



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184810

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN PADA PT. INDONESIA POWER UP GRATI

Okty Fitria Maharani Putri
NRP 07111745000001

Dosen Pembimbing
Dr.Ir.Margo Pujiantara,MT.
Dedet C. Riawan,ST.,M.Eng.,Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184810

**KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN
PADA PT. INDONESIA POWER UP GRATI**

Okty Fitria Maharani Putri
NRP 07111745000001

Dosen Pembimbing
Dr.Ir.Margo Pujiantara,MT.
Dedet C. Riawan,ST.,M.Eng.,Ph.D.

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184810

**PROTECTION COORDINATION OF
ELECTRICAL SYSTEM AT PT. INDONESIA
POWER UP GRATI**

Okty Fitria Maharani Putri
NRP 07111745000001

Advisor
Dr.Ir.Margo Pujiantara,MT.
Dedet C. Riawan,ST.,M.Eng.,Ph.D.

DEPARTEMEN OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “*Koordinasi Proteksi Sistem Kelistrikan pada PT.Indonesia Power UP Grati*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019



Okty Fitria M. P.

NRP 07111745000001

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

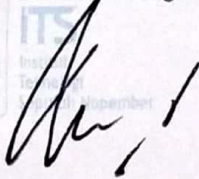
**KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN
PADA PT. INDONESIA POWER UP GRATI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Dedet C. Riawan, ST., M. Eng., Ph. D.
NIP. 197311192000031001



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

Koordinasi Proteksi Sistem Kelistrikan pada PT.Indonesia Power UP Grati

Nama : Okty Fitria Maharani Putri
Pembimbing 1 : Dr.Ir.Margo Pujiantara, MT.
Pembimbng 2 : Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting saat ini. Untuk menghasilkan tenaga listrik, diperlukan proses pembangkitan yang selanjutnya akan ditransmisikan dan didistribusikan kepada konsumen. Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan (UPJB) Perak Grati mengelola dua sub unit yakni sub unit Perak dan Grati yang mengoperasikan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) dan Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) yang memiliki sistem kelistrikan dengan kapasitas 760 MW. Dengan pembangkitan energi listrik yang berkapasitas cukup besar tersebut, tentu diperlukan koordinasi proteksi listrik yang baik untuk melindungi sistem dari adanya gangguan, seperti gangguan arus lebih dan hubung singkat yang dapat diamankan dengan menggunakan rele arus lebih.

Dalam penentuan suatu koordinasi proteksi rele arus lebih, diperlukan data-data pendukung seperti data *setting* rele dan data beban peralatan yang digunakan untuk perencanaan pembuatan *single line diagram* menggunakan *software* ETAP 12.6.

Pada pengujian simulasi yang telah dilakukan, perlu dilakukan resetting rele pengaman. Dengan adanya tugas akhir ini, diharapkan dapat menjadi referensi sistem proteksi pada PT. Indonesia Power UP Grati dalam meminimalisir adanya kerusakan pada sistem kelistrikan guna meningkatkan kehandalan peralatan listrik.

Kata Kunci: Koordinasi proteksi, *setting* rele

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

***PROTECTION COORDINATION OF ELECTRICAL SYSTEM AT
PT. INDONESIA POWER UP GRATI***

Name : Okty Fitria Maharani Putri
Advisor 1 : Dr.Ir.Margo Pujiantara, MT.
Advisor 2 : Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Electricity is a very important requirement at this time. To generate electricity, a generation process is needed which will then be transmitted and distributed to consumers. Perak Grati Generation and Service Generation Unit (UPJB) manages two sub-units namely the Perak and Grati sub-units that operate the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) and the Gas Power Plant (PLTG) which have an electricity system with a capacity of 760 MW. With the generation of electrical energy with a large enough capacity, certainly good electrical protection coordination is needed to protect the system from interverance such as overcurrent and short circuit interference which can be protected using overcurrent relay.

In determining an overcurrent relay protection coordination, supporting data is needed such as data on relay settings and equipment load data used for planning the making of single line diagrams using ETAP 12.6 software.

On simulation test that have been carried out, it is necessary to resetting protection relay. With this final project, it is expected to be a reference for the protection system at PT. Indonesia Power UP Grati in minimizing the damage to the electrical system to improve the reliability of electrical equipment.

