mempunyai kemampuan selektif yang baik. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.9 tentang gangguan pada titik K.



Gambar 2.9 Gangguan Pada Titik K
Sumber : Proteksi sistem tenaga listrik. 2017

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.

2.6.3 Sensitif

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

2.6.4 Andal

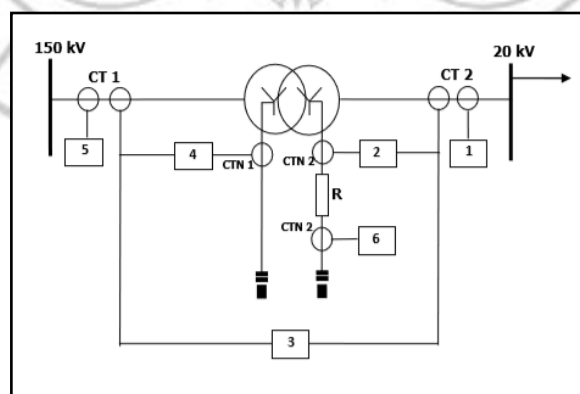
Keandalan relai dihitung dengan jumlah relai bekerja/mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relai dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % - 99%. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 X dan relai dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 X, maka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

Keandalan relai = $23/25 \times 100 \% = 92 \%$. Keandalan dapat dibagi 2 :

- 1) *Dependability* : relai harus dapat diandalkan setiap saat.
- 2) *Security* : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

2.7 Proteksi Transformator Tenaga

Untuk memperoleh efektivitas, dan efisiensi dalam menentukan sistem proteksi trafo tenaga, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan prediksi gangguan yang akan terjadi yang mengancam ketahanan trafo itu sendiri. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.10 mengenai gambaran umum proteksi transformator tenaga.



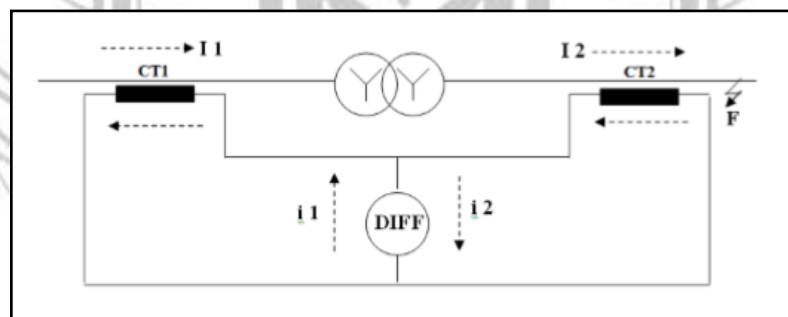
Gambar 2.10 Proteksi Transformator Tenaga

Sumber : Buku Diklat Relai Proteksi Trafo Tenaga dan Daerah Kerjanya

2) Sebagai pengaman cadangan OCR/GFR *Incoming* (bila terjadi gangguan di bus 20 kV tetapi OCR/GFR *Incoming* tidak bekerja).

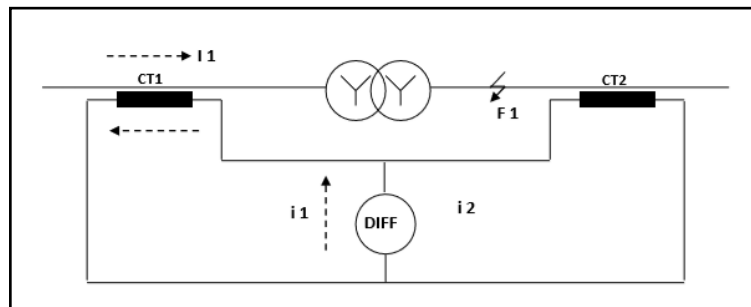
Relai nomor dua dan empat adalah relai REF (*Restricted Earth Fault*) yang fungsinya adalah sebagai pengaman utama untuk mendeteksi gangguan hubung tanah pada daerah/sebagian kumparan yang tidak dapat dideteksi oleh relai *Differential*.

Relai nomor tiga adalah relai *Differential* yang fungsinya adalah sebagai pengaman utama untuk mendeteksi gangguan hubung singkat yang terjadi pada transformator di antara CT 1 & CT 2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.12 mengenai daerah kerja proteksi trafo tenaga dengan kondisi normal.



Gambar 2.12 Daerah Kerja Proteksi Trafo Tenaga dengan Kondisi Normal
Sumber : Buku Diklat Relai Proteksi Trafo Tenaga dan Daerah Kerjanya

Kondisi normal, atau gangguan di F, maka kondisi arus di relai *Differential* adalah $I_{diff} = i_1 - i_2$ dan $i_1 = i_2$ sehingga $I_{diff} = 0$, maka relai *Differential* tidak akan bekerja. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.13 mengenai daerah kerja proteksi trafo tenaga dengan kondisi gangguan.



Gambar 2.13 Daerah Kerja Proteksi Trafo Tenaga dengan Kondisi Gangguan
 Sumber : Buku Diklat Relai Proteksi Trafo Tenaga dan Daerah Kerjanya

Kondisi gangguan di F1, maka kondisi arus di relai *Differential* adalah $I_{diff} = i_1 - i_2$ dan $i_2 = 0$, sehingga $I_{diff} = i_1$, maka relai *Differential* akan bekerja.

Syarat suatu proteksi *Differential* adalah :

- 1) Besarnya arus yang masuk ke relai *Differential* harus sama.
- 2) Fasa – fasa arus yang masuk ke relai *Differential* harus sama dan punya arah yang berlawanan.

Agar syarat tersebut terpenuhi, dapat dipergunakan trafo arus bantu (*auxiliary CT*) yang berfungsi untuk :

- 1) Mencocokkan arus yang masuk ke relai *Differential* dari masing-masing sisi (disebut penyesuaian arus).
- 2) Mencocokkan pergeseran fasa dari arus-arus yang akan masuk ke relai *Differential* (disebut penyesuaian fasa).

Relai nomor enam adalah relai SBEF (*Standby Earth Fault*) yang fungsinya adalah untuk mendeteksi gangguan fasa – tanah. Untuk mengetahui *setting* relai elektrik transformator, terlebih dahulu menghitung arus nominal dan Impedansinya menggunakan persamaan berikut.

$$I_n \text{ HV} = \frac{S}{V_{hv} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$I_n \text{ LV} = \frac{S}{V_{lv} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$Z_{hv} = \frac{X_t \times V_{hv}^2}{S \times 100} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Z_{lv} = \frac{X_t \times V_{lv}^2}{S \times 100} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana,

$I_n \text{ HV}$ = Arus nominal *high voltage* (A)

$I_n \text{ LV}$ = Arus nominal *low voltage* (A)

Z_{hv} = Impedansi *high voltage* (Ω)

Z_{lv} = Impedansi *low voltage* (Ω)

Relai nomor 1 sampai 6 di atas adalah relai proteksi adalah jenis proteksi elektrik, sedangkan yang jenis proteksi mekanik adalah sbb :

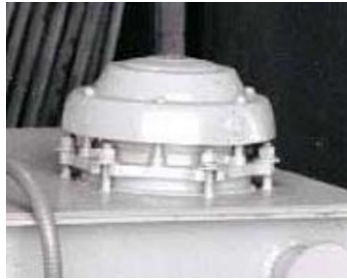
- 1) *Bucholz* : Mendeteksi adanya gas yang timbul dalam tangki utama trafo (fungsi alarm dan trip). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Relai Bucholz

Sumber : Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga

- 2) Tekanan Lebih (*Sudden Pressure*) : Mendeteksi gangguan yang ditimbulkan adanya tekanan lebih (fungsi trip). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Relai Tekanan Lebih

Sumber : Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga

- 3) Temperatur (Suhu) : Mendeteksi temperatur minyak dan temperatur kumparan trafo (fungsi alarm dan trip). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Relai Suhu

Sumber : Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga

- 4) Jansen (*Bucholz Tap Changer*) : Mendeteksi adanya gas yang timbul dalam tangki OLTC (*Tap Changer*) trafo (fungsi alarm dan trip). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Relai Jansen

Sumber : Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga

2.8 Neutral Grounding Resistor

Salah satu metode pentanahan adalah dengan menggunakan *Neutral Grounding Resistor* (NGR). NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada trafo sebelum terhubung ke *ground*/tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah. Berikut ini pada persamaan 2.17 rumus untuk menghitung arus nominal NGR.

$$I_n \text{ NGR} = \frac{V_{lv}}{\sqrt{3} \times R_s} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana,

V_{lv} = Tegangan *low voltage* transformator (kV)

R_s = Resistansi/ tahanan pentanahan sekunder transformator (Ω)

Ada dua jenis NGR yaitu :

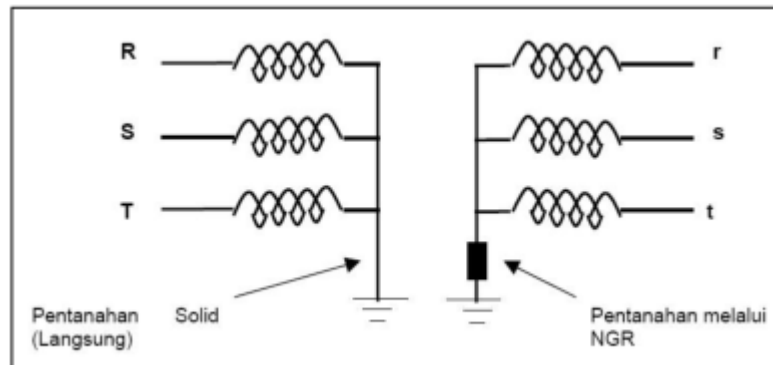
- 1) Liquid

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung di dalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

- 2) Solid

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Copper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanannya.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.18 mengenai perbedaan pentanahan langsung (solid) dan pentanahan melalui NGR.



Gambar 2.18 Pentanahan Langsung dan Pentanahan Melalui NGR
 Sumber : Buku Pedoman Transformator Tenaga PT. PLN Persero

Sistem pentanahan transformator akan mempengaruhi besar arus gangguan hubung singkat fase – tanah di sisi tegangan rendah transformator, sehingga *setting* arus kerja dari GFR dan SBEF akan bervariasi, tergantung dari jenis pentanahan transformator.

Besar nilai *setting* GFR dan SBEF dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Besar Nilai *Setting* GFR dan SBEF

| Nominal NGR | GFR LV | | SBEF | |
|----------------|--------------------|---|------------------------|--|
| | Iset | TMS | Iset | TMS |
| 500 Ω | - | - | 0,4* In NGR | $\geq 30\%$ (LTI) ketahanan termis NGR |
| 62 Ω | (0,3 - 0,4)* In | 1 detik (SI) pada hubung singkat LV | (0,3 - 0,4)* In NGR | $\geq 30\%$ (LTI) ketahanan termis NGR |

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

| Nominal NGR | GFR LV | | SBEF | |
|----------------|-----------------------------|---|------------------------|--|
| | Iset | TMS | Iset | TMS |
| 40 Ω | (0,2 - 0,4)* In | 1 detik (SI) pada hubung singkat LV | (0,3 - 0,4)* In NGR | $\geq 50\%$ (LTI) ketahanan termis NGR |
| 12 Ω | (0,2 - 0,3)* In | 1 detik (SI) pada hubung singkat LV | (0,1 - 0,2)* In NGR | $\geq 50\%$ (LTI) ketahanan termis NGR |
| Langsung | 0,4* In | 1 detik (SI) pada hubung singkat LV | - | - |
| | I <i>highset</i> : 3* In | 500 ms (<i>definite</i>) | - | - |

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

2.9 Karakteristik Relai

Waktu pemutusan gangguan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan suatu skema proteksi. Hal ini dikarenakan suatu peralatan proteksi harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan proteksi yang lain agar hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan saja yang bekerja. Waktu pemutusan suatu peralatan proteksi berkaitan erat dengan karakteristik dari peralatan proteksi tersebut (Andikapati, 2019).

