

Penerapan Fungsi Dua Tahap Pada Relai Proteksi Sbef Transformator
60 Mva Gardu Induk Sungguminasa



PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul "**Penerapan Fungsi Dua Tahap pada Relai Proteksi SBEF Transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa**", oleh Andi Yusril Asrida NIM 321 17 028.

Telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Tiga (D-3) pada Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Juli 2020

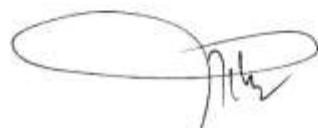
Mengesahkan,

Pembimbing I,



Ir. Hatma Rudito, M.T.
NIP. 195602021 988031 001

Pembimbing II,



Kurniawati Naim, S.T., M.T.
NIP. 198207152 010122 003

Mengetahui

Koordinator Program Studi,



Ruslan L., S.T., M.T.
NIP 19640918 199003 1 002

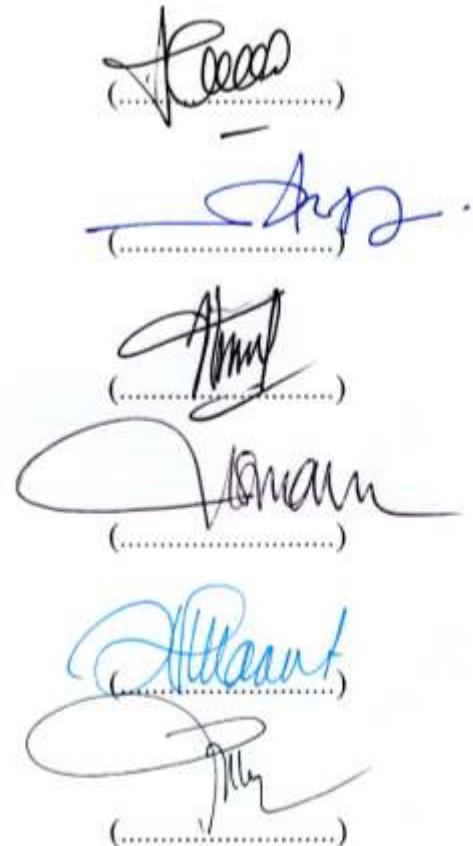
HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Selasa tanggal 11 Agustus 2020 Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa: Andi Yusril Asrida NIM 321 17 028 dengan judul **Penerapan Fungsi Dua Tahap pada Relai Proteksi SBEF Transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa.**

Makassar, 11 Agustus 2020

Tim Penguji Laporan Tugas Akhir:

- | | |
|--------------------------------|------------|
| 1. Aksan, S.T., M.T. | Ketua |
| 2. Sofyan, S.T., M.T. | Sekretaris |
| 3. Ir. H. Ahmad Gaffar, M.T. | Anggota |
| 4. Usman, S.T., M.T. | Anggota |
| 5. Ir. Hatma Rudito, M.T. | Anggota |
| 6. Kurniawati Naim, S.T., M.T. | Anggota |



The image shows six handwritten signatures in black ink, each accompanied by a corresponding dotted line for a signature. The signatures are: 1. Aksan (top left), 2. Sofyan (middle left), 3. Ahmad Gaffar (middle right), 4. Usman (bottom left), 5. Hatma Rudito (bottom middle), and 6. Kurniawati Naim (bottom right). Each signature is placed above its respective dotted line.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Penerapan Fungsi Dua Tahap pada Relai Proteksi SBEF Transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa” dapat diselesaikan dengan baik.

Selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini, banyak pengalaman berharga serta ilmu bermanfaat yang diperoleh. Maka pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak atas bimbingan, motivasi, dan saran yang telah diberikan kepada penulis, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Bapak Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Ruslan L, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Hatma Rudito, M.T. sebagai Pembimbing I dan Ibu Kurniawati Naim, S.T., M.T. sebagai Pembimbing II yang mana keduanya dengan penuh kesabaran memberikan bantuan, dorongan dan bimbingan sejak awal penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Segenap Dosen dan Staf pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Nursalam Sappe Rikki, selaku Manager PT PLN (Persero) ULTG Panakkukang.

7. Staf dan Pegawai PT PLN (Persero) ULTG Panakkukang.
8. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung penulis dengan penuh kasih sayang.
9. Saudara - saudari kelas 3B D3 Teknik Listrik.
10. Teman – teman Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro.

Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Karena penulis merupakan mahasiswa yang mempunyai keterbatasan ilmu pengetahuan dan juga sebagai manusia biasa yang tidak luput dari kesalahan. Maka dari itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi memajukan pihak penulis, maupun bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan ilmu bermanfaat bagi para pembacanya, serta semoga amal baik semua pihak yang telah membantu mendapat balasan yang setara dari Allah SWT.

Makassar, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	Hal i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
SURAT PERNYATAAN	xiii
RINGKASAN.....	xiv
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 Proteksi.....	4
2.2 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	5
2.2.1 Faktor-Faktor Penyebab Gangguan	5
2.2.2 Jenis Gangguan.....	5
2.3 Komponen Simetris.....	7
2.3.1 Besaran Perunit.....	7

2.3.2	Analisa Hubung Singkat	8
2.3.3	Pengertian Fasor Komponen Simetris	10
2.4	Persyaratan Relai Proteksi	12
2.3.1	Cepat	12
2.3.2	Selektif	13
2.3.3	Sensitif	13
2.3.4	Andal	14
2.5	Proteksi Transformator Tenaga	14
2.6	<i>Neutral Grounding Resistor</i>	19
2.7	Karakteristik Relai	22
2.7.1	<i>Instantaneous</i>	22
2.7.2	<i>Definite Time</i>	22
2.7.3	<i>Inverse</i>	22
2.8	Relai SBEF	26
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2	Prosedur Penelitian	29
3.3	Teknik Pengumpulan Data	31
3.4	Teknik Analisis Data	32
BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI		Error! Bookmark not defined.
4.1	Hasil kegiatan	Error! Bookmark not defined.
4.1.1	<i>Single Line Diagram</i> GI Sungguminasa	Error! Bookmark not defined.
4.1.2	Data Teknis Gardu Induk Sungguminasa ...	Error! Bookmark not defined.
4.1.3	Data <i>Setting</i> Relai OCR dan GFR sisi 150 kV	Error! Bookmark not defined.
4.1.4	Data <i>Setting</i> Relai OCR dan GFR sisi 20 kV <i>Incoming</i>	Error! Bookmark not defined.

4.1.5 Data <i>Setting</i> Relai OCR GFR sisi 20 kV Penyulang	Error! Bookmark not defined.
4.2 Deskripsi Hasil Kegiatan.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Transformator dan <i>Setting</i> Relai SBEF	Error! Bookmark not defined.
4.2.2 Simulasi Koordinasi antara Relai Proteksi SBEF dengan GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada Transformator Menggunakan Aplikasi ETAP 12.6.0.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.3 Langkah-langkah Penerapan dan Pengujian Fungsi Dua Tahap Relai Proteksi SBEF ...	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Besar nilai setting GFR dan SBEF	21
Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator #2 Gardu Induk Sungguminasa	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 4.2 Data Sistem Pentanahan Transformator #2 Gardu Induk	
Sungguminasa.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Data Setting Relai OCR GFR sisi 150 kV	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4 Data Setting Relai OCR dan GFR sisi 20 kV Incoming	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 4.5 Data Setting Relai OCR GFR sisi 20 kV penyulang.....	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Nilai Base Transformator, Sumber dan	
Penyulang	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7 Data yang dimasukkan di etap.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Relai Standby Earth Fault Dua Tahap	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Uji dan Teori ...	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Zona sistem proteksi	4
Gambar 2.2 Kondisi fasor komponen simetris	10
Gambar 2.3 Urutan fasor komponen positif	11
Gambar 2.4 Urutan fasor komponen negatif	11
Gambar 2.5 Urutan Fasor Komponen Urutan Nol	12
Gambar 2.6 Gangguan Pada Titik K	13
Gambar 2.7 Proteksi Transformator Tenaga	14
Gambar 2.8 Daerah Kerja Proteksi Trafo Tenaga Dengan Kondisi Normal..	15
Gambar 2.9 Daerah Kerja Proteksi Trafo Tenaga dengan Kondisi Gangguan	16
Gambar 2.10 Relai Bucholz	18
Gambar 2.11 Relai Tekanan Lebih.....	18
Gambar 2.12 Relai Suhu.....	19
Gambar 2.13 Relai Jansen	19
Gambar 2.14 Pentanahan Langsung dan Pentanahan Melalui NGR	20
Gambar 2.15 Kurva Karakteristik Standard Inverse	23
Gambar 2.16 Kurva Karakteristik Very Inverse.....	24