Keywords: *Coordination protection, relay setting*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah dan rahmatNya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi beban Satuan Kredit Semester (SKS) yang harus ditempuh sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan Sarjana-1 pada Bidang Studi Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN PADA PT.INDONESIA POWER UP GRATI

Di dalam Tugas Akhir ini berisikan analisis koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT.Indonesia Power untuk mendapatkan sistem proteksi yang sesuai.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orangtua penulis, Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng selaku kepala Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS, Bapak Dr.Ir.Margo Pujiantara, MT.dan Bapak Dedet C. Riawan, ST., M.Eng.. Ph..D. atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari tentunya masih banyak kekurangan dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, (29 Mei 2019)

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN

| | |
|--|-------------------------------------|
| HALAMAN JUDUL..... | iii |
| HALAMAN JUDUL..... | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | vii |
| PENGESAHAN | Error! Bookmark not defined. |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | Error! Bookmark not defined. |
| ABSTRAK | xi |
| ABSTRACT | xiii |
| KATA PENGANTAR..... | xv |
| DAFTAR ISI..... | xvii |
| DAFTAR GAMBAR | xxi |
| DAFTAR TABEL..... | xxiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 1 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan | 2 |
| 1.5 Metodologi | 2 |
| 1.6 Sistematika Laporan..... | 3 |
| 1.7 Relevansi..... | 4 |
| BAB II TEORI DASAR | 5 |
| 2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik | 5 |
| 2.2 Gangguan Hubung Singkat | 6 |
| 2.2.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah | 6 |
| 2.2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa..... | 6 |
| 2.2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah | 7 |
| 2.2.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa | 7 |
| 2.2.5 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah | 8 |
| 2.3 Rele Pengaman..... | 8 |
| 2.4 Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>) | 10 |
| 2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Seketika (<i>Instantaneous</i>) .. | 11 |
| 2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu (<i>Definit</i>) | 11 |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 2.4.3 | Rele Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik (<i>Inverse</i>) | 12 |
| 2.4.4 | Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Inverse | 13 |
| 2.4.5 | Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Instan | 14 |
| 2.5 | Rele Gangguan Fasa ke Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>) | 14 |
| 2.6 | <i>Circuit Breaker</i> (CB) | 15 |
| 2.7 | <i>Current Transformator</i> (CT) | 15 |
| 2.8 | Rele Diferensial | 15 |
| BAB III | SISTEM KELISTRIKAN PT. INDONESIA POWER UP GRATI | 17 |
| 3.1 | Sistem Kelistrikan PT.INDONESIA POWER UP GRATI | 17 |
| 3.2 | Kapasitas Pembangkit di PT.Indonesia Power UP Grati | 19 |
| 3.3 | Distribusi Listrik di PT. Indonesia Power UP Grati | 19 |
| 3.4 | Data Transformator di PT. Indonesia Power UP Grati | 20 |
| 3.5 | Data Beban Motor di PT. Indonesia Power UP Grati | 20 |
| 3.6 | Data Beban <i>Lumped load</i> di PT.Indonesia Power UP Grati | 22 |
| 3.7 | Arus Gangguan Hubung Singkat Sistem Kelistrikan pada PT. Indonesia Power UP Grati | 23 |
| 3.7.1 | Arus Gangguan Hubung Singkat Maksimum | 23 |
| 3.7.2 | Arus Gangguan Hubung Singkat Minimum..... | 24 |
| BAB IV | HASIL SIMULASI KOORDINASI PROTEKSI PT. INDONESIA POWER UP GRATI | 27 |
| 4.1 | Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Power UP Grati... | 27 |
| 4.2 | Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi PT. Indonesia Power UP Grati | 27 |
| 4.3 | Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa..... | 29 |
| 4.3.1 | Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 1..... | 30 |
| 4.3.2 | Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 2..... | 38 |
| 4.3.3 | Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 3..... | 44 |
| 4.3.4 | Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 4..... | 53 |
| 4.4 | Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>)..... | 61 |
| 4.4.1 | Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 1 | 63 |
| 4.4.2 | Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 2..... | 68 |
| 4.4.3 | Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 3..... | 72 |

| | | |
|---------------------------|--|-----|
| 4.4.4 | Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 4 | 76 |
| 4.5 | Koordinasi Proteksi Rele Diferensial | 80 |
| 4.5.1 | Kondisi Saat Gangguan Eksternal 1 (Gangguan pada bus 500 kV) 2 Fasa | 84 |
| 4.5.2 | Kondisi Saat Gangguan Eksternal 1 (Gangguan pada bus 500 kV) 3 Fasa | 87 |
| 4.5.3 | Kondisi Saat Gangguan Eksternal 2 (Gangguan pada bus 15,75 kV) 2 Fasa | 89 |
| 4.5.4 | Kondisi Saat Gangguan Eksternal 2 (Gangguan pada bus 15,75 kV) 3 Fasa | 92 |
| 4.5.5 | Kondisi Saat Gangguan Internal 1 (Belitan Primer Transformator) 2 Fasa | 94 |
| 4.5.6 | Kondisi Saat Gangguan Internal 1 (Belitan primer Transformator) 3 Fasa | 97 |
| 4.5.7 | Kondisi Saat Gangguan Internal 2 (Belitan sekunder Transformator) 2 Fasa | 99 |
| 4.5.8 | Kondisi Saat Gangguan Internal 2 (Belitan sekunder Transformator) 3 Fasa | 102 |
| BAB V PENUTUP..... | | 105 |
| 5.1 | Kesimpulan | 105 |
| 5.2 | Saran | 105 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 107 |
| LAMPIRAN A..... | | 109 |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... | | 111 |
| INDEKS..... | | 113 |