2.9.1 Instantaneous

Relai ini akan memberi perintah kepada PMT, pada saat terjadi gangguan bila arus gangguan besarnya melampaui penyetelannya dan jangka waktu kerja

relai mulai *pick-up* sampai kerja relai sangat singkat tanpa penundaan waktu yaitu 20 – 60 ms.

2.9.2 *Definite Time*

Relai ini akan memberi perintah kepada PMT pada saat terjadi gangguan bila besarnya arus gangguan melampaui penyetelannya, dan jangka waktu kerja relai mulai *pick-up* sampai kerja relai waktunya ditunda dengan harga tertentu tidak dipengaruhi oleh besarnya arus gangguan.

2.9.3 *Inverse*

Relai ini akan memberi perintah kepada PMT, pada saat terjadi gangguan bila besarnya arus gangguan melampaui penyetelannya, dan jangka waktu kerja relai mulai *pick-up* sampai kerja relai waktu tundanya berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Terdapat 4 macam relai *Inverse* yaitu :

1) *Standard Inverse (SI)*

Standard Inverse adalah karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang standar. Rumus karakteristik relai *standard inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.18 berikut.

$$SI = \frac{Tms \times 0,14}{\left(\frac{If}{Iset}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (2.18)$$

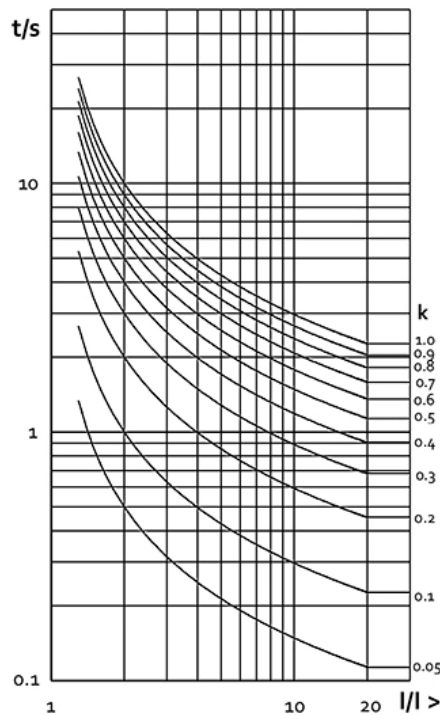
Dimana,

Tms : *Time Multiple Second*

If : Arus hubung singkat (arus gangguan) (A)

Is : Arus kerja (arus *setting*) (A)

Untuk lebih jelasnya mengenai *standard inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19 Kurva Karakteristik *Standard Inverse*
 Sumber : Asrida. 2020

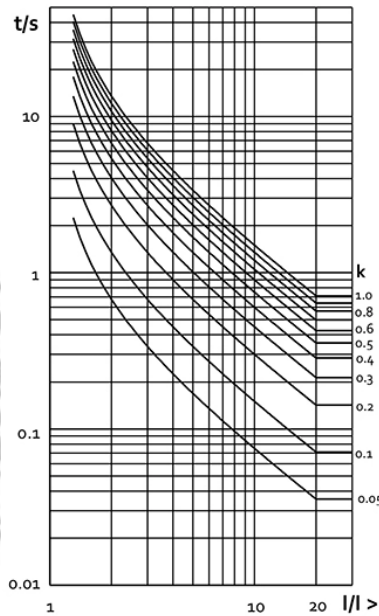
Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relai dan pada sumbu X menunjukkan hasil bagi dari arus gangguan dan arus *setting*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relai.

2) *Very Inverse* (VI)

Very Inverse merupakan karakteristik yang menunjukkan, perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih tinggi dari *standar Inverse*. Rumus karakteristik relai *very inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.19 berikut.

$$VI = \frac{T_{ms} \times 1,35}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{-1}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Untuk lebih jelasnya mengenai *very inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.20 berikut.



Gambar 2.20 Kurva Karakteristik *Very Inverse*
Sumber : Asrida. 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relai dan pada sumbu X menunjukkan hasil bagi dari arus gangguan dan arus *setting*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relai. Dengan kurva yang lebih tajam dibanding *standard inverse*.

3) *Extremely Inverse* (EI)

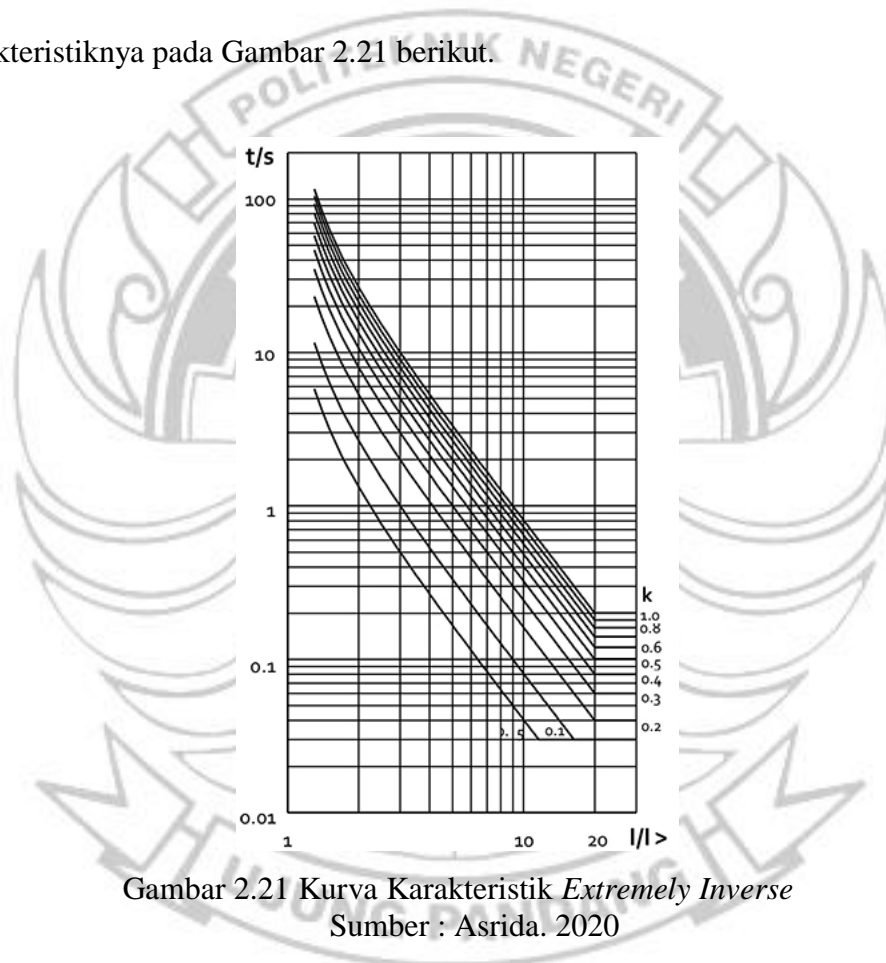
Extremely Inverse adalah karakteristik yang menunjukkan, perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih cepat/tinggi dari *standard* dan *very inverse*.

Rumus karakteristik relai *extremely inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.20 berikut.

$$EI = \frac{Tms \times 80}{\frac{I_f^2}{I_{set}^2} - 1} \dots\dots\dots$$

(2.20)

Untuk lebih jelasnya mengenai *extremely inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.21 berikut.



Gambar 2.21 Kurva Karakteristik *Extremely Inverse*
Sumber : Asrida. 2020

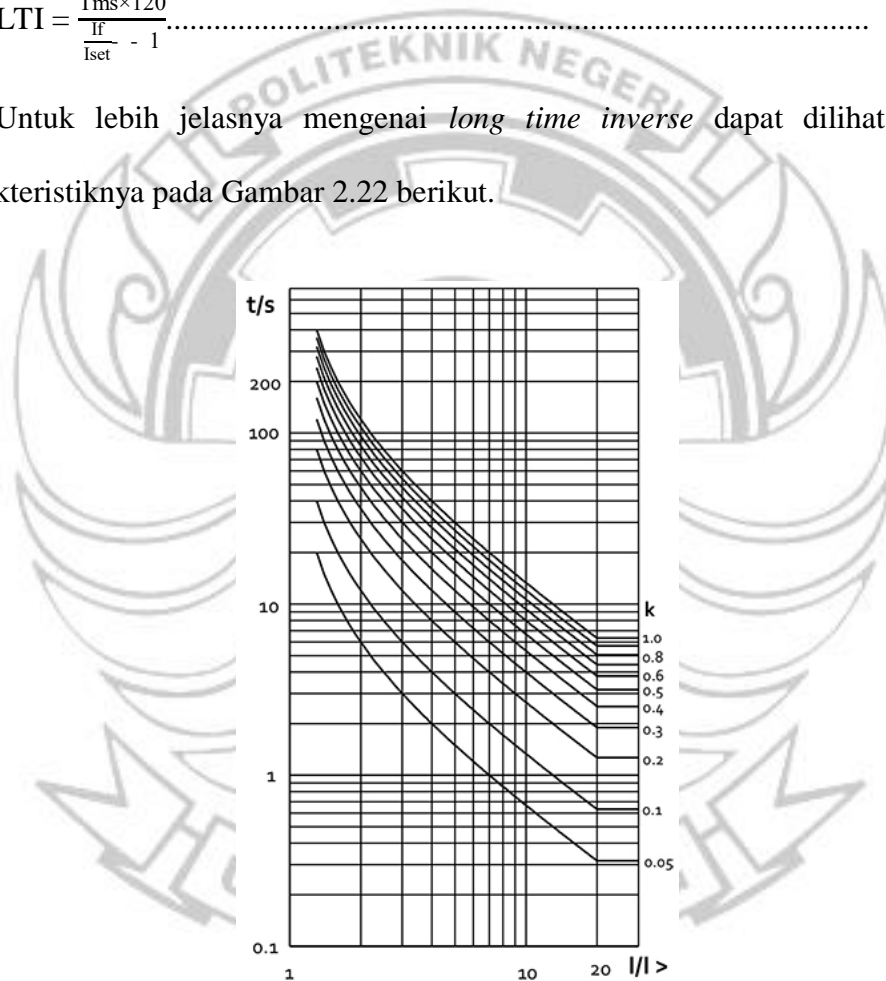
Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relai dan pada sumbu X menunjukkan hasil bagi dari arus gangguan dan arus *setting*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relai. Dengan kurva yang lebih tajam dibanding *very inverse*.

4) *Long Time Inverse* (LTI)

Long Time Inverse merupakan karakteristik yang menunjukkan, perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih lambat/ rendah diantara karakteristik yang lain. Rumus karakteristik relai *long time inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.21 berikut.

$$LTI = \frac{T_{ms} \times 120}{\frac{I_f}{I_{set}} - 1} \dots \dots \dots (2.21)$$

Untuk lebih jelasnya mengenai *long time inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.22 berikut.



Gambar 2.22 Kurva Karakteristik *Long Time Inverse*
Sumber : Asrida. 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relai dan pada sumbu X menunjukkan hasil bagi dari arus gangguan dan arus *setting*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa

semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relai, tetapi memiliki waktu tunda kerja relai yang lebih lambat/ rendah diantara karakteristik yang lain.

2.10 Relai OCR

Relai OCR adalah relai yang beroperasi atau *pick up* ketika arusnya melebihi nilai yang telah ditentukan (Anderson, 2022).

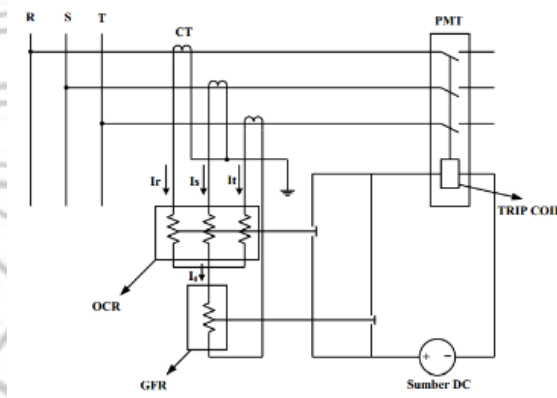
Relai arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relai ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan. Pada transformator tenaga, OCR hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan (back up protection) untuk gangguan *external* atau sebagai back up bagi *outgoing* feeder. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja, atau pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi dimana relai terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis *definite time* ataupun *Inverse time* dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.