Gambar 2.17 Kurva Karakteristik Extremely Inverse	25
Gambar 2.18 Kurva Karakteristik Long Time Inverse.....	26
Gambar 2.19 Skema Wiring Standby Earth Fault (SBEF).....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian.....	30
Gambar 4.1 Single Line Diagram GI Sungguminasa....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Rangkaian impedansi urutan nol dan positif/negatif trafo...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3 Rangkaian Ekivalen Perhitungan Arus Hubung Singkat 1 Fasa di Bus 20 kV.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4 Pemodelan Diagram Satu Garis Koordinasi Proteksi SBEF dengan GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada Transformator....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5 Simulasi Gangguan Arus Hubung Singkat phasa - ground di sisi Penyulang (Outgoing)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.6 Tampilan Sequence Viewer.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.7 Simulasi Gangguan Arus Hubung Singkat phasa - phasa di sisi Penyulang (Outgoing)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.8 Tampilan Sequence Viewer.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.9 Tampilan Setelah Membuat Data Setting Baru	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.10 Setting CT Ratio	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.11 Setting Lama Relai SBEF.....	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.12 Setting Fungsi Dua Tahap Relai SBEF ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13 Sumber Arus Sverker 760.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14 Stop Input Sverker 760**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.15 Pengoperasian Sverker 760**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16 Main Knob Sverker**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR LAMPIRAN	Hal
Lampiran 1. Schematic Diagram Micom P122/123	38
Lampiran 2. Penerapan Setting Relai SBEF Fungsi Dua Tahap	39
Lampiran 3. Pengujian Relai SBEF Fungsi Dua Tahap	39
Lampiran 4. Transformator #2 Gardu Induk Sungguminasa.....	40
Lampiran 5. Pengujian Fungsi LED Relai	40
Lampiran 6. Pengujian Fungsi Trip PMT.....	41
Lampiran 7. Injeksi CT NGR	41
Lampiran 8. Laporan Hasil Pengujian Relai SBEF Fungsi Dua Tahap	42

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andi Yusril Asrida

NIM : 321 17 028

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **Penerapan Fungsi Dua Tahap pada Relai Proteksi SBEF Transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa** 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 Laporan Tugas Akhir ini.

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

Makassar, Agustus 2020



RINGKASAN

PENERAPAN FUNGSI DUA TAHAP PADA RELAI PROTEKSI SBEF TRANSFORMATOR 60 MVA GARDU INDUK SUNGGUMINASA

Oleh:
Andi Yusril Asrida
32117028

Sistem proteksi pada Transformator terdiri dari proteksi utama dan proteksi cadangan. Relai SBEF (*Standby Earth Fault*) merupakan relai cadangan Transformator yang berfungsi untuk melindungi NGR (*Neutral Grounding Resistor*) di sisi netral sekunder transformator. Relai SBEF pada awalnya 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 ini adalah untuk menganalisis arus hubung singkat dari transformator 60 MVA di Gardu Induk Sungguminasa beserta *setting* dari Relai SBEF, menganalisis koordinasi Relai SBEF dan GFR (*Ground Fault Relay*) berdasarkan simulasi di aplikasi ETAP 12.6.0 dan mengetahui langkah-langkah dari penerapan dan pengujian Relai SBEF dua tahap. Metode dalam penelitian ini berupa studi literatur, observasi dan wawancara. Data yang digunakan adalah data teknis Gardu Induk Sungguminasa yang terdiri dari spesifikasi transformator, data impedansi sumber dan *setting* terbaru yaitu fungsi dua tahap SBEF. Data lainnya ialah *setting* GFR untuk mengetahui koordinasi antara GFR dan SBEF. Data – data tersebut diperoleh dari hasil *download* Relai secara langsung di lapangan dan *setting* baru yang diperoleh dari *staff* pemeliharaan yang bertugas untuk *resetting*/ menerapkan fungsi dua tahap Relai 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. Sedangkan berdasarkan hasil pengujian *%error* terbilang kecil jadi bisa disimpulkan bahwa *setting* sudah benar dan relai dalam kondisi baik.

Kata kunci : Transformator, NGR, SBEF, Koordinasi, Fungsi Dua Tahap.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem proteksi merupakan suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik yang diakibatkan adanya gangguan seperti gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya. Sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

Pola proteksi transformator harus dapat mengamankan transformator dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. Untuk gangguan internal, transformator memiliki proteksi mekanik dan proteksi elektrik, sedangkan untuk gangguan eksternal 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). Sedangkan *Standby Earth Fault* (SBEF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor dan fungsinya lebih mengamankan *Netral Grounding Resistor* (NGR).

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) akan tetapi prinsip tersebut terkadang sangat merugikan karena biasanya penyebab gangguan berada di sisi beban (sisi 20 kV). Jadi 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.

Dari beberapa hal tersebut mendorong penulis untuk melakukan penelitian pada relai SBEF transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa. Maka dari itu penulis akan menulis tugas akhir yang berjudul **“Penerapan Fungsi Dua Tahap pada Relai Proteksi SBEF Transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa”**.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa arus hubung singkat transformator dan *setting* Relai SBEF?
2. Bagaimana simulasi koordinasi antara relai proteksi SBEF dengan relai GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada transformator menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0?
3. Bagaimana langkah – langkah penerapan dan pengujian fungsi dua tahap pada relai proteksi SBEF pada transformator?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Agar pembahasan terfokus dan tidak menyimpang, maka ruang lingkup tugas akhir 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 12.6.0.

3. Penerapan dan pengujian fungsi dua tahap relai proteksi SBEF pada transformator dilakukan pada Gardu Induk Sungguminasa pada periode 2020.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis perhitungan arus hubung singkat transformator dan *setting* Relai SBEF.
2. Menganalisis simulasi koordinasi antara relai proteksi SBEF dengan relai GFR sisi 150 kV dan 20 kV pada transformator menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0.
3. Mengetahui langkah – langkah dari penerapan dan pengujian fungsi dua tahap relai proteksi SBEF pada transformator.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Secara umum, manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah menambah pengetahuan dan wawasan penulis tentang relai proteksi transformator khususnya pada pengaman NGR yaitu relai SBEF (*Standby Earth Fault*). Selain itu penelitian ini juga dapat menjadi sumber informasi bagi mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang khususnya Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik tentang bagaimana keandalan relai SBEF setelah diterapkannya fungsi dua tahap tersebut. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi PT. PLN (Persero).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

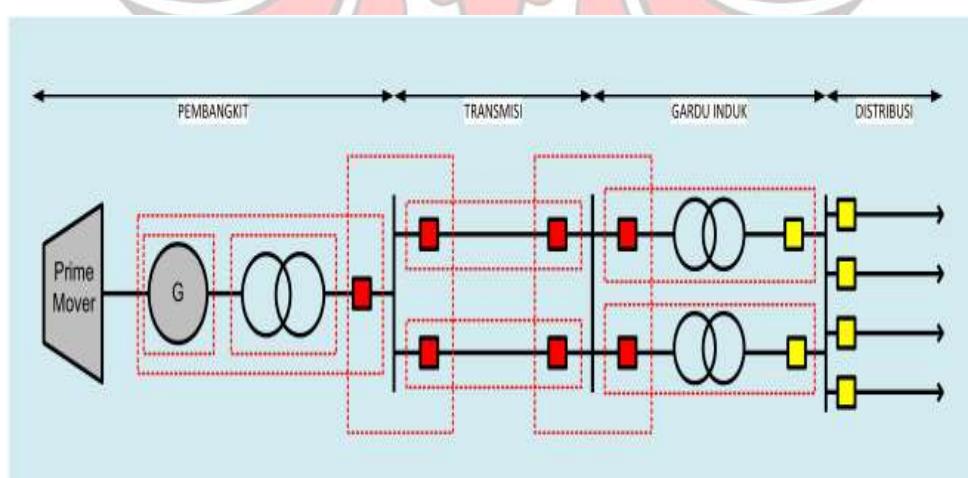
2.1 Sistem Proteksi

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 di minimalisasi (PT. PLN Persero, 2009a).

Sistem proteksi terdiri dari :

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

Pada Gambar 2.1 diperlihatkan gambaran umum zona sistem proteksi.



Gambar 2.1 Zona sistem proteksi

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

2.2 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

2.2.1 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. Hal ini bisa mengurangi sensitivitas relai pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.
- 3) Faktor eksternal, ini meliputi gangguan-gangguan yang bersal dari lingkungan di sekitar sistem. Misalnya cuaca, gempa bumi, banjir, dan sambaran petir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan dari binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan sebagainya (Aryanto dkk., 2013).

2.2.2 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 bertemuannya 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 (Aryanto dkk., 2013).

2.3 Komponen Simetris

2.3.1 Besaran Perunit

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. Besaran perunit digunakan untuk menyederhanakan perhitungan pada sistem yang memiliki lebih dari 2 tegangan saling terkoneksi. Jika besaran per-unit dikalikan 100 persen maka didapat besaran dalam persen. Besaran per-unit lebih disukai karena perkalian atau pembagian antara dua besaran per-unit menghasilkan besaran per-unit pula (Karyana, 2013).