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah | 6 |
| Gambar 2.2 Hubung Singkat Dua Fasa | 7 |
| Gambar 2.3 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah..... | 7 |
| Gambar 2.4 Hubung Singkat Tiga Fasa..... | 8 |
| Gambar 2.5 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah | 8 |
| Gambar 2.6 Cara kerja Rele pengaman | 8 |
| Gambar 2.7 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Seketika | 11 |
| Gambar 2.8 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu | 11 |
| Gambar 2.9 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik | 12 |
| Gambar 2.10 Jenis Kurva Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik | 13 |
| Gambar 2.11 Sistem Tegangan Seimbang..... | 16 |
| Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> PT. Indonesia Power UP Grati .. | 18 |
| Gambar 4.1 Pemilihan Tipikal pada <i>Single Line Diagram</i> | 28 |
| Gambar 4.2 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1 | 31 |
| Gambar 4.3 Kurva <i>Existing</i> Tipikal 1 Sumber Generator..... | 32 |
| Gambar 4.4 Kurva <i>Resetting</i> Tipikal 1 Sumber Generator | 37 |
| Gambar 4.5 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2 | 38 |
| Gambar 4.6 Kurva <i>Existing</i> Tipikal 2 Sumber Generator..... | 39 |
| Gambar 4.7 Kurva <i>Resetting</i> Tipikal 2 Sumber Generator | 43 |
| Gambar 4.8 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3 | 45 |
| Gambar 4.9 Kurva <i>Existing</i> Tipikal 3 | 46 |
| Gambar 4.10 Kurva <i>Resetting</i> Tipikal 3 | 52 |
| Gambar 4.11 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 4 | 54 |
| Gambar 4.12 Kurva <i>Existing</i> Tipikal 4..... | 55 |
| Gambar 4.13 Kurva <i>Resetting</i> Tipikal 4 | 60 |
| Gambar 4.14 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1 | 64 |
| Gambar 4.15 Kurva <i>Existing</i> GFR Tipikal 1 | 65 |
| Gambar 4.16 Kurva <i>Resetting</i> GFR Tipikal 1 | 67 |
| Gambar 4.17 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2 | 68 |
| Gambar 4.18 Kurva <i>Existing</i> GFR Tipikal 2 | 69 |
| Gambar 4.19 Kurva <i>Resetting</i> GFR Tipikal 2 | 71 |
| Gambar 4.20 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3 | 72 |
| Gambar 4.21 Kurva <i>Existing</i> GFR Tipikal 3 | 73 |
| Gambar 4.22 Kurva <i>Resetting</i> GFR Tipikal 3 | 75 |
| Gambar 4.23 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 4 | 76 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.24 Kurva <i>Existing</i> GFR Tipikal 4..... | 77 |
| Gambar 4.25 Kurva <i>Resetting</i> GFR Tipikal 4..... | 79 |
| Gambar 4.26 Rele Diferensial..... | 80 |
| Gambar 4.27 Gangguan Eksternal 1 2 Fasa..... | 84 |
| Gambar 4.28 Gangguan Eksternal 1 3 Fasa..... | 87 |
| Gambar 4.29 Kurva Gangguan Eksternal 1..... | 88 |
| Gambar 4.30 Gangguan Eksternal 2 2 Fasa..... | 89 |
| Gambar 4.31 Gangguan Eksternal 2 3 Fasa..... | 92 |
| Gambar 4.32 Kurva Gangguan Eksternal 2..... | 93 |
| Gambar 4.33 Gangguan Internal 1 2 Fasa..... | 94 |
| Gambar 4.34 Gangguan Internal 1 3 Fasa..... | 97 |
| Gambar 4.35 Kurva Gangguan Internal 1..... | 98 |
| Gambar 4.36 Gangguan Internal 2 2 Fasa..... | 99 |
| Gambar 4.37 Gangguan Internal 2 3 Fasa..... | 102 |
| Gambar 4.38 Kurva Gangguan Internal 2..... | 103 |