OCR Sebagai pengaman Transformator tenaga dan SUTT bertujuan untuk

- a) Mencegah kerusakan Transformator tenaga atau SUTT dari gangguan hubung singkat.
- b) Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
- c) Hanya bekerja bila pengaman utama Transformator tenaga atau SUTT tidak bekerja.

2.11 Relai GFR

Relai hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*). Relai hubung tanah adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Relai gangguan tanah akan efektif apabila digunakan pada sistem tenaga listrik untuk pentanahan netral langsung atau dengan pentanahan netral dengan tahanan rendah. Relai hubung tanah pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relai arus lebih namun berbeda dalam kegunaannya. Bila relai OCR mendeteksi adanya hubung singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.23 mengenai Rangkaian Pengawatan relai GFR.

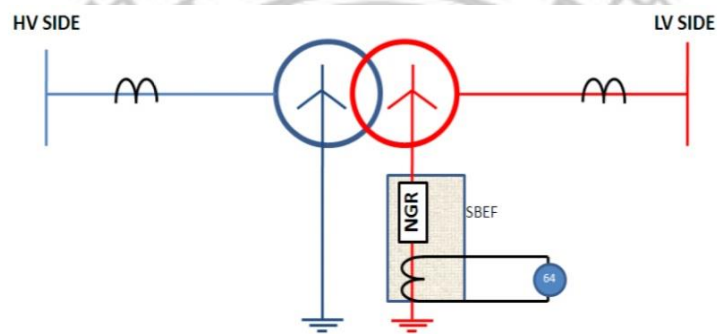


Gambar 2.23 Rangkaian Pengawatan Relai GFR
Sumber : Sarimun. 2016

2.12 Relai SBEF

Filosofi relai ini adalah untuk mengamankan NGR dari kerusakan akibat panas. Panas bisa dihasilkan karena arus hubung singkat atau arus urutan nol yang mengalir ke titik netral transformator secara terus menerus (*continue*).

Prinsip kerja relai ini sama dengan relai gangguan ke tanah (GFR) dan dipasang hanya untuk pentanahan yang bukan pentanahan langsung. Karena terdapat berbagai nilai dari resistansi pentanahan titik netral maka *settingnya* pun harus mempertimbangkan nominal dan ketahanan termis dari resistansi pentanahan itu sendiri, sehingga karakteristik waktu relai ini menjadi sangat penting. Adapun karakteristik waktu kerja SBEF adalah kurva landai (*long time inverse*). skema *wiring* SBEF dapat dilihat pada Gambar 2.24 berikut.



Gambar 2.24 Skema *Wiring Standby Earth Fault (SBEF)*
 Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

Penyetelan relai SBEF ini mempertimbangkan faktor – faktor sebagai berikut:

- 1) Pola pentanahan netral trafo;
- 2) Ketahanan termis tahanan netral trafo (NGR);
- 3) Ketahanan pelindung kabel disisi NGR (khususnya pada sistem dengan netral yang ditanahkan langsung atau dengan NGR tahanan rendah);
- 4) Sensitivitas relai terhadap gangguan tanah;
- 5) Pengaruh konfigurasi belitan trafo (dilengkapi dengan belitan delta atau tidak).

Untuk pemilihan waktu dan karakteristik SBEF dengan memperhatikan ketahanan termis NGR. Karena arus yang mengalir ke NGR sudah dibatasi oleh resistansi terpasang pada NGR itu sendiri. Karena nilai arus yang flat, maka pemilihan karakteristik waktu disarankan menggunakan *definite* atau *long time inverse*.

Untuk menghitung *setting* dari relai SBEF harus berdasarkan besar tahanan sisi sekunder trafo pada tabel 2.1. dan untuk mengetahui waktu tunda dan tms dari relai SBEF fungsi 2 tahap dapat dilihat pada persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 berikut.

$$ts = 0,5 \times t \text{ max NGR} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\text{Tms tahap 1} = \frac{\left(\frac{\ln \text{NGR}}{I_{set}} - 1\right) \times ts}{120} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\text{Tms tahap 2} = \frac{\left(\frac{\ln \text{NGR}}{I_{set}} - 1\right) \times (ts+1)}{120} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana,

ts = waktu tunda (s)

In NGR = arus nominal NGR (A)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PLN Gardu Induk Maros Salenrang, Bontoa, Kabupaten Maros yang dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2022, tepatnya dimulai dari tanggal 1 Maret 2022 sampai 30 Juni 2022.

3.2 Alat

Dalam proses pembuatan tugas akhir ini, menggunakan beberapa alat. Berikut ini merupakan alat-alat yang dipergunakan dalam proses pembuatan tugas akhir dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Peralatan yang Digunakan

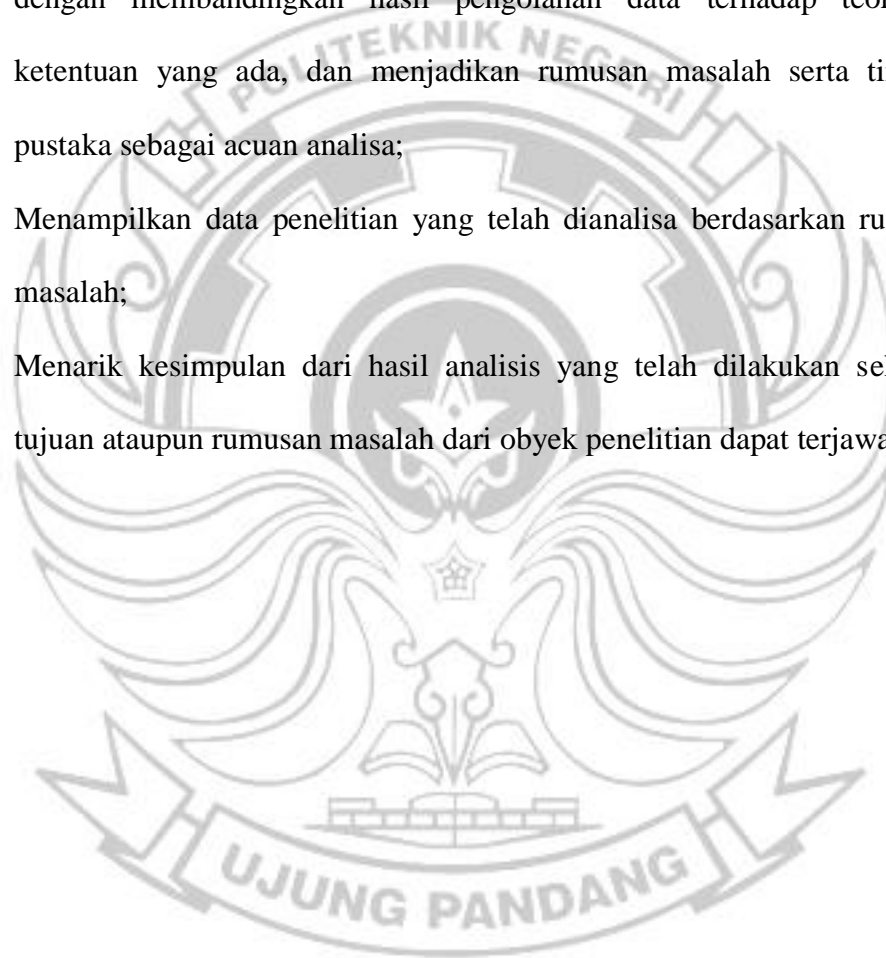
| No | Nama Alat | Jumlah |
|----|-----------------------------------|--------|
| 1. | Laptop HP | 1 |
| 2. | Printer | 1 |
| 3. | Aplikasi Etap 16.0.0 | 1 |
| 4. | Microsoft <i>Word</i> 2013 | 1 |
| 5. | Microsoft <i>Excel</i> 2013 | 1 |
| 6. | Microsoft <i>Power Point</i> 2013 | 1 |

3.3 Prosedur Penelitian

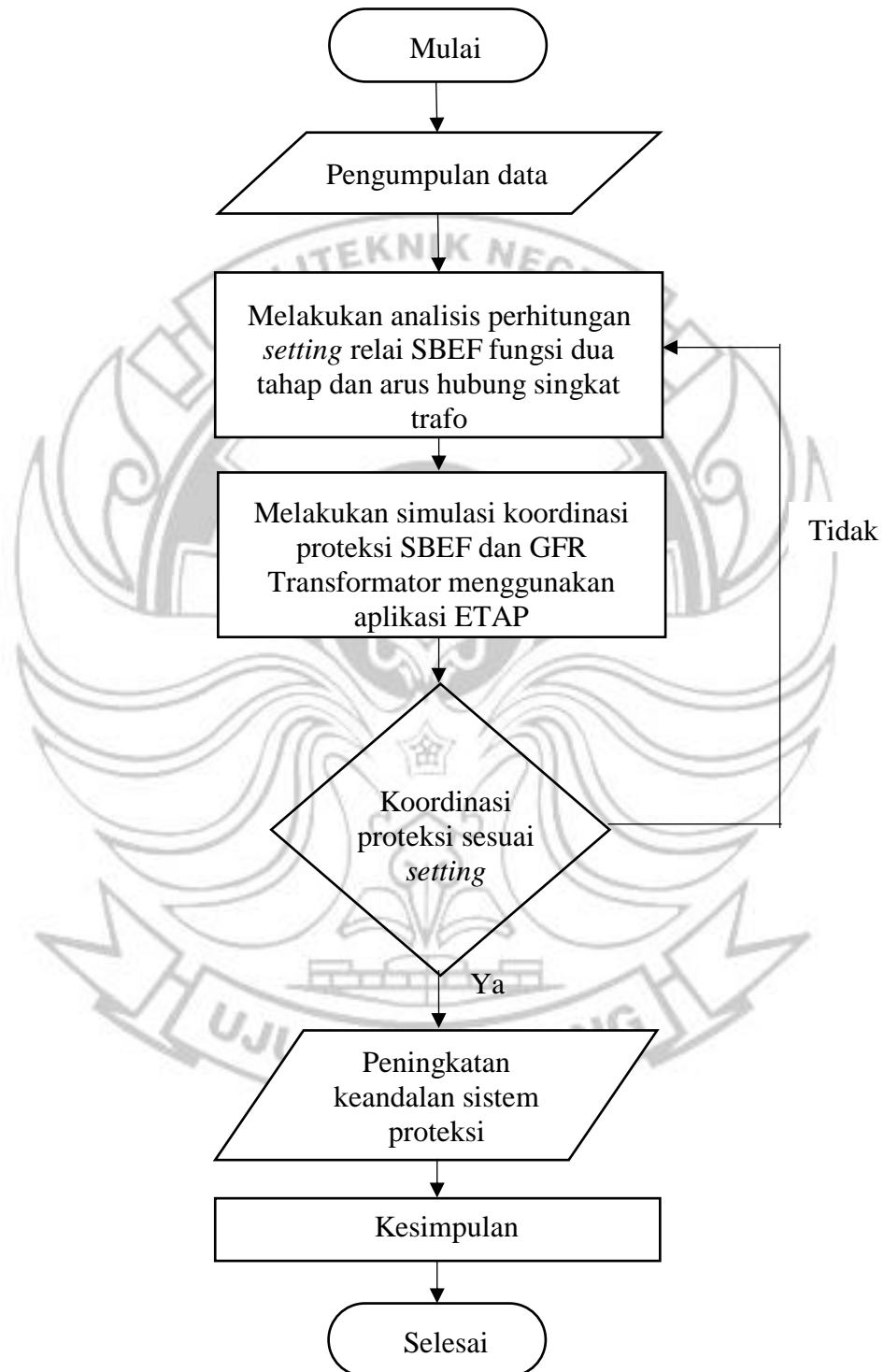
Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian hingga penyelesaian laporan dilakukan secara terstruktur, sistematis dan terarah. Berikut langkah-langkah yang menjadi acuan dari penulis:

- 1) Mempelajari obyek melalui literatur yang telah dikumpulkan dan mengenali obyek yang akan diteliti di lapangan;

- 2) Mengambil data penelitian yang dibutuhkan secara langsung dari obyek yang diteliti;
- 3) Mengolah data penelitian yang telah diidentifikasi sesuai dengan tinjauan pustaka sebagai acuan;
- 4) Melakukan analisis terhadap data-data yang telah diolah, salah satunya dengan membandingkan hasil pengolahan data terhadap teori dan ketentuan yang ada, dan menjadikan rumusan masalah serta tinjauan pustaka sebagai acuan analisa;
- 5) Menampilkan data penelitian yang telah dianalisa berdasarkan rumusan masalah;
- 6) Menarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan sehingga tujuan ataupun rumusan masalah dari obyek penelitian dapat terjawab.



Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar diagram alir (*flowchart*) penelitian pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) Penelitian

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik atau metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini tentang “Analisis Penerapan Fungsi Dua Tahap pada relai Proteksi *Standby Earth Fault* (SBEF) Transformator 30 MVA Gardu Induk Maros 150 kV” adalah sebagai berikut :

1) Metode Literatur

Pengumpulan data dengan metode literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai referensi-referensi baik berupa buku, internet, jurnal ilmiah, dokumen pemeliharaan tahunan ULTG Maros maupun buku panduan dari PT PLN (Persero) yang dapat menunjang dan membantu proses pembuatan dalam pengerjaan skripsi ini, seperti buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali, buku Perhitungan *setting* dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi, dll.

2) Metode Wawancara

Pengumpulan data dengan metode wawancara dilakukan dengan cara konsultasi/tanya jawab langsung kepada pihak yang berkompeten dalam hal ini manager ULTG, supervisor OPHAR, asisten *engineering* HAR maupun staff HAR yang bertanggung jawab dalam menangani masalah pemeliharaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik pada PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Maros.

3) Metode Observasi

Pengumpulan data dengan metode observasi dilakukan dengan cara mencari data-data teknis secara langsung di lapangan. Data tersebut berupa *setting* dan

hasil pengujian setelah pengaktifan fungsi relai yang diambil pada saat terlibat dalam kegiatan pemeliharaan. Pengumpulan data dan pengamatan langsung di lapangan dilakukan tepatnya pada Gardu Induk Maros 150 kV, Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Maros.

3.5 Teknik Analisis Data

Data yang di dapat kemudian di analisis serta dilakukan perhitungan terhadap data tersebut dengan tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan *setting* relai SBEF fungsi dua tahap dan arus hubung singkat transformator.
2. Simulasi koordinasi proteksi SBEF dan GFR Transformator menggunakan aplikasi ETAP.
3. Perbandingan antara hasil teori dan simulasi *setting* relai proteksi SBEF.
4. Perbandingan jumlah gangguan *phase – ground* yang menyebabkan transformator padam berdasarkan data gangguan sebelum dan setelah penerapan fungsi dua tahap relai SBEF.

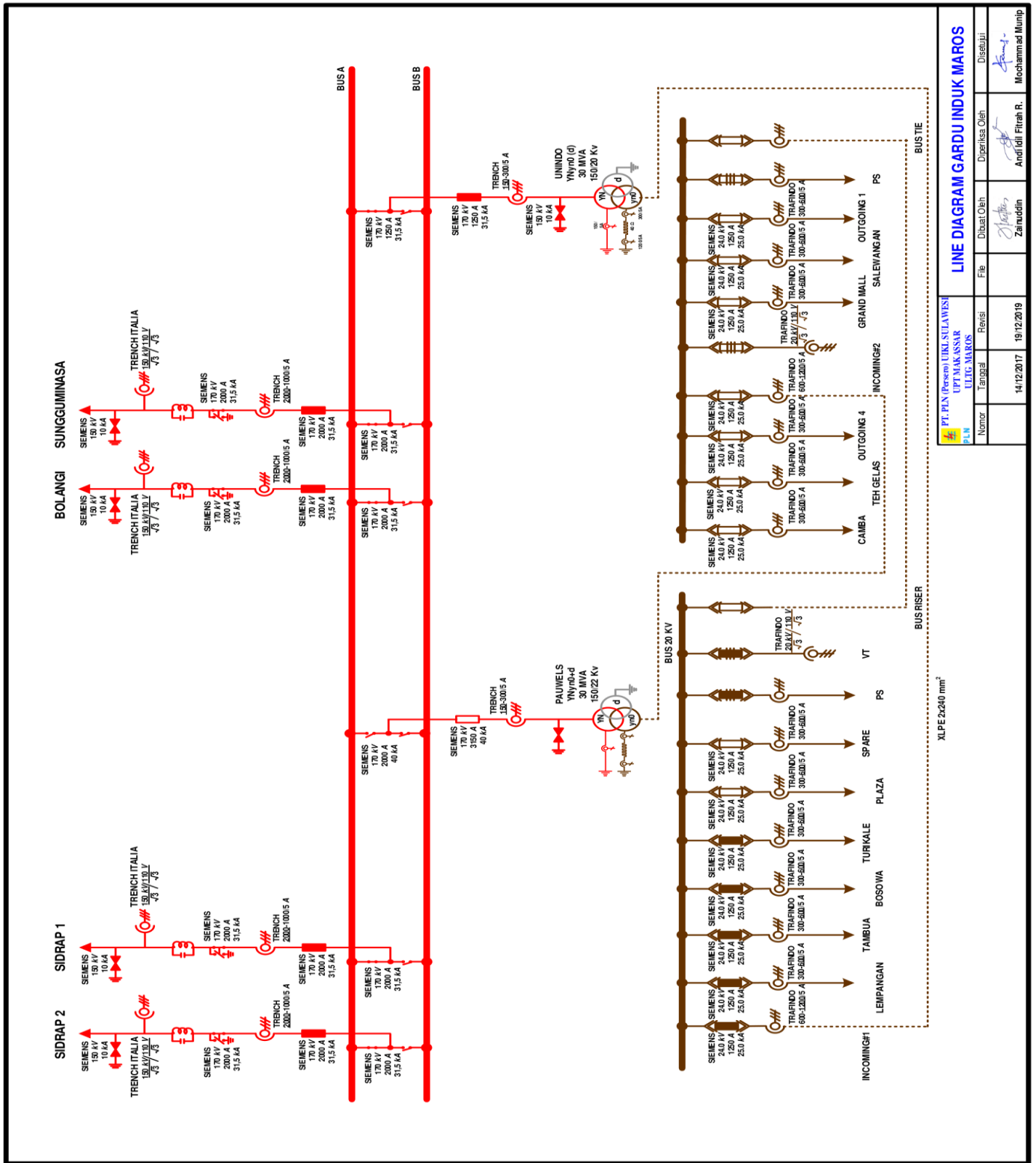
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Pada proses penyaluran sistem tenaga listrik maka PT PLN (Persero) khususnya di Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) telah dibuat jadwal rutin pemeliharaan 2 tahunan ataupun penggantian peralatan-peralatan GI untuk menjaga kontinuitas dan kehandalan. Pada penelitian ini yang menjadi objek penelitian adalah relai *Standby Earth Fault* pada Transformator #1 Gardu Induk Maros, dimana GI Maros merupakan salah satu Gardu Induk yang berada di bawah asuhan ULTG Maros.

4.1.1 *Single Line Diagram* GI Maros

Pada gardu induk maros terdiri dari 4 bay *line* dan 2 bay trafo. Adapun *Single Line Diagram* dari Gardu Induk Maros, dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Single Line Diagram GI Maros
 Sumber : Dokumen Single Line Diagram ULTG Maros

| PT. PLN (Persero) ULTG SULAWESI | | | |
|---------------------------------|------------|--------|---------------|
| ULTG MAROS | | | |
| Nomor | Tanggal | Revisi | File |
| 4 | 14/12/2017 | | |
| Diperiksa Oleh | | | Disetujui |
| Zahuddin | | | Andi Idris R. |
| Mochammad Mumpi | | | |

XLPE 2x240 mm²

4.1.2 Data Teknis Gardu Induk Maros

1) Data Spesifikasi Transformator #1 Gardu Induk Maros

Data Spesifikasi Transformator #1 Gardu Induk Maros dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator #1 Gardu Induk Maros

| Spesifikasi | Keterangan |
|--------------------|-------------------|
| Merek | UNINDO |
| Frekuensi | 50 Hz |
| Kapasitas | 30 MVA |
| Vektor Grup | YNyn0(d) |
| Impedansi | 12,74 % |
| Tegangan Primer | 150 kV |
| Tegangan Sekunder | 20 kV |
| Tegangan Tersier | 10 kV |
| E | 1 pu |

Sumber : Data Teknis GI Maros

2) Data Sistem Pentanahan Transformator #1 Gardu Induk Maros

Data sistem pentanahan transformator #1 GI Maros dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Data Sistem Pentanahan Transformator #1 Gardu Induk Maros

| Besaran | Nilai |
|----------------|--------------|
| R sisi HV | 0 Ω |
| R sisi LV | 40 Ω |
| I max NGR | 300 A |
| I kontinu | 30 A |
| t max NGR | 10 s |

Sumber : Data Teknis GI Maros

3) Data Impedansi Sumber di Bus 150 kV Gardu Induk Maros

Data impedansi sumber di Bus 150 kV GI Maros sebagai berikut :

a) Impedansi urutan positif

$$R1 : 0,004568 \Omega$$

$$X1 : 0,030517 \Omega$$

b) Impedansi urutan negatif

$$R2 : 0,008985 \Omega$$

$$X2 : 0,032221 \Omega$$

c) Impedansi urutan nol

$$R0 : 0,015151 \Omega$$

$$X0 : 0,056812 \Omega$$

4.1.3 Data *Setting* Relai OCR dan GFR sisi 150 kV

Data *Setting* Relai OCR dan GFR sisi 150 kV dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Data *Setting* Relai OCR GFR sisi 150 kV

| Parameter | Setting |
|---|----------------|
| <i>CT Primary</i> | 150 A |
| <i>CT Secondary</i> | 5 A |
| 1. OCR (<i>Overcurrent Relay</i>) | |
| <i>Iset</i> | 139,5 A |
| <i>Delay Type</i> | NI (IEC) |
| <i>Tms</i> | 0.36 |
| 2. GFR (<i>Ground Fault Relay</i>) | |
| <i>Iset</i> | 60 A |
| <i>Delay Type</i> | NI (IEC) |
| <i>Tms</i> | 0.35 |

Sumber : Data Teknis GI Maros

4.1.4 Data *Setting* Relai OCR dan GFR sisi 20 kV *Incoming*

Data *Setting* Relai OCR dan GFR sisi 20 kV *Incoming* dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Data *Setting* Relai OCR dan GFR sisi 20 kV *Incoming*

| Parameter | <i>Setting</i> |
|--------------------------------------|-----------------------|
| <i>CT Primary</i> | 1200 A |
| <i>CT Secondary</i> | 5 A |
| 1. OCR (<i>Overcurrent Relay</i>) | |
| Iset | 960 A |
| <i>Delay Type</i> | NI (IEC) |
| Tms | 0.2 |
| 2. GFR (<i>Ground Fault Relay</i>) | |
| Iset | 60 A |
| <i>Delay Type</i> | NI (IEC) |
| Tms | 0.16 |

Sumber : Data Teknik GI Maros

4.1.5 Data *Setting* Relai OCR GFR sisi 20 kV Penyulang

Data *Setting* Relai OCR GFR sisi 20 kV penyulang dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 berikut ini

Tabel 4.5 Data *Setting* Relai OCR sisi 20 kV Penyulang

| Parameter | <i>Setting</i> |
|---------------------|-----------------------|
| <i>CT Primary</i> | 600 A |
| <i>CT Secondary</i> | 5 A |
| Iset | 600 A |
| <i>Delay Type</i> | SI (IEC) |
| Tms | 0.1 |