Berikut ini persamaan untuk menghitung nilai *base*.

$$Z_{S1} = \frac{\sqrt{R_{S1}^2 + X_{S1}^2}}{Z_{b, HV}} \dots \quad (2.6)$$

$$Z_{S2} = \frac{\sqrt{R_{S2}^2 + X_{S2}^2}}{Z_{b,UV}} \dots \quad (2.7)$$

$$Zp2 = \frac{\sqrt{Rp2^2 + Xp2^2}}{Zb \cdot LV} \dots \quad (2.10)$$

Dimana,

Zb HV : impedansi dasar sisi primer

Zb HV : impedansi dasar sisi sekunder

Ib HV : arus dasar sisi primer

Ib LV : arus dasar sisi sekunder

Zs1 : impedansi urutan positif sumber

Zs2 = impedansi urutan negatif sumber

Zs0 = impedansi urutan nol sumber

Zp1 = impedansi urutan positif beban

Zp2 = impedansi urutan negatif beban

Zp0 = impedansi urutan nol beban

Analisa Hubung Singkat

2.3.2 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.

Karena begitu 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.

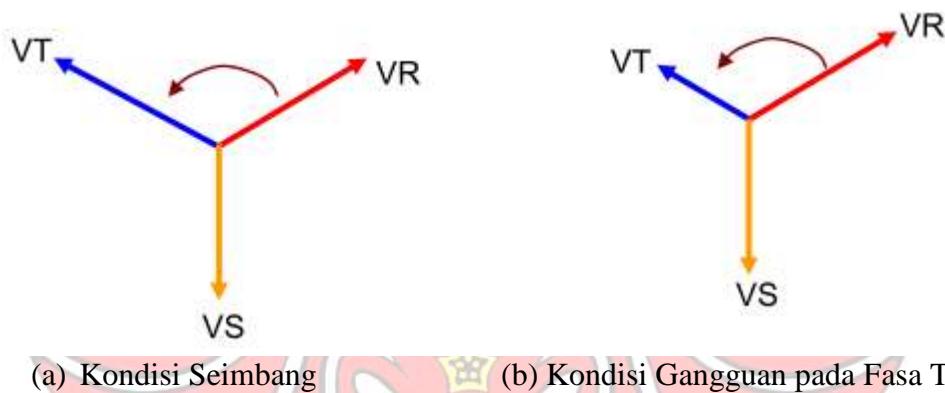
Gangguan tidak simetris pada saluran transmisi tiga fasa dapat disebabkan oleh hubung singkat, perbedaan impedansi akibat pembebahan yang tidak sama, dan penghantar terbuka (*open circuit*). Untuk melakukan analisis dalam rangkaian tiga fasa yang tidak seimbang dapat dilakukan dengan menggunakan metoda 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 popular dan hingga saat ini banyak digunakan oleh para enjinir 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 (Karyana, 2013).

2.3.3 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 2.2 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 2.2.b)



Gambar 2.2 Kondisi fasor komponen simetris

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

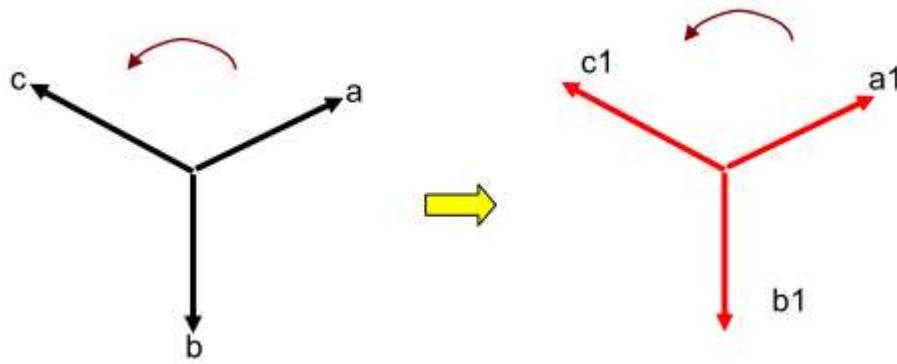
Menurut teori komponen simetris, fasor -fasor pada jaringan tiga fasa yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi 3 fasor yang seimbang, yaitu :

- 1) Komponen urutan positif

Sifat-sifat :

- a) Terdiri dari 3 fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 1 : a_1, b_1 dan c_1 .
- b) Beda sudut antar fasor adalah 120° .

c) Mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya, yaitu berlawanan dengan arah jarum jam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



(a) Urutan Fasor Aslinya

(b) Urutan Positif

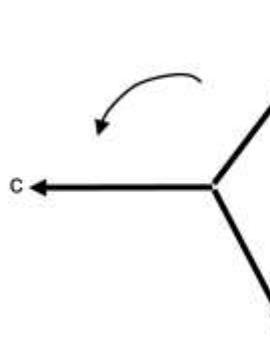
Gambar 2.3 Urutan fasor komponen positif

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

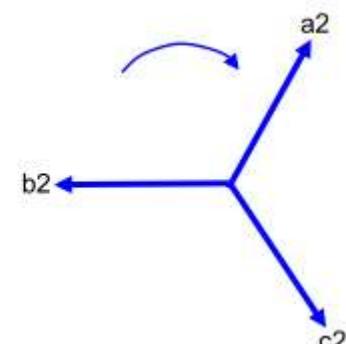
2) Komponen urutan negatif

Sifat-sifat :

- Terdiri dari tiga fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 2 : a_2 , b_2 dan c_2 .
- Beda sudut antar fasor adalah 120° .
- Mempunyai urutan fasa yang berlawanan arah dengan fasor aslinya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



(a) Urutan Fasor Aslinya



(b) Urutan Negatif

Gambar 2.4 Urutan fasor komponen negatif

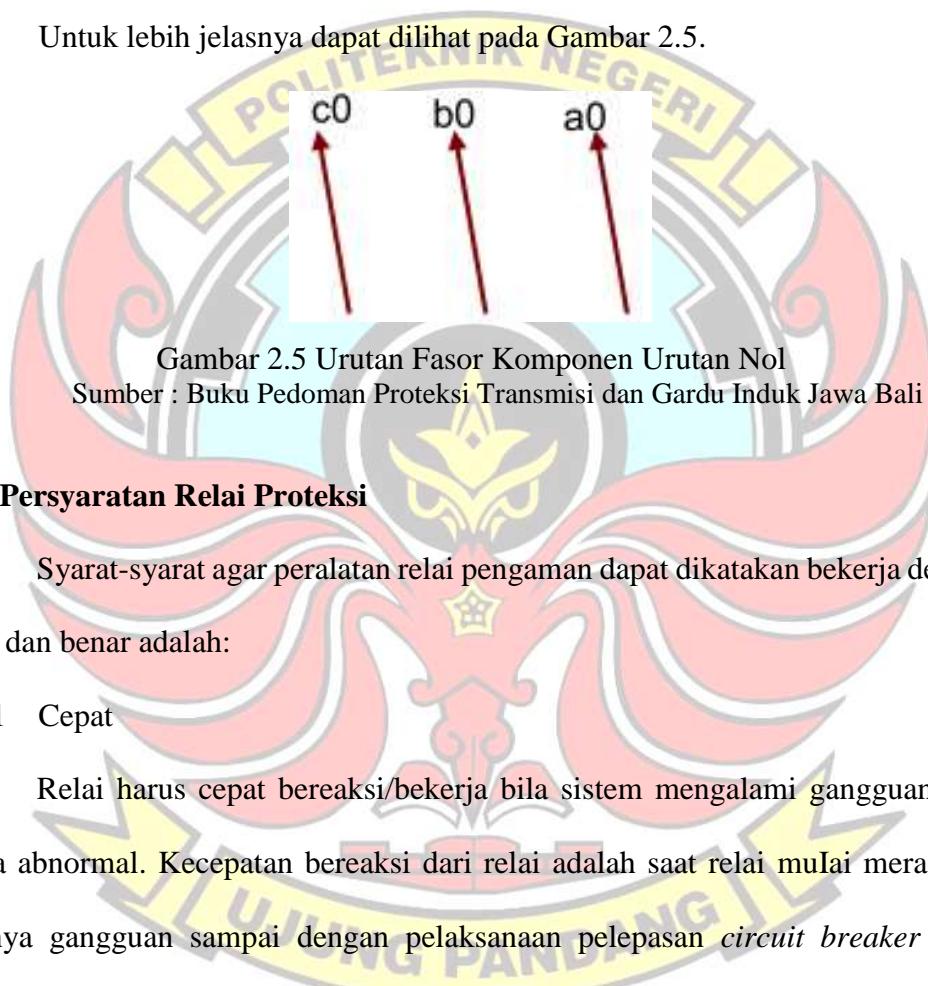
Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

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 2.5.