DAFTAR TABEL

HALAMAN

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Tabel Standar Kurva..... | 14 |
| Tabel 3.1 Data Generator PT. Indonesia Power UP Grati | 19 |
| Tabel 3.2 Level Tegangan Bus pada PT. Indonesia Power UP Grati 19 | |
| Tabel 3.3 Data Transformator di PT. Indonesia Power UP Grati | 20 |
| Tabel 3.4 Data Beban Motor di PT. Indonesia Power UP Grati..... | 21 |
| Tabel 3.5 Data Lumped Load di PT. Indonesia Power UP Grati | 22 |
| Tabel 3.6 Data Rating Bus menggunakan Sumber Generator | 23 |
| Tabel 3.7 Data Rating Bus Menggunakan Sumber PLN 150 kV | 24 |
| Tabel 3.8 Data Rating Bus menggunakan Sumber Generator | 24 |
| Tabel 3.9 Data Rating Bus Menggunakan Sumber PLN 150 kV | 25 |
| Tabel 4.1 Waktu Operasi Kerja Rele Existing tipikal 1 | 33 |
| Tabel 4.2 Waktu Operasi Kerja Rele <i>Resetting</i> Tipikal 1..... | 38 |
| Tabel 4.3 Waktu Operasi Kerja Rele <i>Existing</i> Tipikal 2 | 40 |
| Tabel 4.4 Waktu Operasi Kerja Rele <i>Resetting</i> Tipikal 2..... | 44 |
| Tabel 4.5 Waktu Operasi Kerja Rele <i>Eksisting</i> Tipikal 3..... | 47 |
| Tabel 4.6 Waktu Operasi Kerja Rele <i>Resetting</i> Tipikal 3..... | 53 |
| Tabel 4.7 Waktu Operasi Kerja Rele <i>Existing</i> Tipikal 4 | 56 |
| Tabel 4.8 Waktu Operasi Kerja Rele <i>Resetting</i> Tipikal 4..... | 60 |
| Tabel 4.9 Nilai Arus Pentanahan..... | 61 |
| Tabel 4.10 Nilai Isc min <i>line to ground</i> Saat Menggunakan Sumber Generator | 62 |
| Tabel 4.11 Nilai Isc min <i>line to ground</i> Saat Menggunakan Sumber Grid PLN 150 kV..... | 63 |
| Tabel 4.12 Perbandingan Eksisting dan <i>Resetting</i> Tipikal 1 | 68 |
| Tabel 4.13 Perbandingan Eksisting dan <i>Resetting</i> Tipikal 2 | 72 |
| Tabel 4.14 Perbandingan Eksisting dan <i>Resetting</i> Tipikal 3 | 76 |
| Tabel 4.15 Perbandingan Eksisting dan <i>Resetting</i> Tipikal 4 | 80 |

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam berbagai sektor, baik sektor industri, pendidikan, ekonomi, perdagangan, dan masih banyak lagi. Meningkatnya kebutuhan listrik para konsumen menuntut perusahaan-perusahaan listrik dalam menghasilkan listrik di seluruh pelosok tanah air dari sabang sampai merauke. Untuk menghasilkan suatu sistem tenaga listrik, diperlukan proses pembangkitan yang selanjutnya akan ditransmisikan dan didistribusikan ke konsumen. PT. Indonesia Power merupakan anak perusahaan PLN yang menjalankan usaha di bidang pembangkitan tenaga listrik yang mengelola delapan unit pembangkitan yakni unit Suralaya, Priok, Saguling, Kamojang, Mrica, Semarang, Perak-Grati, dan Bali. Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan (UPJB) Perak-Grati mengelola dua buah sub unit yakni sub unit Perak dan Grati yang mengoperasikan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) dan Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) yang memiliki sistem kelistrikan dengan kapasitas 760 MW. Kapasitas tersebut terdiri dari Blok I sebesar 460 MW dengan pengoperasian PLTGU dan Blok II sebesar 300 MW dengan pengoperasian PLTG.