Sumber : Data Teknik GI Maros

Tabel 4.6 Data Setting Relai GFR sisi 20 kV Penyulang

| Parameter | Setting |
|-------------------|----------------|
| Iset | 60 A |
| <i>Delay Type</i> | SI (IEC) |
| Tms | 0.1 |

Sumber : Data Teknik GI Maros

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Transformator dan *Setting* Relai SBEF

1) Perhitungan Data Transformator dan Nilai *Base*

a) Data Transformator

Berdasarkan data yang diketahui pada Tabel 4.1, data transformator dapat dihitung menggunakan persamaan 2.13 sampai 2.16.

i. Arus nominal *high voltage*

$$I_{n \text{ HV}} = \frac{30 \text{ MVA}}{150 \text{ kV} \times \sqrt{3}}$$

$$I_{n \text{ HV}} = 115,47 \text{ Ampere}$$

ii. Arus nominal *low voltage*

$$I_{n \text{ LV}} = \frac{30 \text{ MVA}}{20 \text{ kV} \times \sqrt{3}}$$

$$I_{n \text{ LV}} = 866,025 \text{ Ampere}$$

iii. Impedansi *high voltage*

$$Z_{hv} = \frac{12,74 \times 150^2 \text{ kV}}{30 \text{ MVA} \times 100}$$

$$Z_{hv} = 95,55 \Omega$$

iv. Impedansi *low voltage*

$$Z_{lv} = \frac{12,74 \times 20^2 \text{ kV}}{30 \text{ MVA} \times 100}$$

$$Z_{lv} = 1,698 \Omega$$

b) Nilai *Base* transformator

Berdasarkan data yang diketahui pada Tabel 4.1, nilai *base* transformator dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8 sampai 2.12

i. Impedansi dasar *high voltage*

$$Z_b \text{ HV} = \frac{150^2 \text{ kV}}{100 \text{ MVA}}$$

$$Z_b \text{ HV} = 225 \text{ pu}$$

ii. Impedansi dasar *low voltage*

$$Z_b \text{ LV} = \frac{20^2 \text{ kV}}{100 \text{ MVA}}$$

$$Z_b \text{ LV} = 4 \text{ pu}$$

iii. Arus dasar *high voltage*

$$I_b \text{ HV} = \frac{100 \text{ MVA}}{150 \text{ kV} \times \sqrt{3}}$$

$$I_b \text{ HV} = 384,9 \text{ A}$$

iv. Arus dasar *low voltage*

$$I_b \text{ LV} = \frac{100 \text{ MVA}}{20 \text{ kV} \times \sqrt{3}}$$

$$I_b \text{ LV} = 2886,751 \text{ A}$$

v. Impedansi urutan positif trafo

$$X_{t1} = \frac{12,74}{100} \times \frac{100 \text{ MVA}}{30 \text{ MVA}}$$

$$X_{t1} = 0,424 \text{ pu}$$

$$X_{tp1} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

$$X_{ts1} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

$$X_{tt1} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

vi. Impedansi urutan negatif trafo

$$X_{tp2} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

$$X_{ts2} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

$$X_{tt2} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

vii. Impedansi urutan nol trafo

$$X_{tp0} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

$$X_{ts0} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

$$X_{tt0} = 0,5 \times 0,424 = 0,212 \text{ pu}$$

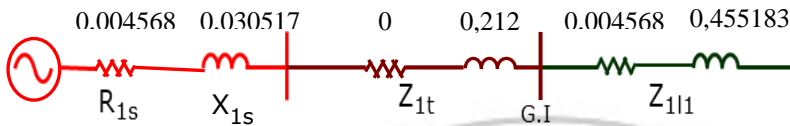
Berikut ini Tabel 4.7 Hasil perhitungan impedansi transformator yang digunakan untuk menghitung arus hubung singkat pada transformator.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai *Base* Transformator

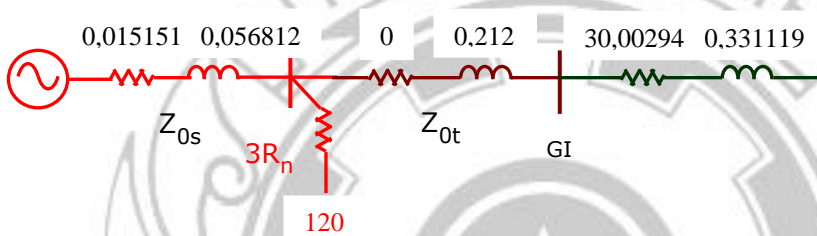
| Besaran | Nilai |
|--|----------|
| X _{tp1} , X _{tp2} , X _{tp0} | 0,212 pu |
| X _{ts1} , X _{ts2} , X _{ts0} | 0,212 pu |
| X _{tt1} , X _{tt2} , X _{tt0} | 0,212 pu |

Berikut ini rangkaian Impedansi urutan positif, negatif dan nol dari sumber sampai titik gangguan.

Rangkaian Impedansi urutan positif dan negatif dari sumber sampai dengan titik gangguan



Rangkaian Impedansi urutan Nol dari sumber sampai dengan titik gangguan



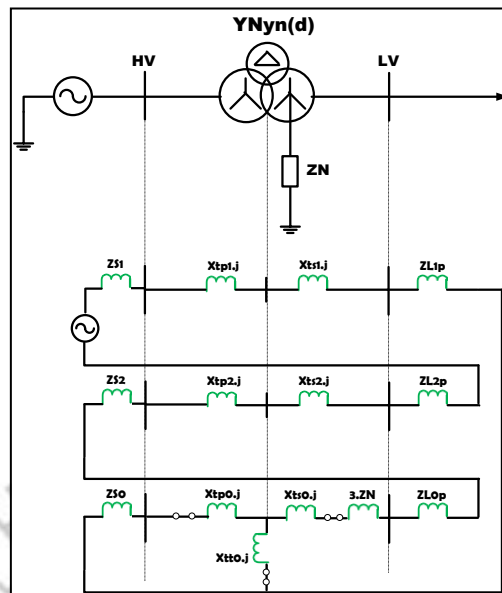
2) Perhitungan Arus Hubung Singkat Transformator

Berikut ini Gambar 4.2 gambar rangkaian urutan nol (a) dan urutan positif/negatif (b) transformator yang diteliti.



(a) Rangkaian urutan nol (b) Rangkaian urutan positif/negatif
Gambar 4.2 Rangkaian Impedansi Urutan Nol dan Positif/Negatif Trafo

Berikut ini Gambar 4.3 rangkaian ekivalen perhitungan arus hubung singkat 1 phasa di bus 20 kV.



Gambar 4.3 Rangkaian Ekuivalen Perhitungan Arus Hubung Singkat 1 Fasa di Bus 20 kV

Berdasarkan Gambar 4.3, arus hubung singkat 1 fasa di bus 20 kV dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 sampai 2.7

$$Z_{s1} = \sqrt{0,004568^2 + j0,030517^2} = 0,030856 \text{ pu}$$

$$Z_{s2} = \sqrt{0,008985^2 + j0,032221^2} = 0,03345 \text{ pu}$$

$$Z_{s0} = \sqrt{0,015151^2 + j0,056812^2} = 0,058797 \text{ pu}$$

$$R_{NGR_b} = \frac{3 \times 40 \Omega}{4 \text{ pu}} = 30 \Omega$$

$$Z_1 = 0,030856 + j0,212 + j \cdot 0,212 = 0,454539 \text{ pu}$$

$$Z_2 = 0,03345 + j0,212 + j \cdot 0,212 = 0,456309 \text{ pu}$$

$$Z_0 = \left\{ \frac{(0,058797 + j0,212) \times j0,212}{(0,058797 + j0,212) + j0,212} \right\} + j0,212 + 30 = 30,004767 \text{ pu}$$

$$I_{f1\phi 20} = \frac{3}{0,454539 \text{ pu} + 0,456309 \text{ pu} + 30,004767 \text{ pu}} \times 2886,751 \text{ A}$$

$$I_{f1\phi 20} = \frac{3}{30,042 \text{ pu}} \times 2886,751 \text{ A}$$

$$I_{f1\phi 20} = 288,269 \text{ A}$$

3) Perhitungan *Setting* fungsi dua tahap Relai SBEF

Untuk menghitung *setting* fungsi dua tahap relai SBEF, terlebih dahulu menghitung arus nominal dari NGR menggunakan persamaan 2.17 berikut.

$$I_{n \text{ NGR}} = \frac{20 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 40 \Omega}$$

$$I_{n \text{ NGR}} = 288,68 \text{ Ampere}$$

Selanjutnya untuk menghitung *setting* dari relai SBEF fungsi 2 tahap menggunakan rumus pada Tabel 2.1, persamaan 2.22 sampai 2.24 berikut.

$$I_{set} = 0,3 \times 288,68 \text{ A} = 86,6 \text{ Ampere}$$

$$t_s = 0,5 \times 10 \text{ s} = 5 \text{ s}$$

$$T_{ms \text{ tahap 1}} = \frac{\left(\frac{288,68 \text{ A}}{86,6 \text{ A}} - 1\right) \times 5 \text{ s}}{120}$$

$$T_{ms \text{ tahap 1}} = 0,097$$

$$T_{ms \text{ tahap 2}} = \frac{\left(\frac{288,68 \text{ A}}{86,6 \text{ A}} - 1\right) \times (5 \text{ s} + 1)}{120}$$

$$T_{ms \text{ tahap 2}} = 0,117$$

4.2.2 Simulasi Koordinasi antara Relai Proteksi SBEF dengan GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada Transformator Menggunakan Aplikasi ETAP 16.0.0

1) Pemodelan

Berdasarkan pada data transformator dan setingan relai yang diperoleh maka dapat dibuat pemodelan diagram satu garis koordinasi relai proteksi SBEF dengan GFR sisi 150 kV dan 20 kV menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0.

Berikut ini langkah-langkah dalam pemodelan diagram satu garis relai proteksi SBEF dan OCR GFR sisi 150 kV dan 20 kV di aplikasi ETAP 16.0.0.

a) *Power Grid*

Pada halaman info, memastikan bahwa power grid dalam keadaan swing. Selanjutnya pada halaman rating, mengisi rated kV dengan 150 kV, dan mengisi 3-phase MVA_{sc} dengan 1000.

b) *Bus*

Pada halaman info, mengisi nominal kV dengan 150.

c) *Circuit Breaker*

Pada halaman info, memastikan CB terpasang pada *from* dan *to* yang benar. Pada halaman *rating*, pastikan standar yang digunakan IEC. Lalu, karena tegangan 150 kV, maka CB harus *setting* diatas 150 kV, sehingga pada bagian rated kV, dipilih 245. *Min. Delay* diisikan dengan 0,01. Artinya, waktu yang dibutuhkan dari OCR pertama kali memerintahkan CB untuk membuka hingga CB benar-benar membuka adalah 0,01 sekon atau 10 ms. Lalu klik OK.

d) *Transformer*

Pada halaman info, pastikan bahwa primer dan sekunder dari transformator tersebut menempel pada bus yang tepat. pada halaman rating, mengisi tegangan primer 150 kV, dan sekunder 20 kV, dan *power rating* 30 MVA. Pada halaman impedansi mengisi berdasarkan hasil perhitungan impedansi trafo, dan pada halaman *grounding* mengubah *connection* menjadi

YY, lalu disisi primer *grounding* solid dan sekunder *grounding* resistor dengan 40 ohm.

e) *Current Transformer*

Pada halaman info, memastikan CT terpasang pada *from* dan *to* yang benar. Pada halaman *rating*, mengisi *primary* dengan 150 A dan *secondary* dengan 5 A. Artinya, bila pada sisi primer CT terdapat arus 150 A, maka CT akan menurunkan menjadi 5 A pada sisi sekundernya. *Setting* parameter yang lain mengikuti defaultnya saja.