Gambar 2.5 Urutan Fasor Komponen Urutan Nol

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

2.4 Persyaratan Relai Proteksi

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

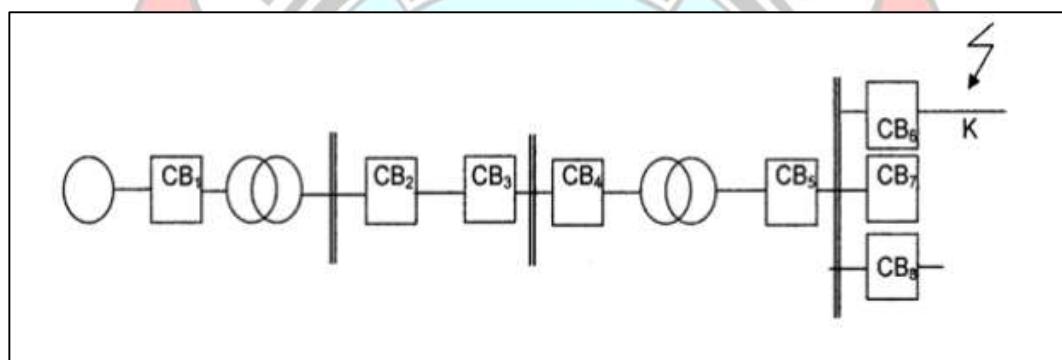
2.3.1 Cepat

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 (Tasiam, F.J., 2017).

2.3.2 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 relay pengaman 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 2.6 tentang gangguan pada titik K.



Gambar 2.6 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 (Tasiam, F.J., 2017).

2.3.3 Sensitif

Relai harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan didaerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban/*response* (Tasiam, F.J., 2017).

2.3.4 Andal

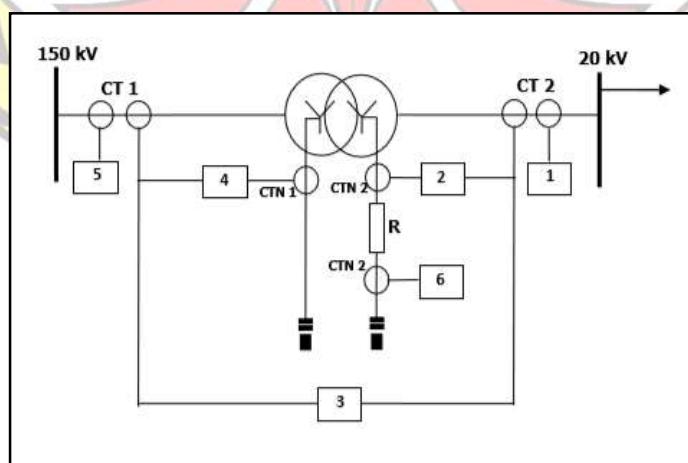
Keandalan relai dihitung dengan jumlah relai bekerja/mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relai dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % - 99%. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 X dan relai dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 X, maka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

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

- 1) *Dependability* : relai harus dapat diandalkan setiap saat.
- 2) *Security* : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja (Tasiam, F.J., 2017).

2.5 Proteksi Transformator Tenaga

Untuk memperoleh efektifitas, 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 2.7 mengenai gambaran umum proteksi transformator tenaga.



Gambar 2.7 Proteksi Transformator Tenaga
Sumber : Buku Diklat Relai Proteksi Trafo Tenaga dan Daerah Kerjanya

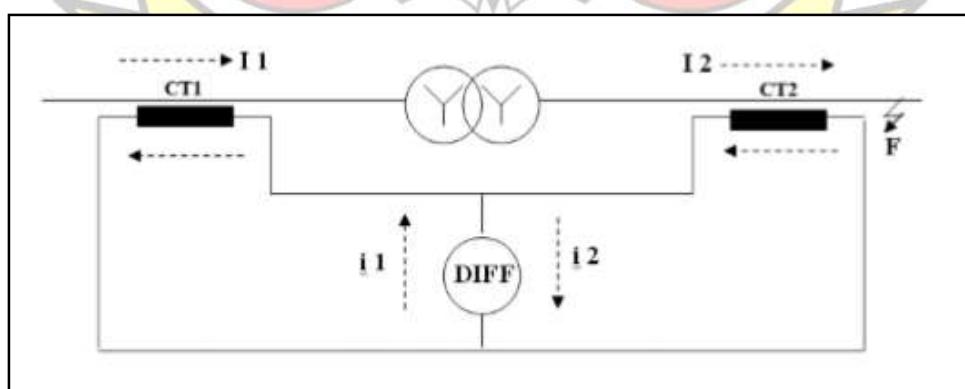
Relai No. 1 adalah OCR/GFR *Incoming* 20 kV yang fungsinya adalah untuk mendeteksi gangguan phasa-phasa dan phasa-tanah pada rel (*Bus*) 20 kV atau sebagai cadang (*back up*) proteksi OCR/GFR *outgoing* 20 kV.

Relai No. 5 adalah OCR/GFR sisi 150 kV yang fungsinya adalah sbb :

- 1) Sebagai pengaman cadangan relai *Differential* dan REF (bila terjadi gangguan di daerah relai *Differential* & REF tetapi relai *Differential* maupun REF tidak bekerja).
- 2) Sebagai pengaman cadangan OCR/GFR *Incoming* (bila terjadi gangguan di *bus* 20 kV tetapi OCR/GFR *Incoming* tidak bekerja).

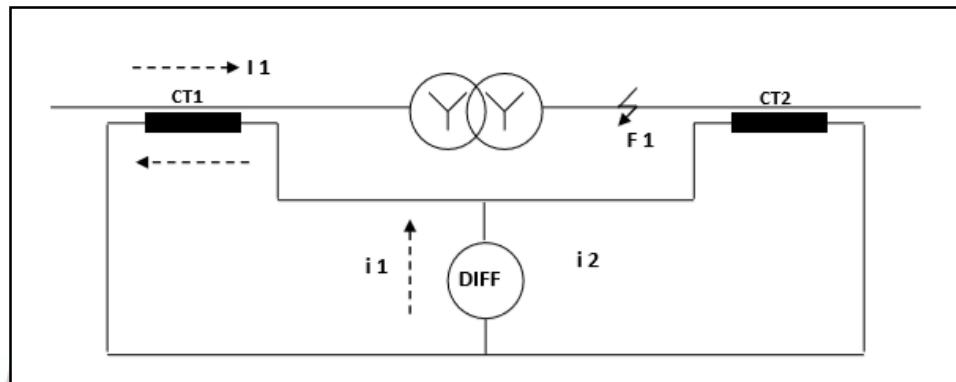
Relai No. 2 & 4 adalah Relai REF (*Restricted Earth Fault*) yang fungsinya adalah sebagai pengaman utama untuk mendeteksi gangguan hubung tanah pada daerah/sebagian kumparan yang tidak dapat dideteksi oleh relai *Differential*.

Relai No. 3 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 2.8 mengenai daerah kerja proteksi trafo tenaga dengan kondisi normal.



Gambar 2.8 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 2.9 mengenai daerah kerja proteksi trafo tenaga dengan kondisi gangguan.



Gambar 2.9 Daerah Kerja Proteksi Trafo Tenaga dengan Kondisi Gangguan
Sumber : Buku Diklat Relai Proteksi Trafo Tenaga dan Daerah Kerjanya

Kondisi gangguan di F_1 , 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) Phasa – phasa 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) Mencocokan arus yang masuk ke relai *Differential* dari masing-masing sisi (disebut penyesuaian arus).
- 2) Mencocokan pergeseran phasa dari arus-arus yang akan masuk ke relai *Differential* (disebut penyesuaian phasa).

Relai No. 6 adalah relai SBEF (*Standby Earth Fault*) yang fungsinya adalah untuk mendeteksi gangguan phasa – tanah. Untuk mengetahui *setting* relai elektrik transformator, terlebih dahulu menghitung arus nominal dan Impedansinya menggunakan persamaan berikut.

$$\text{In HV} = \frac{S \times 1000}{V_{hv} \times \sqrt{3}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

$$\text{In LV} = \frac{S \times 1000}{V_l v_x \sqrt{3}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.13)$$

Dimana.

In HV = Arus nominal sisi primer

Jn 1,4 = Arus nominal sisi sekunder

Z_{hy} = Impedansi sisi primer

Z_{ly} = Impedansi sisi sekunder

Relai No. 1 s.d 6 tersebut di atas adalah relai proteksi adalah jenis proteksi elektrik, sedangkan yang jenis proteksi mekanik adalah sbb :

- 1) *Buchholz* : Mendeteksi adanya gas yang timbul dalam tangki utama trafo (fungsi alarm dan trip). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Relai *Buchholz*

Sumber : Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga

- 2) Tekanan Lebih (*Sudden Pressure*) : Mendeteksi gangguan yang ditumbulkan adanya tekanan lebih (fungsi trip). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 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 2.12.



Gambar 2.12 Relai Suhu

Sumber : Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga

- 4) Jansen (*Buchholz Tap Changer*) : Mendeteksi adanya gas yang timbul dalam tangki OLTC (*Tap Changer*) trafo (fungsi alarm dan trip). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Relai Jansen

Sumber : Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga

2.6 *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 (PT. PLN Persero, 2014b). Berikut ini pada persamaan 2.16 rumus untuk menghitung arus nominal NGR.