Dengan pembangkitan energi listrik berkapasitas besar tersebut, tentu diperlukan sistem proteksi listrik yang baik dan handal serta kontinuitas yang tinggi untuk melindungi sistem dari berbagai adanya gangguan yang mungkin terjadi. Gangguan-gangguan tersebut dapat berupa gangguan arus lebih dan gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Salah satu proteksi utama dalam sistem kelistrikan adalah rele arus lebih. Agar rele proteksi terkoordinasi dengan baik, rele satu dengan rele lainnya harus saling terhubung dalam penentuan setting rele arus lebih.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui sistem kelistrikan yang ada pada PT. Indonesia Power UP Grati
2. Mengetahui *setting* rele arus lebih dan *ground fault* pada level tegangan 6,3 kV

3. Menghitung *setting* rele diferensial pada transformator 10BAT01

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Simulasi Proteksi pada tugas akhir ini hanya menggunakan *software* ETAP 12.6
2. Pengaturan rele arus lebih dan *ground fault* yang dibahas pada PT. Indonesia Power adalah blok I dengan sisi tegangan 6,3 kV.
3. Data yang digunakan diperoleh dari PT. Indonesia Power UP Grati
4. Penambahan rele diferensial hanya dilakukan pada transformator 10BAT01

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui *setting* rele arus lebih dan rele pentanahan yang ada pada PT. Indonesia Power UP Grati
2. Mengetahui besar nilai arus gangguan, urutan antar rele dan waktu tunda antar rele.
3. Menyusun koordinasi proteksi yang sesuai untuk diterapkan di PT.Indonesia Power UP Grati
4. Dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk sistem proteksi di PT. Indonesia Power UP Grati

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. **Persiapan dan Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan teori penunjang berupa buku, jurnal, atau paper yang berhubungan dengan tugas akhir. Teori-teori penunjang seperti studi analisis sistem proteksi, *power system analysis*

2. **Pengumpulan Data**

Setelah melakukan tahap pertama, pada tahap kedua adalah mengumpulkan data. Pengumpulan data pada sistem proteksi PT. Indonesia Power UP Grati adalah pengumpulan data peralatan yang dibutuhkan dalam analisis tugas akhir. Data

peralatan dibutuhkan yaitu sebagai berikut: *single line diagram*, data *setting* rele, dan data beban yang digunakan.

3. Pemodelan Sistem

Tahap selanjutnya setelah mendapatkan data dari PT.Indonesia Power UP Grati dan menyederhanakan *single line diagram* yang akan dibahas serta melakukan pemodelan sistem pada ETAP 12.6 dengan memasukan nilai – nilainya.

4. Analisis dan Simulasi Sistem

Setelah dilakukan simulasi akan dianalisis apakah konfigurasi *single line diagram* telah sesuai. Tahap ini menganalisis *setting* proteksi yang diterapkan dan melakukan *reseting* ulang.

5. Kesimpulan

Pada tahap ini, dapat diperoleh hasil dari melakukan *re-setting* ulang, sehingga dapat dibuat koordinasi proteksi yang sesuai untuk PT. Indonesia Power UP Grati

1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima (5) Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab I , berisi tentang latar belakang pengambilan judul tugas akhir ini beserta ruang lingkup yang akan dibahas pada tugas akhir ini.

Bab II Teori Dasar

Pada bab II , berisi tentang teori- teori penunjang yang membantu penulis untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada tugas akhir ini.

Bab III Sistem Kelistrikan PT.Indonesia Power UP Grati

Pada bab III, berisi tentang sistem kelistrikan PT.Indonesia Power UP Grati, dimulai bagaimana cara beroperasi sistem tersebut, terdapat berapa banyak beban beban yang ada pada sistem PT.Indonesia Power

UP Grati, dan besar nilai arus hubung singkat pada setiap bus.

Bab IV Simulasi dan Analisis

Pada bab IV, berisi tentang analisis *setting* rele di PT. Indonesia Power yang kurang sesuai menjadi sesuai saat terjadi gangguan.

Bab V Penutup

Pada bagian bab penutup, dibahas mengenai kesimpulan dan saran dari hasil simulasi pengujian

1.7 Relevansi

1. Menjadi acuan sebagai pemilihan koordinasi proteksi yang sesuai untuk PT. Indonesia Power UP Grati

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Pada sistem kelistrikan, gangguan dapat terjadi kapan saja. Suatu sistem harus memperhatikan kesiapan terjadinya gangguan walau sistem sedang beroperasi dengan baik. Gangguan sistem tenaga listrik dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang terpasang, oleh karena itu faktor frekuensi dan lama gangguan harus diperhatikan. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi dua yaitu gangguan yang bersifat sementara dan gangguan yang bersifat permanen. Pada gangguan yang bersifat sementara, saat terjadi suatu gangguan, gangguan tersebut akan hilang dan sistem dapat kembali berjalan normal tanpa ada proses perbaikan. Sedangkan gangguan yang bersifat permanen yaitu gangguan tidak dapat hilang dengan sendirinya sehingga teknisi harus melakukan proses perbaikan agar sistem dapat kembali berjalan normal.