f) *Overcurrent Relay*

Pada halaman OCR, mengklik *library*, SIEMENS, 7SJ62 untuk memilih merek relai yang akan digunakan. Klik OK. Lalu mengubah *setting* berdasarkan tabel 4.3.

g) *Cable*

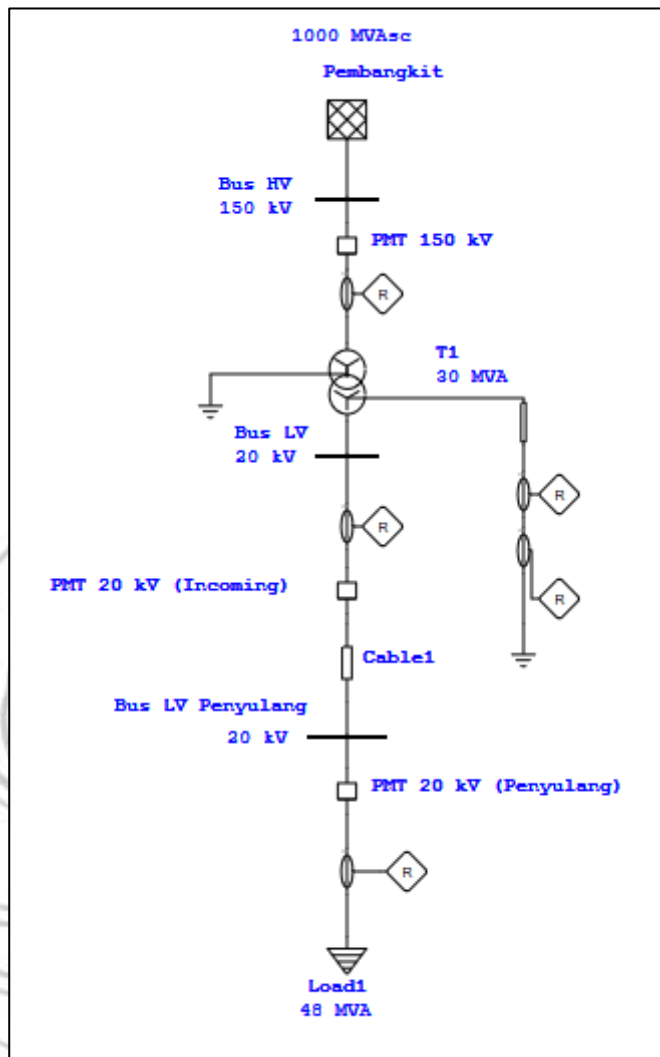
Pada halaman info, memastikan *cable* terpasang pada *from* dan *to* yang benar mengisi *length* 50 m, dan pada halaman impedansi mengisi berdasarkan perhitungan impedansi.

h) *Static Load*

Pada halaman *loading*, mengisi kV dengan 20 kV, MVA diisi dengan 48 dan PF diisi dengan 100 %. Parameter lain nantinya akan menyesuaikan dengan sendirinya. Klik OK. Berikut ini tabel 4.8 penjelasan secara ringkas data yang diinput pada etap.

Tabel 4.8 Data yang Dimasukkan di Etap

| Peralatan | Input |
|--------------------------------|---|
| 1. <i>Power Grid</i> | 100 MVA |
| 2. <i>Bus</i> | <i>Nominal kV = 150 kV</i> |
| 3. <i>Circuit Breaker</i> | <i>Rated kV = 245 Kv</i> |
| 4. <i>Current Transformer</i> | 150/5 Ampere |
| 5. <i>Overcurrent Relay</i> | Mengikuti tabel 4.4 |
| 6. <i>Transformer</i> | Mengikuti tabel 4.1, 4.2 dan impedansi trafo |
| 7. <i>Bus</i> | <i>Nominal kV = 20 Kv</i> |
| 8. <i>Current Transformer</i> | 150/5 Ampere |
| 9. <i>Overcurrent Relay</i> | Mengikuti hasil perhitungan <i>setting</i> relai SBEF tahap 1 |
| 10. <i>Current Transformer</i> | 150/5 Ampere |
| 11. <i>Overcurrent Relay</i> | Mengikuti hasil perhitungan <i>setting</i> relai SBEF tahap 2 |
| 12. <i>Current Transformer</i> | 1000/5 Ampere |
| 13. <i>Overcurrent Relay</i> | Mengikuti tabel 4.5 |
| 14. <i>Circuit Breaker</i> | <i>Rated kV = 24 Kv</i> |
| 15. <i>Cable</i> | Mengikuti hasil perhitungan Impedansi |
| 16. <i>Bus</i> | <i>Nominal kV = 20 Kv</i> |
| 17. <i>Circuit Breaker</i> | <i>Rated kV = 24 Kv</i> |
| 18. <i>Current Transformer</i> | 600/5 Ampere |
| 19. <i>Overcurrent Relay</i> | Mengikuti tabel 4.6 |
| 20. <i>Static Load</i> | 48 MVA |



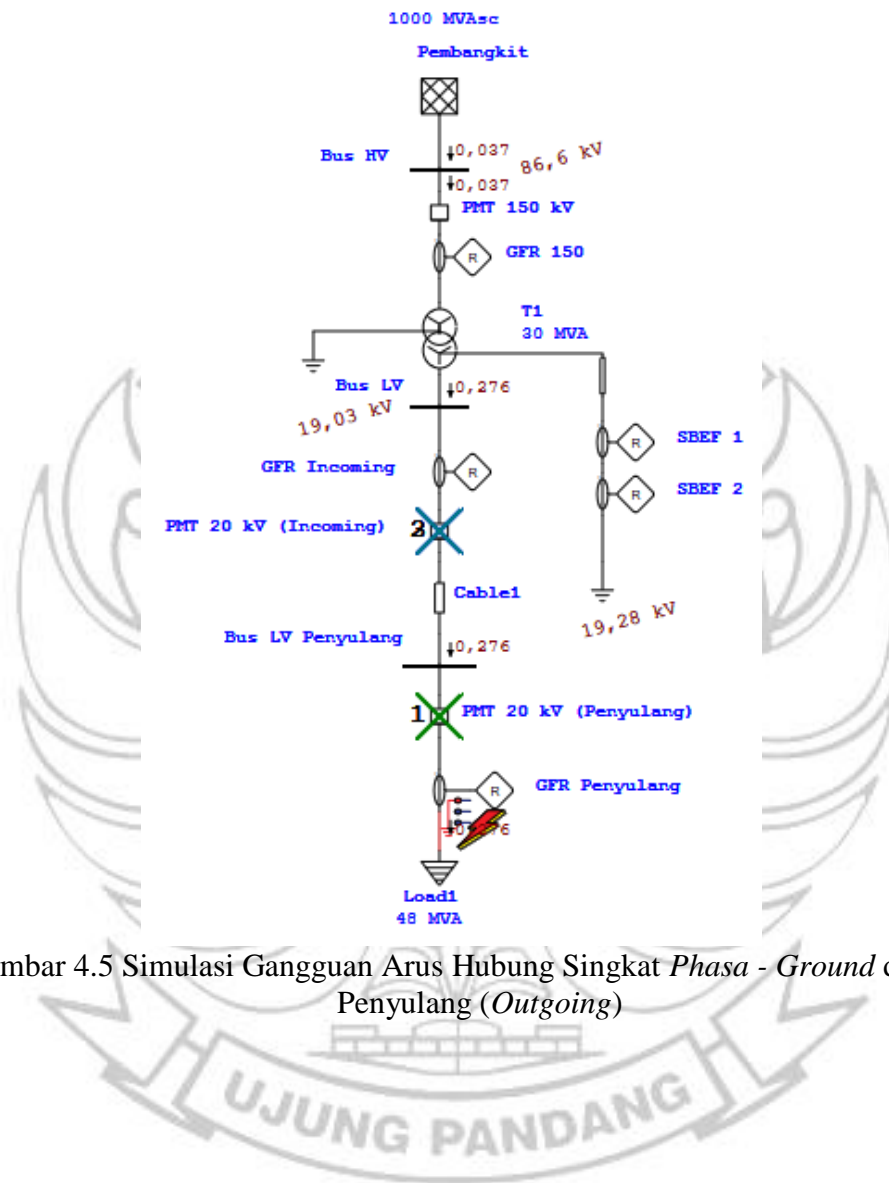
Gambar 4.4 Pemodelan Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi SBEF dengan GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada Transformator

Diagram di atas bertujuan untuk menguji koordinasi antara relai SBEF dengan relai GFR sisi 150 kV dan 20 kV terhadap gangguan di sisi penyulang 20 kV, yang komponen utamanya terdiri dari Power Grid, PMT, CT, Transformator, *cabl*e, Relai SBEF, Relai GFR, dan beban statis.

2) Simulasi gangguan hubung singkat fasa – *ground* di sisi beban

Simulasi gangguan dimulai dari sisi penyulang (*Outgoing*) untuk melihat relai apa yang bekerja dan seberapa cepat responnya terhadap gangguan

apabila diberi gangguan arus hubung singkat *phasa – ground*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Simulasi Gangguan Arus Hubung Singkat *Phasa - Ground* di sisi Penyulang (*Outgoing*)

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between CT6 & Load1. Adjacent bus: Bus LV Penyulang

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 11-04-2022

| Time (ms) | ID | If (kA) | T1 (ms) | T2 (ms) | Condition |
|-----------|---------------|---------|---------|---------|--|
| 452 | GFR Penyul... | 0,276 | 452 | | Ground - OC1 - 51 |
| 452 | PMT 20 kV ... | | 0,0 | | Tripped by GFR Penyulang Ground - OC1 - 51 |
| 722 | GFR Incoming | 0,276 | 722 | | Ground - OC1 - 51 |
| 722 | PMT 20 kV ... | | 0,0 | | Tripped by GFR Incoming Ground - OC1 - 51 |
| 5326 | SBEF 1 | 0,276 | 5326 | | Ground - OC1 - 51 |
| 5326 | PMT 20 kV ... | | 0,0 | | Tripped by SBEF 1 Ground - OC1 - 51 |
| 6424 | SBEF 2 | 0,276 | 6424 | | Ground - OC1 - 51 |
| 6434 | PMT 150 kV | | 10,0 | | Tripped by SBEF 2 Ground - OC1 - 51 |

Gambar 4.6 Tampilan *Sequence Viewer*

Berdasarkan Gambar 4.5 dan 4.6 dapat diketahui bahwa relai yang pertama kali bekerja adalah GFR sisi penyulang karena berdasarkan *setting* arus kerja dan waktu kerjanya, apabila diberi arus gangguan sebesar 280A maka akan bekerja setelah 447 ms. Untuk lebih jelasnya dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$SI = \frac{0,1 \times 0,14}{\frac{276 \text{ A}^{0,02}}{60 \text{ A}} - 1}$$

$$SI = 0,451 \text{ detik atau } 451 \text{ ms}$$

Selanjutnya yang bekerja setelah GFR penyulang adalah relai GFR *Incoming*. Untuk lebih jelasnya dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$SI = \frac{0,16 \times 0,14}{\frac{276 \text{ A}^{0,02}}{60 \text{ A}} - 1}$$

$$SI = 0,722 \text{ detik atau } 722 \text{ ms}$$

Selanjutnya, setelah GFR *Incoming*, yang bekerja adalah SBEF tahap 1 untuk mentripkan PMT *Incoming* sedangkan tahap 2 untuk mentripkan PMT 150 kV. Untuk lebih jelasnya dapat dihitung menggunakan persamaan 2.21.