Dimana,

V_{lv} = tegangan sekunder transformator (kV)

R_s = resistansi/ tahanan pentahanan sekunder transformator (Ω)

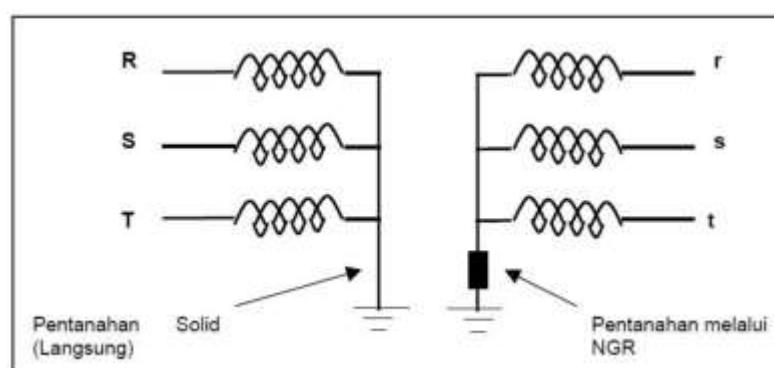
Ada dua jenis NGR yaitu :

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 2.14 mengenai perbedaan pentanahan langsung (solid) dan pentanahan melalui NGR.



Gambar 2.14 Pentanahan Langsung dan Pentanahan Melalui NGR
Sumber : Buku Pedoman Transformator Tenaga PT. PLN Persero

Sistem pentanahan transformator akan mempengaruhi besar arus gangguan hubung singkat fasa – tanah disisi tegangan rendah transformator, sehingga *setting* arus kerja dari GFR dan SBEF akan bervariasi, tergantung dari jenis pentanahan transformator (PT. PLN Persero, 2013). 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
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 highset : 3* In	500 ms (<i>definite</i>)	-	-

Sumber : Buku Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali

2.7 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).

2.7.1 *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.

2.7.2 *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.

2.7.3 *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)

Yaitu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang standar. Rumus karakteristik relai *standard inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.17 berikut.

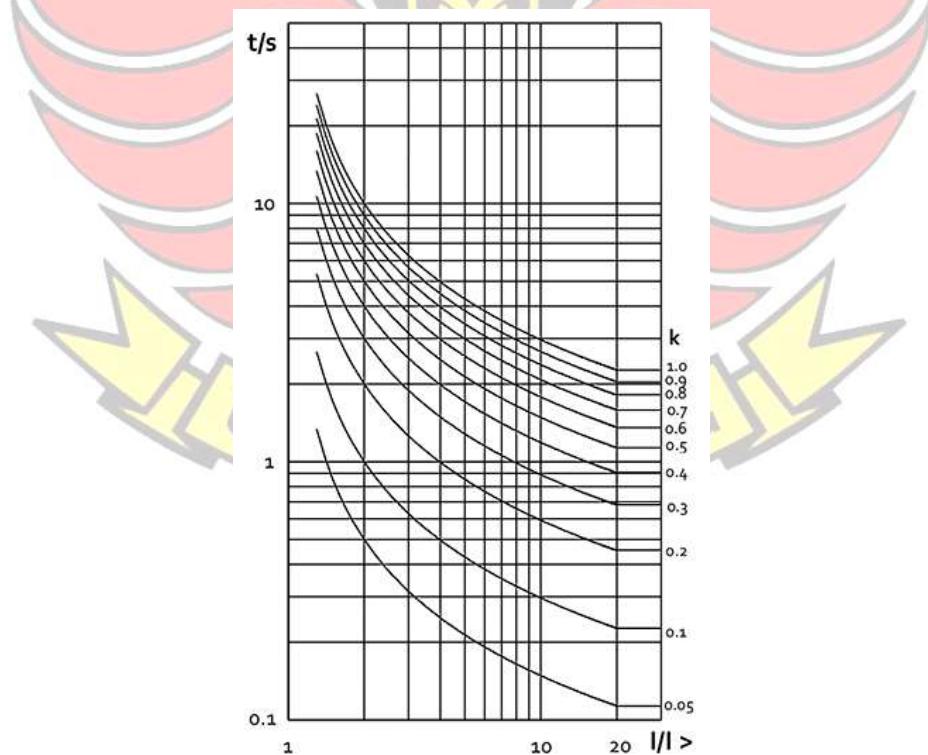
Dimana,

Tms : *Time Multiple Second*

Ihs : Arus hubung singkat (arus gangguan)

Is : Arus kerja (arus *setting*)

Untuk lebih jelasnya mengenai *standard inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.15 berikut.

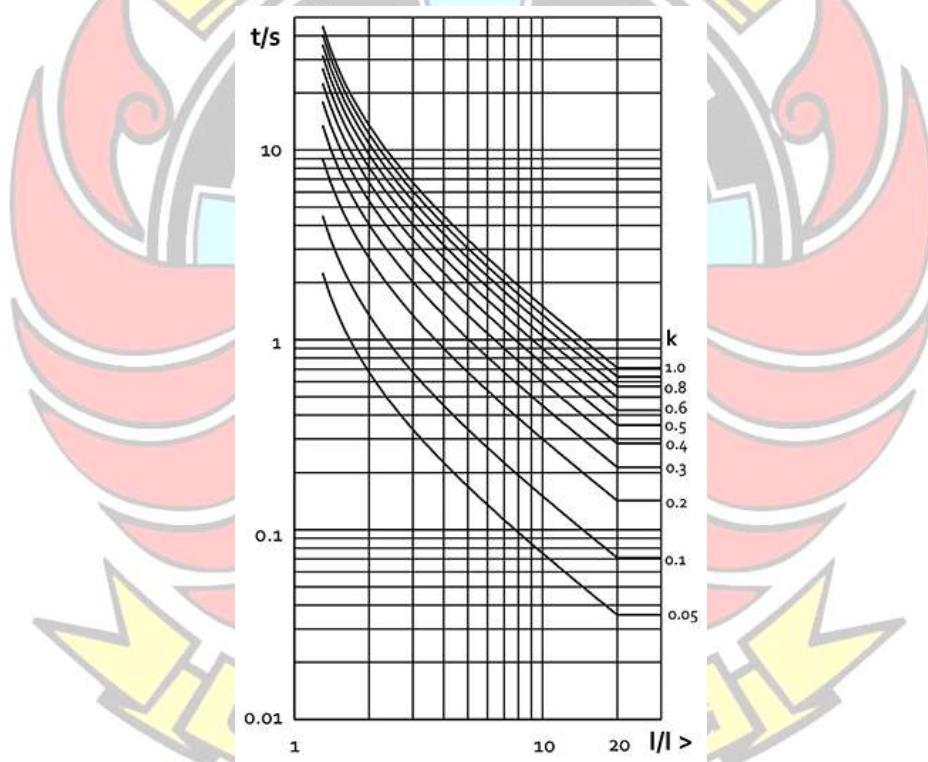


Gambar 2.15 Kurva Karakteristik *Standard Inverse*

2) *Very Inverse* (VI)

Yaitu 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 persaman 2.18 berikut.

Untuk lebih jelasnya mengenai *very inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.16 berikut.



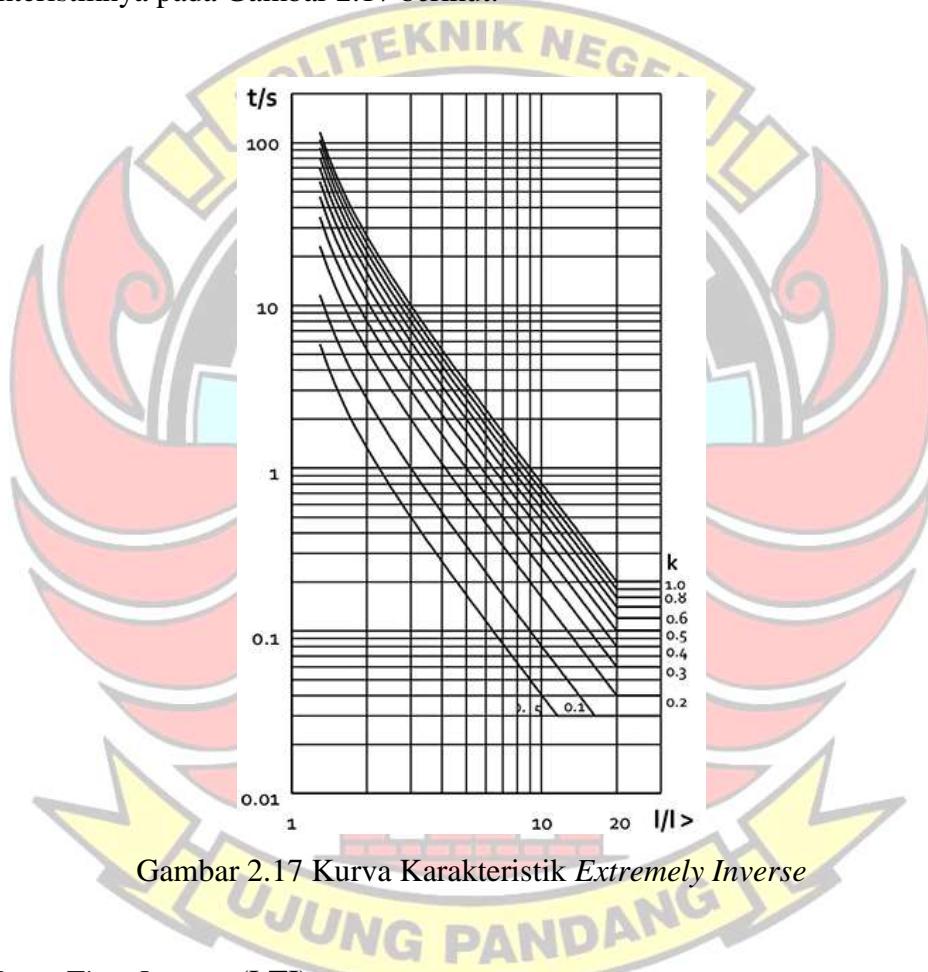
Gambar 2.16 Kurva Karakteristik *Very Inverse*

3) *Extremely Inverse* (EI)

Yaitu 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 persaman 2.19 berikut.