Berdasarkan asalnya, gangguan sistem tenaga listrik dapat diklarifikasikan menjadi gangguan yang berasal dari dalam sistem dan luar sistem. Penyebab dari adanya gangguan yang berasal dari dalam adalah adanya beban lebih (*overload*) dan adanya abnormal pada arus atau tegangan. Salah satu contoh gangguan yang berasal dari dalam sistem gangguan yang disebabkan dari suatu isolator peralatan. Sedangkan gangguan dari luar dapat terjadi karena adanya pengaruh cuaca serta pengaruh lingkungan. Contoh dari gangguan yang berasal dari luar sistem adalah terkena petir. Saat pentanahan, sambaran petir yang tidak dapat langsung diketanahkan akan mengganggu sistem dan merusak peralatan listrik [1].

Berdasarkan bentuk simetrisnya, gangguan sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi gangguan hubung singkat simetris dan tak simetris. Gangguan hubung singkat simetris disebabkan saat ketiga saluran fasa terhubung, sehingga arus dan tegangan setiap fasenya tetap seimbang dan apabila gangguan sudah berakhir maka setiap fasanya memiliki besar nilai yang sama. Contoh dari hubung singkat simetris adalah hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Sedangkan gangguan hubung singkat tak simetri merupakan hubung singkat yang berada pada salah satu atau dua fasa yang menyebabkan besar nilai dan sudut antar fasanya memiliki nilai yang berbeda, atau mengakibatkan arus dan tegangan yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang,

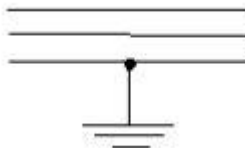
contohnya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat menurut IEC 60909 merupakan gangguan yang terjadi melalui impedansi yang cukup rendah yang disebabkan oleh hubungan langsung dengan peralatan konduktor yang bertegangan, pelepasan elektron karena tegangan berlebih, atau suhu berlebih karena adanya arus berlebih pada beban. Arus hubung singkat yang terjadi dapat merusak peralatan listrik.

2.2.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan salah satu jenis gangguan asimetris, yakni menyebabkan arus dan tegangan yang mengalir pada tiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan ini terjadi karena salah satu fasa terhubung singkat ke tanah.



Gambar 2.1 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

$$I_{SC1} \angle \phi = \frac{3 \cdot V_{LL}}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (2.1)$$

Keterangan :

V_{LL} = tegangan *line to line*

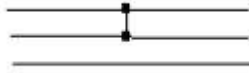
X_0 = reaktansi urutan nol

X_1 = reaktansi urutan positif

X_2 = reaktansi urutan negatif

2.2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Disebut juga gangguan hubung singkat fasa ke fasa, yaitu gangguan yang terjadi saat fasa ke fasa saling terhubung singkat



Gambar 2.2 Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_{SC\ 2\ \emptyset} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} = 0,866 \times I_{SC\ 3\ \emptyset} \quad (2.2)$$

Keterangan :

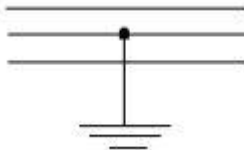
V_{LL} = tegangan *line to line*

X_1 = reaktansi urutan positif

X_2 = reaktansi urutan negatif

2.2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah merupakan gangguan yang terjadi antara fasa ke fasa dan terhubung ke tanah.



Gambar 2.3 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

$$I_{SC\ 2\ \emptyset\ \text{ke tanah}} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2 + X_0 / X_2 + X_0} \quad (2.3)$$

Keterangan :

V_{LL} = tegangan *line to line*

X_0 = reaktansi urutan nol

X_1 = reaktansi urutan positif

X_2 = reaktansi urutan negatif

2.2.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan salah satu jenis gangguan simetris. Gangguan yang terjadi saat ketiga fasa saling terhubung singkat



Gambar 2.4 Hubung Singkat Tiga Fasa

$$I_{SC3\ \emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.4)$$

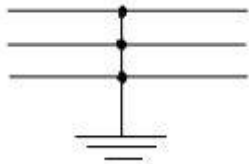
Keterangan :

V_{LN} = tegangan *line to netral*

X_1 = reaktansi urutan positif

2.2.5 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah merupakan jenis gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa saling terhubung singkat ke tanah.



Gambar 2.5 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

2.3 Rele Pengaman

Rele Pengaman merupakan peralatan listrik yang digunakan sebagai *sensing* saat adanya suatu gangguan pada sistem tenaga listrik, sehingga gangguan dapat langsung terisolir. Berikut cara kerja rele pengaman :



Gambar 2.6 Cara kerja Rele pengaman

Saat terjadi suatu gangguan hubung singkat atau beban berlebih, rele akan merasakan gangguan kemudian akan *sensing* (*Circuit Breaker*) untuk trip atau memutus arus listrik.