a) Tahap 1

$$LTI = \frac{0,097 \times 120}{\frac{276 \text{ A}}{86,6 \text{ A}} - 1}$$

$$LTI = 5,322 \text{ detik atau } 5322 \text{ ms}$$

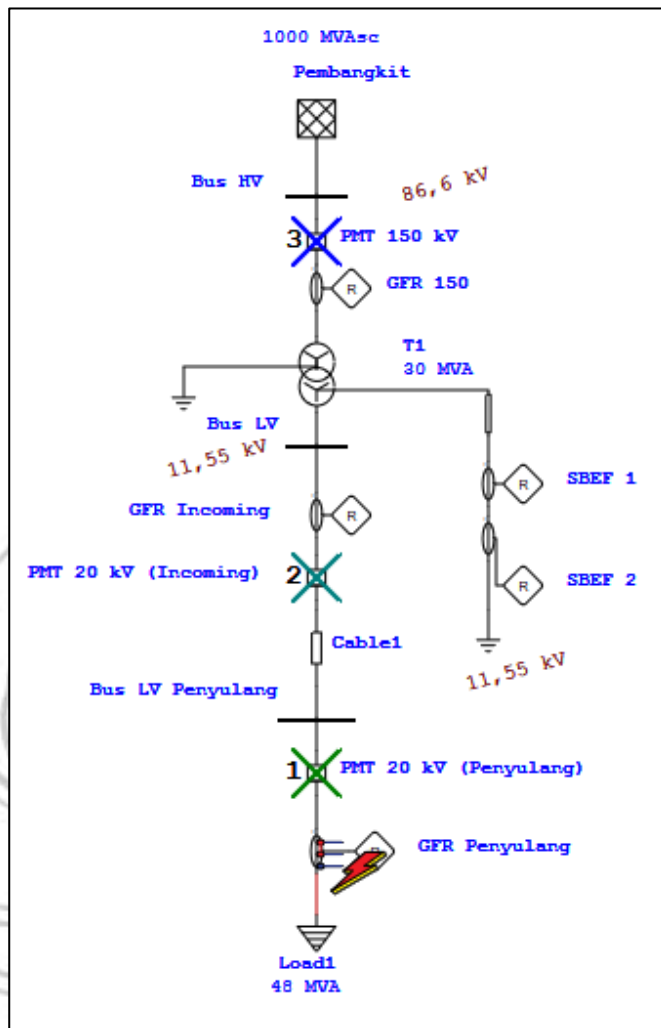
b) Tahap 2

$$LTI = \frac{0,117 \times 120}{\frac{276 \text{ A}}{86,6 \text{ A}} - 1}$$

$$LTI = 6,419 \text{ detik atau } 6419 \text{ ms}$$

3) Simulasi gangguan hubung singkat *phasa – phasa* di sisi beban

Simulasi gangguan dimulai dari sisi penyulang (*Outgoing*) untuk melihat relai apa yang bekerja dan seberapa cepat responnya terhadap gangguan apabila diberi gangguan arus hubung singkat *phasa – phasa*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Simulasi Gangguan Arus Hubung Singkat *phasa - phasa* di sisi Penyulang (*Outgoing*)

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Line (Symmetrical) fault on connector between CT6 & Load1. Adjacent bus: Bus LV Penyulang

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 10-04-2022

| Time (ms) | ID | If (kA) | T1 (ms) | T2 (ms) | Condition |
|-----------|---------------|---------|---------|---------|---|
| 426 | GFR Penyul... | 3,021 | 426 | | Phase - OC1 - 51 |
| 426 | PMT 20 kV ... | | 0,0 | | Tripped by GFR Penyulang Phase - OC1 - 51 |
| 1207 | GFR Incoming | 3,021 | 1207 | | Phase - OC1 - 51 |
| 1207 | PMT 20 kV ... | | 0,0 | | Tripped by GFR Incoming Phase - OC1 - 51 |
| 2352 | GFR 150 | 0,403 | 2352 | | Phase - OC1 - 51 |
| 2362 | PMT 150 kV | | 10,0 | | Tripped by GFR 150 Phase - OC1 - 51 |

Gambar 4.8 Tampilan *Sequence Viewer*

Berdasarkan Gambar 4.7 dan 4.8 dapat diketahui bahwa relai yang pertama kali bekerja adalah OCR GFR sisi penyulang karena berdasarkan *setting* arus kerja dan waktu kerjanya, apabila diberi arus gangguan sebesar 3021 A maka akan bekerja setelah 426 ms, kemudian diikuti relai OCR GFR sisi Incoming, SBEF tahap 1, dan SBEF tahap 2.

4.2.3 Perbandingan Hasil Teori dan Simulasi *Setting* Relai Proteksi SBEF

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.6 dapat diketahui perbandingan antara hasil simulasi dan teori untuk mengetahui persentase kesalahan dari *setting* yang digunakan.

1) Perbandingan relai SBEF tahap 1

$$\text{Persentase kesalahan} = \frac{\text{Hasil uji - teori}}{\text{teori}} \times 100\% = \frac{5,326 \text{ s} - 5,322 \text{ s}}{5,322 \text{ s}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase kesalahan} = 0,075\%$$

2) Perbandingan relai SBEF tahap 2

$$\text{Persentase kesalahan} = \frac{\text{Hasil uji - teori}}{\text{teori}} \times 100\% = \frac{6,424 \text{ s} - 6,419 \text{ s}}{6,419 \text{ s}} \times 100\%$$

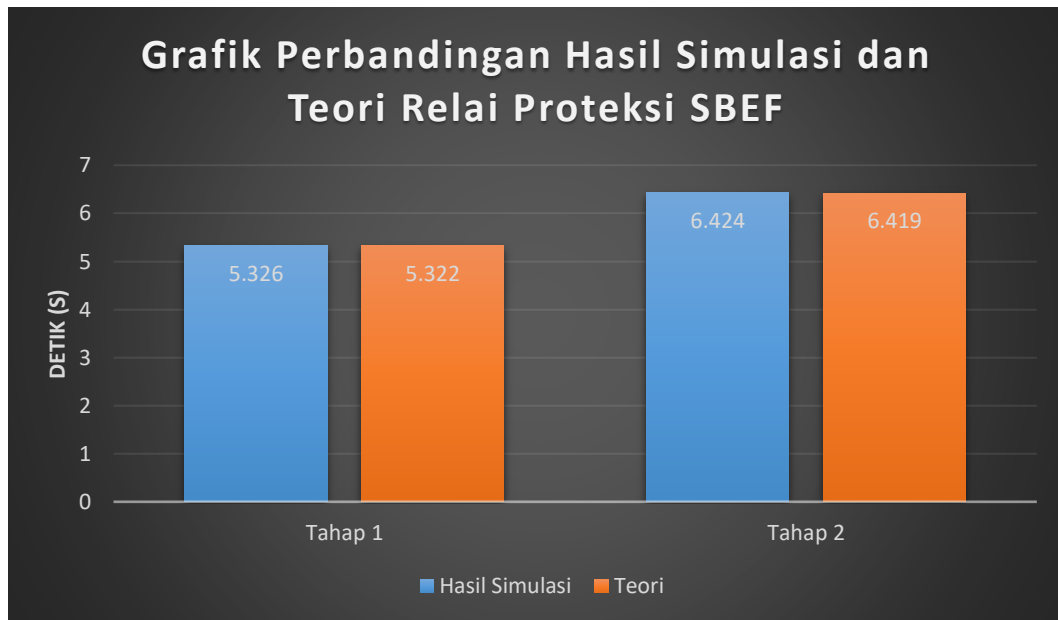
$$\text{Persentase kesalahan} = 0,077\%$$

Berikut ini Tabel 4.9 Perbandingan antara hasil simulasi dan teori relai SBEF dua tahap.

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi dan Teori Relai SBEF

| Relai SBEF | Hasil Simulasi | Teori | %Error |
|-------------------|-----------------------|--------------|---------------|
| 1. Tahap satu | 5,326 detik | 5,322 detik | 0,075% |
| 2. Tahap dua | 6,424 detik | 6,419 detik | 0,077% |

Berikut ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 Perbandingan antara hasil simulasi dan teori relai SBEF dua tahap.

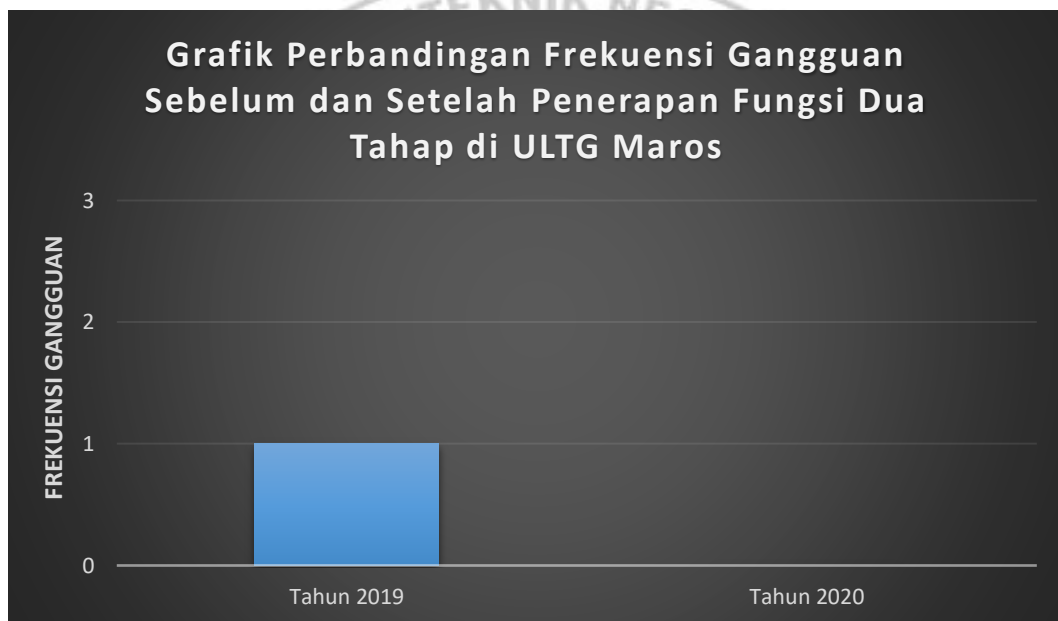


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan antara Hasil Simulasi dan Teori Relai SBEF

Berdasarkan grafik diatas, waktu kerja relai SBEF tahap 1 untuk hasil simulasi 5,326 s atau 5326 ms, dan teori 5,322 s atau 5322 ms, sedangkan untuk tahap 2 didapatkan hasil simulasi 6,424 s atau 6424 ms, dan teori 6,419 s atau 6419 ms.

4.2.4 Perbandingan Frekuensi Gangguan yang Menyebabkan Transformator Padam Sebelum dan Setelah Penerapan Fungsi Dua Tahap Relai SBEF di ULTG Maros

Berdasarkan data rekap gangguan ULTG Maros pada lampiran 3 dan 4 dapat diketahui perbandingan frekuensi gangguan yang menyebabkan transformator padam sebelum dan setelah penerapan fungsi dua tahap relai sbef yang digambarkan dalam bentuk grafik berikut



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Frekuensi Gangguan Sebelum dan Setelah Penerapan Fungsi Dua Tahap di ULTG Maros

Berdasarkan grafik diatas frekuensi gangguan yang menyebabkan transformator padam di ULTG Maros di tahun 2019 sebanyak 1 kali, sedangkan di tahun 2020 sebanyak 0 kali.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penulisan Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan hasil perhitungan, apabila terdapat arus hubung singkat 1 fasa ke tanah di bus 20 kV maka maksimum besarnya arus hubung singkat yang dapat terjadi sebesar 288,269 Ampere. Sedangkan *setting* dari relai SBEF dua tahap memiliki arus kerja 86,6 Ampere. Perbedaan antara tahap 1 dan tahap 2 hanya pada tms (*Time Multiple Second*) nya. Untuk tahap 1 memiliki tms 0,097 dan untuk tahap 2 memiliki tms 0,117.
- 2) Berdasarkan hasil simulasi rangkaian pada aplikasi ETAP 16.0.0 jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah sebesar 276 A, maka ada 3 relai proteksi cadangan transformator yang berkoordinasi yaitu SBEF, GFR sisi *Incoming* dan GFR sisi *outgoing*. Relai tersebut bekerja secara bertahap tergantung dari lokasi gangguannya.