Untuk lebih jelasnya mengenai *extremely inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.17 berikut.



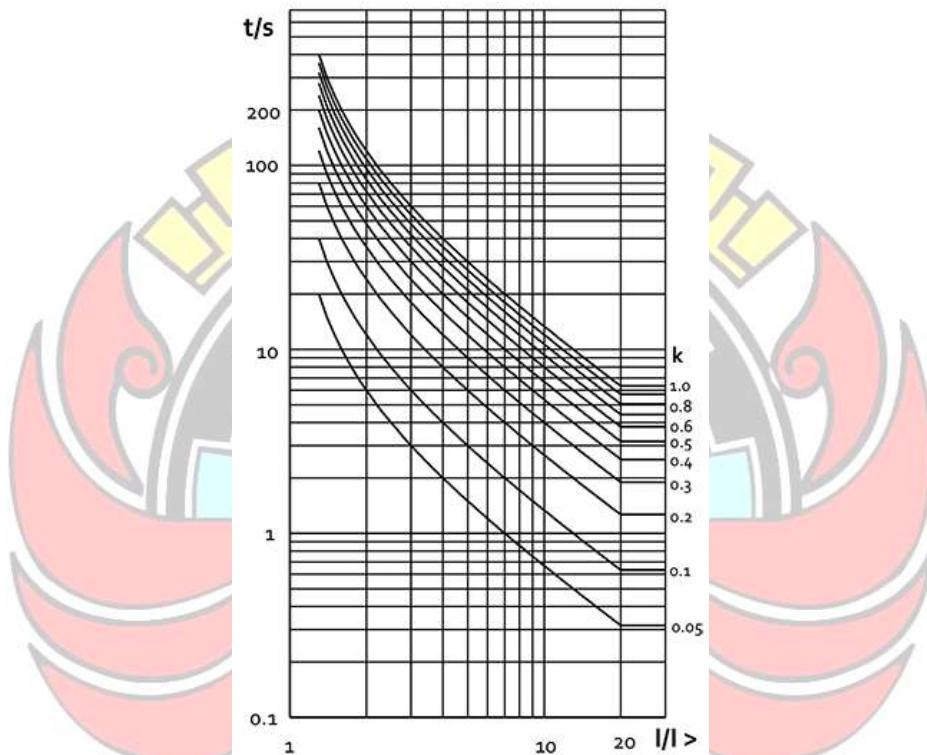
Gambar 2.17 Kurva Karakteristik *Extremely Inverse*

4) *Long Time Inverse (LTI)*

Yaitu 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 persaman 2.20 berikut.

Untuk lebih jelasnya mengenai *long time inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.18 berikut.

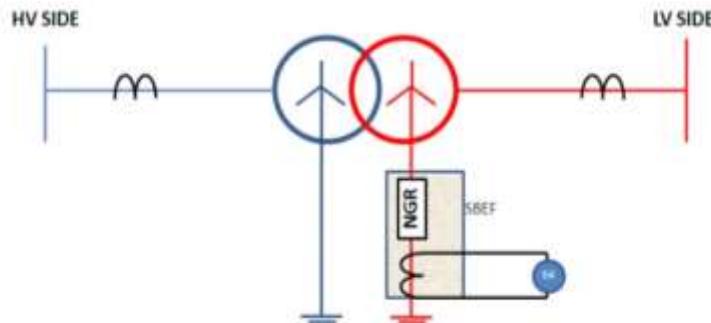


Gambar 2.18 Kurva Karakteristik *Long Time Inverse*

2.8 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 2.19 berikut.



Gambar 2.19 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) Sensitifitas 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* (Karyana, 2013).

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 2.21, 2.22 dan 2.23 berikut.

$$T_{ms \text{ tahap } 1} = \frac{\left(\frac{\ln NGR}{I_{set}} - 1 \right) \times ts}{120} \quad \dots \dots \dots \quad (2.22)$$

$$T_{ms \text{ tahap } 2} = \frac{\left(\frac{\ln NGR}{I_{set}} - 1 \right) \times (ts+1)}{120} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana,

ts = waktu tunda

In NGR = arus nominal NGR



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

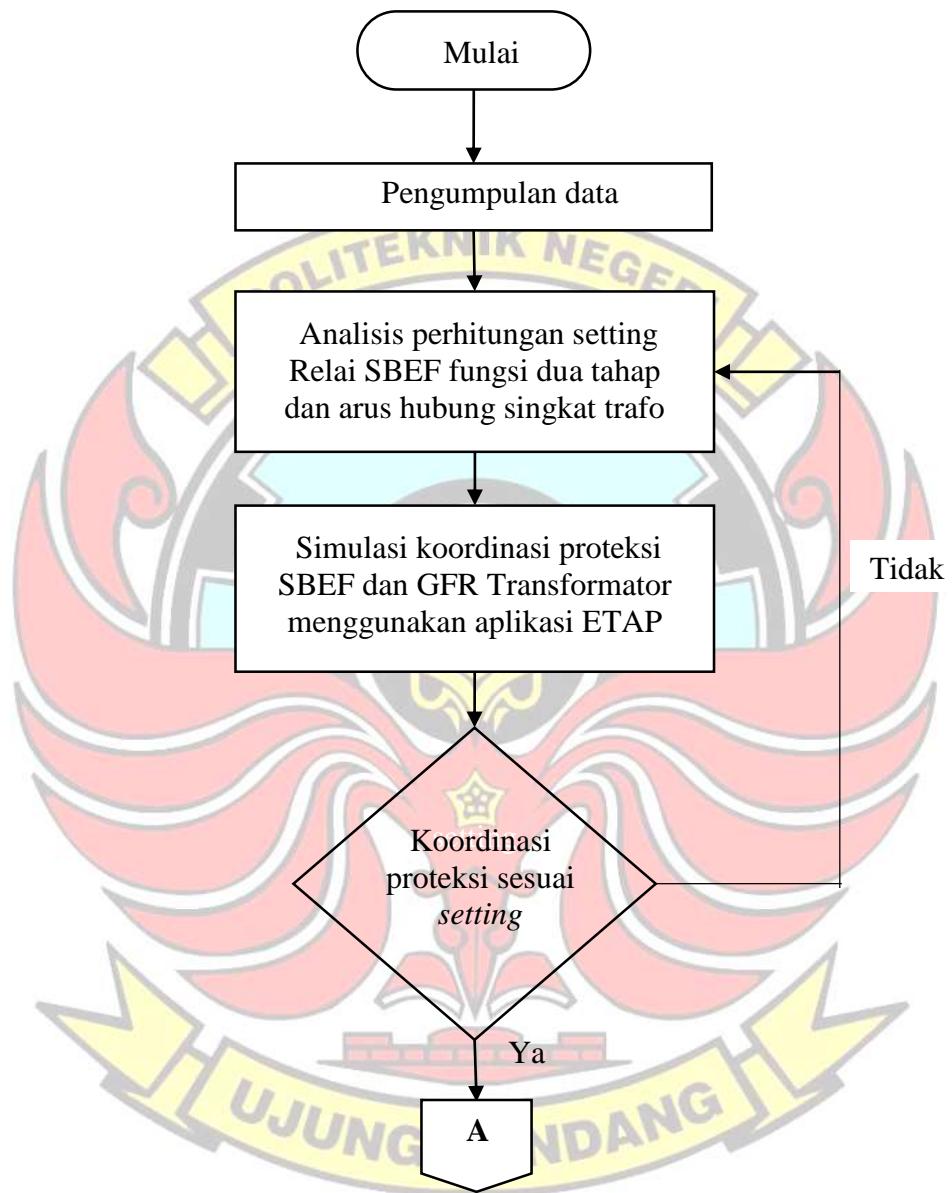
Penelitian ini dilaksanakan pada Selasa, 12 Februari 2020 di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sungguminasa yang beralamat kantor di Tatebatu, Kec. Palangga, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan 92119.