Rele pengaman harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut [2] :

- a. Kepekaan Operasi (Sensitivitas)

Saat terjadi arus gangguan yang sangat kecil, rele pengaman harus dapat merasakan adanya gangguan pada sistem agar tidak menjalar ke sistem lainnya. Rele dikatakan sensitif apabila parameter pengoperasiannya rendah. Untuk menentukan nilai kepekaan operasi dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$K_s = \frac{I_{hs \min}}{I_{pp}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- K_s = Kepekaan operasi
- $I_{hs \min}$ = Arus hubung singkat minimum
- I_{pp} = Arus *pickup* pada sisi primer transformator

b. Selektivitas

Kemampuan rele pengaman untuk menentukan titik terjadinya gangguan dan memutuskan rangkaian dengan membuka *Circuit Breaker* (CB) terdekat. Atau dengan kata lain kemampuan rele pengaman untuk melakukan tripping secara tepat. Selektivitas sistem proteksi juga dikaitkan dengan kemampuan diskriminasi yang dilakukan dengan cara waktu bertingkat dan sistem unit proteksi. Pada waktu bertingkat, sistem pengaman yang dilokasikan berurutan sepanjang jalur transmisi akan bekerja pada waktu bertingkat atau *time grading* sesuai lokasi rele terhadap adanya gangguan. Rele pengaman terdekat pada gangguan akan bekerja lebih cepat. Apabila rele tersebut tidak beroperasi maka rele selanjutnya akan bekerja dengan waktu yang lebih lama. Pada sistem unit proteksi, pengaman dirancang untuk mengamankan berdasarkan daerah proteksinya. Sistem pengaman ini hanya merespon gangguan yang ada pada daerah pengamanan yang sudah ditetapkan.

c. Kecepatan Bereaksi [3]

Sistem pengaman berfungsi mengisolasi gangguan secepat dan sesegera mungkin. Kecepatan pemutus arus gangguan dapat mengurangi kerusakan serta menjaga stabilitas peralatan mesin dengan mengamankan kontinuitas pasokan daya sebelum gangguan tersebut berkembang. Untuk menentukan nilai kecepatan waktu rele dalam bekerja dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \quad (2.6)$$

Keterangan :

t_{op} = Waktu total

t_p = Waktu rele bekerja

t_{cb} = Waktu *Circuit Breaker* (CB) terbuka

d. Faktor Keandalan

Dalam perencanaan sistem tenaga listrik, kebutuhan sistem pengaman dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan faktor yang sangat penting. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi keandalan antara lain perancangan, setelan rele, salah instalasi, salah pengetesan, pemburukan, dan faktor kinerja. Keandalan rele yang baik adalah 90-95%

e. Stabilitas

Stabilitas sistem pengaman berhubungan dengan skema unit proteksi kemampuan untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh faktor luar.

f. Ekonomis

Penggunaan rele harus disesuaikan dengan harga peralatan yang diamankan

2.4 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih adalah suatu peralatan pengaman listrik yang digunakan untuk mendeteksi kondisi tidak normal pada sistem dengan melihat adanya arus lebih yang mengalir. Rele ini digunakan untuk mengatasi adanya gangguan terutama gangguan hubung singkat. Rele arus lebih bekerja apabila arus yang mengalir lebih besar dari nilai arus settingnya [4]. Arus lebih dapat terjadi karena adanya gangguan hubung singkat ataupun beban berlebih (*overload*). Berikut cara kerja rele arus lebih :

$$I_f > I_P = \text{Rele bekerja} \quad (2.7)$$

$$I_f < I_P = \text{Rele tidak bekerja} \quad (2.8)$$

Dengan keterangan :

I_f = arus gangguan

I_P = arus pick up (arus maksimum sebelum terjadi gangguan)

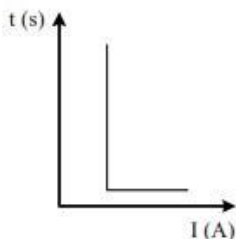
Besar nilai arus beban maksimum merupakan hal yang harus diamati untuk pengaturan (*setting*) nilai arus lebih agar nilai setting rele selalu lebih besar dari nilai arus beban maksimum sehingga rele akan bekerja saat terjadi gangguan. Karakteristik rele ini dapat dilihat pada

kurva TCC (*Time Current Curva*) untuk melihat kurva arus gangguan dan rele pengaman yang bekerja. *Setting* rele arus lebih dilakukan dengan mengatur besar nilai arus *pickup* dan *time dial*. Menurut IEEE 242, waktu operasi rangkaian proteksi atau waktu rele memulai pickup hingga CB terbuka ialah sebagai berikut :