5.2 Saran

- 1) Dalam pemilihan rumus terutama rumus perhitungan hubung singkat 1 fasa ke tanah transformator harus lebih diperhatikan, terutama pada bagian *vektor group* transformator yang berbeda menggunakan rumus yang berbeda pula agar koordinasi dari peralatan-peralatan proteksi lebih andal.
- 2) Agar tidak terjadi gangguan yang berulang dengan penyebab yang sama maka disarankan agar *setting* relai lebih diperhatikan dan dilakukan

pengujian menyeluruh baik uji karakteristik, uji individual, maupun uji fungsi relai untuk memastikan koordinasi proteksi yang sesuai dan terkini.



DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Paul M et al. 2022. Google Books: *Power System Protection*. (Eds. Jon Atli Benediktsson et al.). Second Edition. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc.
- Asrida, Andi Yusril. 2020. *Penerapan Fungsi Dua Tahap pada Relai SBEF Transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa*. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Azis, Abdul. 2019. *Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang*. Palembang : Universitas PGRI Palembang.
- Bakshi, U. A. et al. 2020. Google Books: *Transmission & Distribution*. Pune : Technical Publications.
- Grigsby, Leonard L. 2017. Google Books: *Power System*. (Eds. Leonard L. Grigsby) Third Edition.
- Guyer, J. Paul. 2020. Google Books: *An Introduction to Electric Power Distribution System Protection and Coordination*. (Eds. J. Paul Guyer). Guyer Partners.
- Jasmadi, Nurul Anriyani. 2021. *Studi Kerja Relai Proteksi SBEF Interbus Transformator (IBT) #3 31,5 MVA pada Gardu Induk Pangkep*. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Makmur, Muh. Andikapati. 2019. *Studi Koordinasi Proteksi Transformator dan Penyulang di Gardu Induk Bolangi*. Makassar : Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Patel, Dharmes et al. 2020. Google Books: *Digital Protective Schemes for Power Transformer*. Singapore : Springer Nature Singapore.
- PT. PLN (Persero). 2019. *Kesepakatan Bersama Proteksi 20 kV*. Manado : PT. PLN (Persero) UIKL Sulawesi.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi Transformator Distribusi #1



Lampiran 2. Data Sistem Pentanahan Transformator Distribusi #1



Lampiran 3. Rekap Gangguan ULTG Maros Tahun 2019

REKAP GANGGUAN ULTG MAROS TAHUN 2019

| NO | TANGGAL | GARDU INDUK | BAY | INDIKASI | TINDAK LANJUT |
|----|------------------|--------------|------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1 | 29 JULI 2019 | TELLO 150 KV | LINE DAYA | OCR (RST) | PENJUMPERAN LANGSUNG DARI CAPACITOR |
| 2 | 6 AGUSTUS 2019 | PANGKEP | LINE MANDAI #2 | OCR | MENONAKTIFKAN FITUR SELAIN DISTANCE MAIN PROTECTION |
| 3 | 15 AGUSTUS 2019 | TELLO 150 KV | TRAFO DISTRIBUSI #1 | SBEF | PENGECEKAN KONDISI KABEL TANAH INCOMING |
| 4 | 7 DESEMBER 2019 | TELLO 30 KV | INCOMING TRAFO DISTRIBUSI #1 | OCR GFR | PENORMALAN KEMBALI BEBAN INCOMING |
| 5 | 10 DESEMBER 2019 | TELLO 30 KV | INCOMING TRAFO DISTRIBUSI #1 | OCR | MENGUSULKAN MEMBAHAS SOP SISTEM 20 KV BERSAMA UPT |
| 6 | 13 DESEMBER 2019 | PANGKEP | TRAFO DISTRIBUSI #4 | GFR | PENGECEKAN PADA RELAI DAN SISTEM |
| 7 | 25 DESEMBER 2019 | PANGKEP | LINE MANDAI #1 | DISTANCE ZONE 1 FASA ST-N 12,7 KM | PENGECEKAN PADA RELAI DAN SISTEM |





Lampiran 4. Rekap Gangguan ULTG Maros Tahun 2020

REKAP GANGGUAN ULTG MAROS TAHUN 2020

| NO | TANGGAL | GARDU INDUK | BAY | INDIKASI | TINDAK LANJUT |
|----|------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 5 JANUARI 2020 | TELLO 150 KV | LINE MANDAI | DIFFERENTIAL FASA B-C | PENEBANGAN POHON |
| 2 | 7 JANUARI 2020 | TELLO 30 KV | INCOMING TRAFO DISTRIBUSI #1 | OCR GFR | PENORMALAN KEMBALI BEBAN INCOMING |
| 3 | 12 FEBRUARI 2020 | PANGKEP | LINE MANDAI #1 | DISTANCE ZONE 1 FT1 | SELECTOR SWITCH LAMBAT DIOPERASIKAN |
| 4 | 7 FEBRUARI 2020 | TELLO 150 KV | LINE MANDAI | DIFFERENTIAL FASA A-N | CUI, ROW & PENAMBAHAN PENTANAHAN |
| 5 | 19 MARET 2020 | PANGKEP | LINE MANDAI #1 | TRIP ABC ZONE 1, FT 9,3 KM | CUI, ROW & PENAMBAHAN PENTANAHAN |
| 6 | 22 MARET 2020 | DAYA | TRAFO DISTRIBUSI #1 | OIL TEMPERATUR TRIP | PEMBERSIHAN & PEMBERIAN |
| 7 | 6 JULI 2020 | TELLO 150 KV | IBT #3 | TIDAK ADA | PENGUJIAN TRIP |
| 8 | 14 JULI 2020 | MAROS | TRAFO DISTRIBUSI #2 | REF #2 | PEMBENAHAN WIRING |
| 9 | 2 SEPTEMBER 2020 | DAYA | INCOMING TRAFO DISTRIBUSI #1 | OCR GFR | PEMBERSIHAN & PENGGANTIAN BAUT |
| 10 | 8 SEPTEMBER 2020 | TELLO 30 KV | INCOMING TRAFO DISTRIBUSI #1 | TIDAK ADA | PEMBENAHAN WIRING |
| 11 | 19 OKTOBER 2020 | TELLO 30 KV | INCOMING TRAFO DISTRIBUSI #1 | GFR | PENORMALAN KEMBALI BEBAN INCOMING |
| 12 | 20 OKTOBER 2020 | TELLO 150 KV | LINE MANDAI | OCR (RST) | - |
| 13 | 25 NOVEMBER 2020 | PANGKEP | LINE MANDAI #1 | FT, DISTANCE ZONE 1 FASA T-N 21,1 KM | ROW DAN SAMPLING |



Lampiran 5 Laporan Gangguan 15 Agustus 2019

| | | |
|---|--|--|
|  <p>PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan dan Penyaluran Sulawesi Unit Pelaksana Transmisi Makassar Unit Layanan Transmisi Dan Gardu Induk Maros</p> | <p style="text-align: center;">LAPORAN GANGGUAN GARDU INDUK TELLO 150 KV</p> <p style="text-align: center;">Kamis, 15 Agustus 2019 pukul 5:45</p> | <p>Nomor : /ULTGL/1/2019 Kepada Yth. : Manajer UPT</p> |
| <p>I. KONDISI SISTEM SEBELUM GANGGUAN</p> <p><u>GI TELLO 150 KV</u> BAY TRAFODISTRIBUSI #1 Indikasi Relay : SBEF</p> <p>II. KRONOLOGIS GANGGUAN DATA GANGGUAN</p> <p>Pukul 05:45 PMT TRAFODISTRIBUSI #1 , GI TELLO 150 KV TRIP</p> <p>III PEMULIHAN GANGGUAN</p> <p>Pukul 06:47 PMT TRAFODISTRIBUSI #1 , GI TELLO 150 KV MASUK</p> <p>IV. AKIBAT GANGGUAN</p> <p>TRAFODISTRIBUSI #1 GI TELLO 150 KV KEHILANGAN TENAGA KEHILANGAN BEBAN : 248 A : 8,2 MW</p> <p>V. PENYEBAB GANGGUAN DAN ANALISA</p> <p>KABEL TANAH INCOMING BERMASALAH</p> <p>VI. KESIMPULAN / TINDAK LANJUT</p> <p>*Dilakukan pengecekan kondisi pada Terminal dan bagian Fisik dari Kabel Tanah Incoming *Dilakukan pengujian Tahanan Isolasi pada Kabel Tanah Incoming</p> <p>VII. PERKIRAAN PEMADAMAN</p> <p>Terjadi pemadaman pada penyulang asuhan Trafo Distribusi #1 GI TELLO 150 KV</p> <p>VIII. SARAN</p> <p>Masih dilakukan investigasi lebih lanjut.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>STAF HAR</p>  <p>ANSAR ANUGRAH</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Makassar, 15 Agustus 2019 SPV. OPHAR</p>  <p>ANDI IDIL FITRA R.</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>MANAJER ULTG</p>  <p>MOCH. MUNIP</p> </div> </div> <p>Tembusan :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Asman Penyaluran - Asman Operasi | | |

Lampiran 6. Lembar Catatan Konsultasi/Asistensi Skripsi

LEMBAR CATATAN KONSULTASI/ASISTENSI SKRIPSI
D4 TEKNIK LISTRIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

Nama /No. Induk Mahasiswa : ALFIN AKRAM DWI AMIR / 42118003

Judul Skripsi : ANALISIS Penerapan Fungsi dua tahap pada Relai Proteksi standby earth fault (SBSEF) Transformator 30 MVA condit induk nomor 20+150 KV

Pembimbing : 1. Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D.
 2. Muh. Imran Bachtiar, S.T., M.T.




| No. | Tgl | Uraian/Anjuran Pembimbing I | Tgl | Uraian/Anjuran Pembimbing II | Tanda Tangan | |
|-----|------|-----------------------------|-----|--|--------------|-------|
| | | | | | PB I | PB II |
| 1. | 13/4 | Perbaiki gambar diagram | | Kata pengantar ditambahkan | | |
| 2. | 19/4 | Perbaiki hasil Eku | | Kurangi lampiran yang tidak relevan | | |
| 3. | 28/4 | Penghitungan arus pi | | Daftar isi dirapikan | | |
| 4. | 28/4 | 19 (NGR) | | Kata per Huruf Performa setiap kata di Judul kapital | | |
| 5. | 21/5 | urutan nol (GFR) | | Perbaiki ringkasan | | |
| 6. | 21/5 | SBSEF | | Penggunaan Bahasa Inggris | | |
| 7. | 11/7 | perbaiki urutan m | | Perbaiki gambar | | |
| 8. | 22/7 | sem konsultasi | | | | |
| 9. | 23/7 | Acc | | | | |
| 10. | | | | | | |
| 11. | | | | | | |
| 12. | | | | | | |

Lampiran 7. Lembar Catatan/Daftar Revisi Penguji

**LAMPIRAN BERTA ACARA
PRELAKSANAAN UJIAN SIDANG SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : ALFIN AKRAM DWI AMIR
No. Stambuk : 42118003

Catatan/Daftar Revisi Penguji :

| No. | Nama | Uraian | Tanda Tangan |
|-----|------------------------|---|---|
| | (kurang) <i>kurang</i> | <i>Satuan SLD Grafik → jelaskan</i> |  |
| | Melengkapi form L | <ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki kam rele - Perbaiki latar belakang jika masalah ukuran - Bandingkan perhitungan rekaf 1 & tahap ke 2 - Hitung waktu benda & parameter yg mempengaruhi bendalari - Berikan penjelasan pada setiap grafik - Perbaiki tulisan hasil EYP - uraian masalah disuarikan dengan gambar pendirian - tabel jangan dipotong - Perbaiki flowchart - sebaiknya menggunakan referensi internasional (jurnal) & tahun terakhir - Perbaiki ringkasan |  |
| | Ahmad Rasyid I | - Perbaiki Hitungan. |  |

Makassar, 02 - 08 - 2022
Sekretaris Penguji,


Ahmad Rasyid Idris
Sarwa Thaha, S.T., M.T.
19781002 201504 2 001

Catatan

Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir Konfirmasi secepatnya ke Bagian Akademik