3.2 Prosedur Penelitian

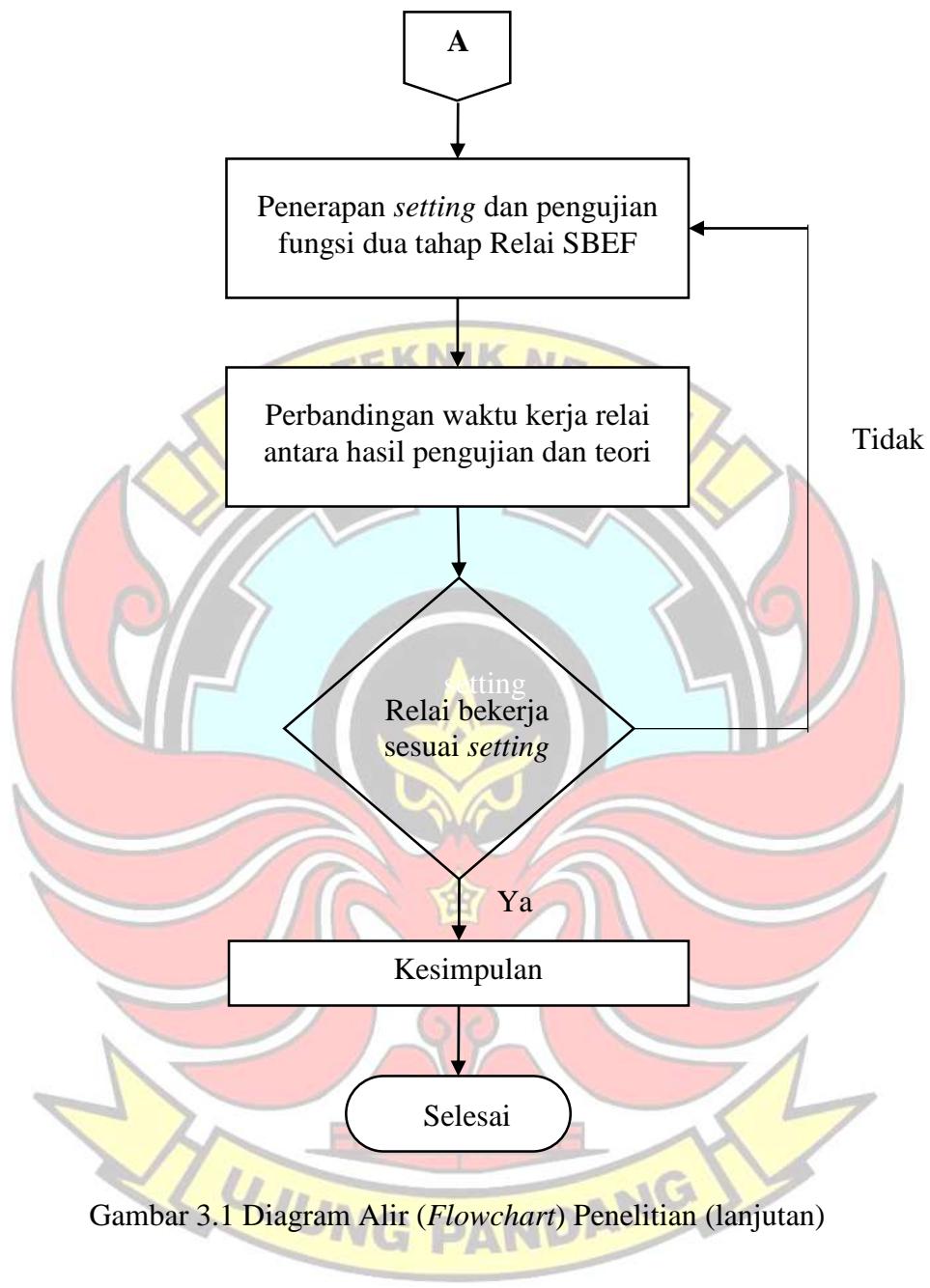
Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian hingga penyelesaian laporan dilakukan secara terstruktur, sistematis dan terarah. Berikut langkah-langkah yang menjadi acuan dari penulis:

- 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



Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) Penelitian (lanjutan)

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik atau metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini tentang “Penerapan Fungsi Dua Tahap pada Relai Proteksi SBEF Transformator 60 MVA Gardu Induk Sungguminasa” 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 Panakkukang maupun buku panduan dari PT PLN (Persero) yang dapat menunjang dan membantu proses pembuatan dalam penggerjaan tugas akhir ini.

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) Panakkukang.

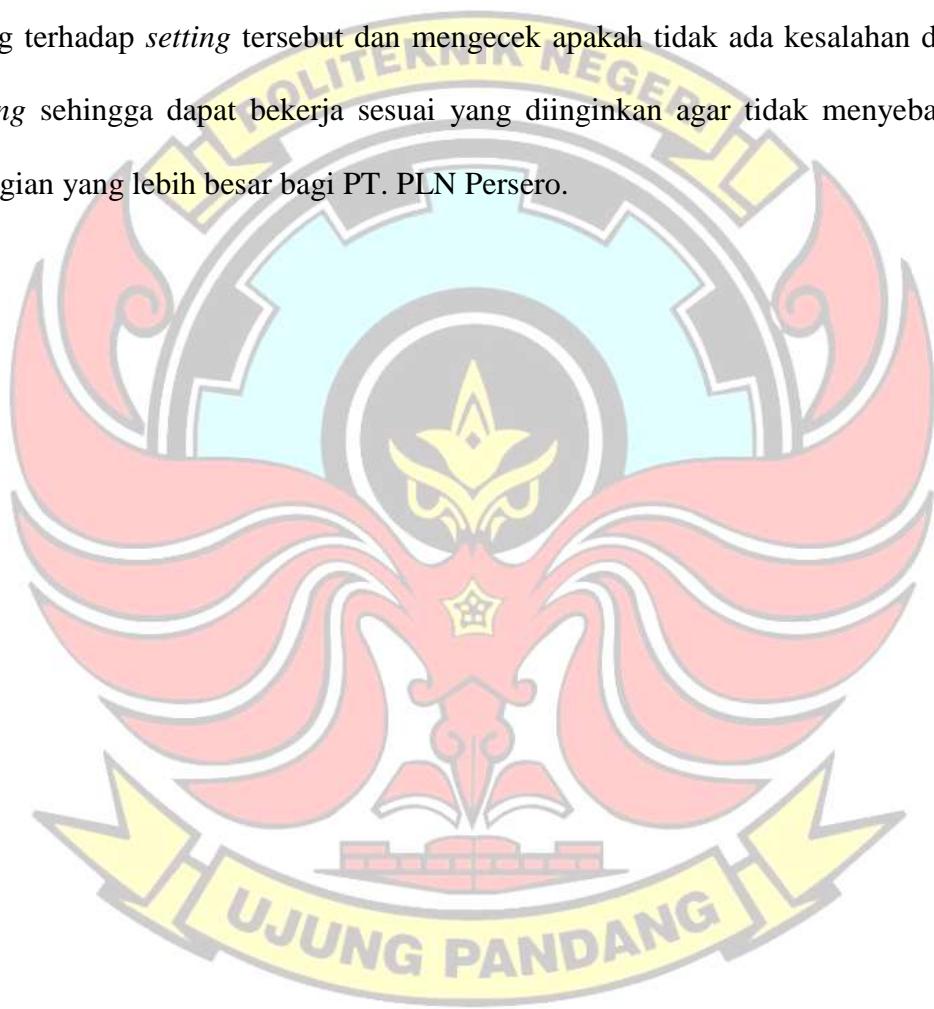
3) Metode Observasi

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 Sungguminasa, Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Panakkukang.

3.4 Teknik Analisis Data

Setelah data penelitian diperoleh dan telah lengkap, maka dilakukan pengolahan/ analisis data dengan membandingkan data hasil pengujian yang

diperoleh setelah dilakukan penerapan *setting* baru dengan *setting* yang sebelumnya. Selanjutnya, hasil pengolahan/ analisis data akan menunjukkan hal-hal yang dapat ditarik sebagai kesimpulan. Salah satu hal utama yang akan dicari adalah apakah relai tersebut bekerja sesuai *setting* baru yang telah diterapkan. Apabila hasilnya tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan analisis ulang terhadap *setting* tersebut dan mengecek apakah tidak ada kesalahan dalam *wiring* sehingga dapat bekerja sesuai yang diinginkan agar tidak menyebabkan kerugian yang lebih besar bagi PT. PLN Persero.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- 1) Berdasarkan rangkaian pengganti, apabila arus gangguan 1 fasa ke tanah terjadi di bus 20 kV maka arus hubung singkatnya sebesar 280,44 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 simulasi aplikasi ETAP 12.6.0 jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah sebesar 275 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 gangguan.
- 3) Langkah - langkah dari penerapan fungsi dua tahap yaitu dimulai dari mempersiapkan peralatan, memastikan instalasi telah bebas tegangan, lalu melakukan *resetting* menggunakan aplikasi *Schneider Electric Easergy Studio*, dan pengujian dilaksanakan untuk menguji *setting* baru dan kelayakan dari relay yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian, relai bekerja dengan baik/ masih layak karena memiliki *error* dibawah 5%.

5.2 Saran

- 1) Sebaiknya untuk menghindari gangguan yang berulang dengan penyebab yang sama maka disarankan agar *setting* relai lebih diperhatikan dan dilakukan

pengujian menyeluruh baik uji fungsi maupun uji individual relai untuk memastikan koordinasi proteksi yang sesuai.

- 2) Dari hasil penerapan *setting* SBEF fungsi dua tahap yang telah dilakukan mungkin masih ada metode – metode lain yang lebih baik yang dapat dikembangkan, maka dari itu penulis berharap PLN dapat melakukan pengembangan lagi untuk sistem proteksi transformator.



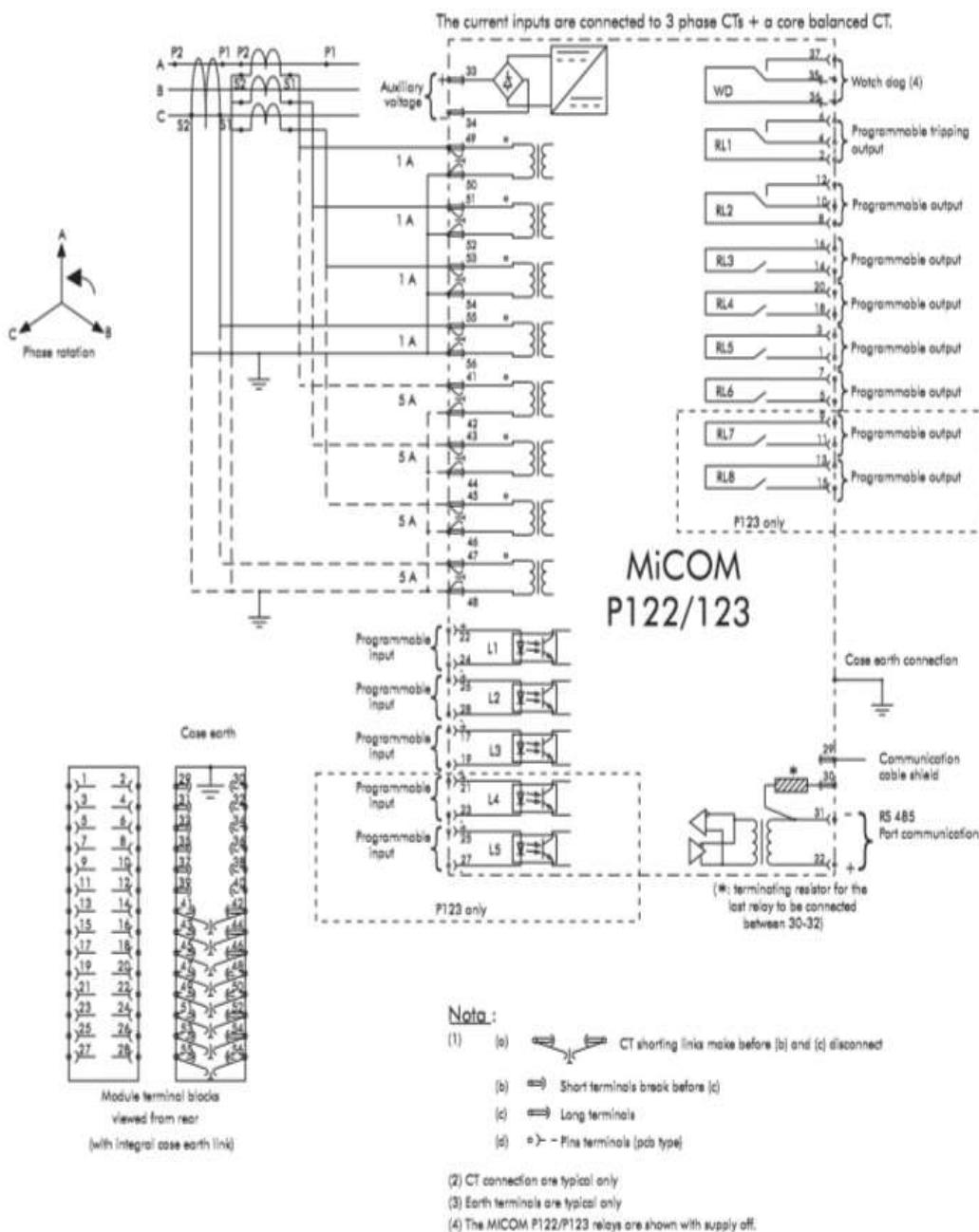
DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, Tofan. 2013. *Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 kV Jepara*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Hendro, N. 2017. Proteksi Distribusi *Fuse Cut Out* (Daring), (<https://blog91ku.blogspot.com/2017/05/proteksi-distribusi-fuse-cut-out.html>), diakses 21 Maret 2020.
- K, Pribadi dan Wahyudi SN. 2005. *Perhitungan Setting dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi*. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- Karyana. 2013. *Pedoman Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- Makmur, Muh. Andikapati. 2019. *Studi Koordinasi Proteksi Transformator dan Penyalur di Gardu Induk Bolangi*. Makassar : Universitas Muhammadiyah Makassar.
- PT. PLN (Persero). 2009a. *Pola Proteksi Gardu Induk*. Jakarta : PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- PT. PLN (Persero). 2009b. *Pola Proteksi Pembangkit yang Harus Koordinasi Dengan Penyaluran*. Jakarta : PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- PT. PLN (Persero). 2014a. *Buku O&M Sistem Proteksi Trafo Tenaga*. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- PT. PLN (Persero). 2014b. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- PT. PLN (Persero). 2019. *Kesepakatan Bersama Proteksi 20 kV*. Manado : PT. PLN (Persero) UIKL Sulawesi.
- Sitorus, Juni H. 2008. *Studi Pemasangan Tapping Pada Transformator Distribusi Tiga Phasa*. Medan : Universitas Sumatra Utara.
- Tanyadji, Sony dan Sarma Thaha. 2015. *Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Makassar : Innawa.
- Tasiam, F.J. 2017. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Teknosain.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Schematic Diagram Micom P122/123



Lampiran 2. Penerapan *Setting* Relai SBEF Fungsi Dua Tahap



Lampiran 3. Pengujian Relai SBEF Fungsi Dua Tahap



Lampiran 4. Transformator #2 Gardu Induk Sungguminasa



Lampiran 5. Pengujian Fungsi LED Relai



Lampiran 6. Pengujian Fungsi Trip PMT



Lampiran 7. Injeksi CT NGR



Lampiran 8. Laporan Hasil Pengujian Relai SBEF Fungsi Dua Tahap

 PT PLN (PERSERO) UIKL SULAWESI UPT MAKASSAR PLN ULTG PANAKKUKANG	 SPNCS
RELAY OCR/GFR	No. Dokumen : Revisi : 00 Tanggal : 01 JANUARI 2020

Merk : SCHNEIDER	Tanggal : 09.02.2020
Type : MICO M 123	Lokasi :
No : 39619698/07/17	Bay : SBEF
In Relais : 5 A	Ratio CT : 300/5 A

I. ARUS PICK UP

	TAHAP 1	TAHAP 2
Arus Setting (I _s) Amp	1.45	1.45
Arus Kerja (I _p) Amp	1.52	1.52
Arus Kembali (I _r) Amp	1.44	1.44
Ratio I _r / I _p (%)	94.7368	94.7368

II.A KARAKTERISTIK WAKTU TAHAP 1

GFR I set : 0.29 x I _n	I set x	1.5	2	3	4	5	6
Tx: 0.097 kurva: LTI	R	-	23.58	11.56	5.77	-	-

II.B KARAKTERISTIK WAKTU TAHAP 2

GFR I set : 0.29 x I _n	I set x	1.5	2	3	4	5	6
Tx: 0.117 kurva: LTI	R	-	27.51	13.88	6.96	-	-

IV. UJI URUTAN TRIP

	R	S	T	N
PMT	OK	OK	OK	OK
Indikasi relais	OK	OK	OK	OK
Announcer / Horn	OK	OK	OK	OK

V. CATATAN :

Pengujii



(.....)

Mengetahui
Spt. OPHAR

(ABDUL HAFID)

Mengetahui
Manajer



(NURSALAM SR.)

LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN
UJIAN SIDANG LAPORAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : ANDI YUSRI L AFRIDA

NIM : 32117028

Catatan/Daftar Revisi Penguji:

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
①	Setyan	<p>1. Buatkan tabel untuk semua data yang dimuat di ETAP. ✓</p> <p>2. Buat diagram ^{impedansi} urutan positif negatif dan nol untuk transformator yang dituliskan pada Bab IV.</p> <p>3. Buat perhitungan secara manual untuk nilai impedansi pada halaman 47 - 48</p>	

Makassar, 11-08-2020

Sekretaris Penguji



Setyan

NIP 198003032015041003