1. Waktu *Circuit Breaker* terbuka (2 sampai 5 *cycle*) : 0,04-0,1 detik
2. *Over travel* dari rele : 0,1 detik
3. Faktor keamanan : 0,12-0,22 detik

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Seketika (*Instantaneous*)

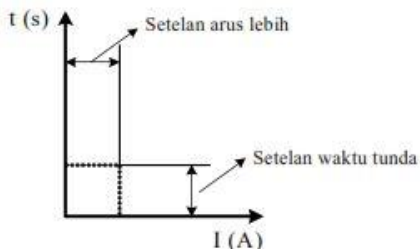
Rele arus lebih jenis ini akan bekerja dengan waktu seketika tanpa adanya waktu tunda (*delay*) apabila arus yang mengalir lebih besar dari nilai settingnya



Gambar 2.7 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Seketika

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu (*Definit*)

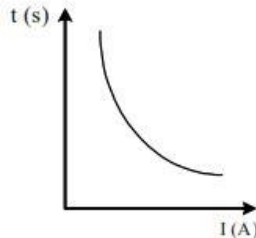
Rele arus lebih kerja tertentu atau definit ini akan bekerja dengan waktu tunda (*delay*) yang telah ditentukan sehingga setting menjadi beragam untuk mengalokasikan besar arus gangguan yang berbeda dengan waktu operasi yang berbeda. Rele ini memiliki waktu kerja yang sama dan tidak bergantung pada arus hubung singkat yang mengalir



Gambar 2.8 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu

2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik (*Inverse*)

Rele arus lebih *inverse* sering digunakan untuk arus yang sangat tinggi karena semakin besar nilai arus gangguan, semakin cepat waktu kerja dari rele ini. Saat arus gangguan kecil, waktu kerja rele akan relatif lebih lama dalam memberi perintah (*Circuit Breaker*) CB untuk membuka.



Gambar 2.9 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik

Terdapat beberapa macam rele arus lebih waktu kerja terbalik, yaitu: *Normal Inverse*, *Short Time Inverse*, *Long Time Inverse*, *Very Inverse*, dan *Extremely Invers*.

a. *Normal Inverse*

Kurva *Inverse* digunakan untuk standard koordinasi proteksi. Kurva ini umumnya memiliki bentuk tidak terlalu curam dan landai dibanding bentuk kurva lainnya.

b. *Short Time Inverse*

Kurva *Short Time Inverse* memiliki respon waktu yang sangat cepat. Saat ada gangguan, ditubuhkan waktu yang sangat singkat untuk memberi perintah memutus *Circuit Breaker* (CB).

c. *Long Time Inverse*

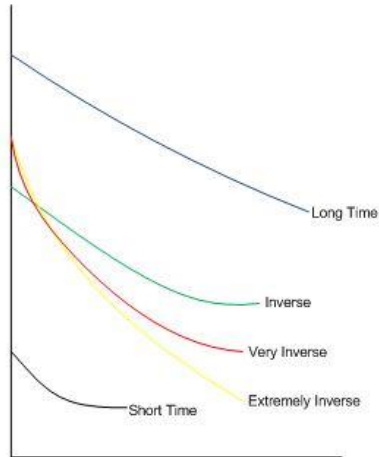
Kurva *Long Time Inverse* digunakan untuk memproteksi trafo dan motor. Kurva ini memiliki bentuk yang paling landai di antara kurva lainnya.

d. *Very Inverse*

Kurva *Very Inverse* memiliki waktu tunda lebih lama jika arus gangguannya tidak terlalu jauh dari arus gangguan sebelumnya. Kurva ini memiliki bentuk lebih curam daripada kurva *Normal Inverse*.

e. *Extreme Inverse*

Kurva *Extreme Inverse* memiliki nilai waktu tunda lebih lama. Kurva ini memiliki bentuk curam daripada kurva *Very Inverse*.



Gambar 2.10 Jenis Kurva Arus Lebih Waktu Kerja Terbalik

2.4.4 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Kondisi untuk pengaturan rele arus lebih waktu terbalik atau *inverse* harus memperhatikan kondisi rele yang tidak boleh dioperasikan saat beban puncak. Besar arus *pickup* harus diatur lebih besar dari beban maksimum peralatan listrik yang diamankan. Pengaturan nilai *pickup* (*Iset*) dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.4 I_{FLA} \quad (2.9)$$

Sedangkan untuk nilai Tap adalah

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} \quad (2.10)$$

Setelah didapatkan nilai arus *pickup* atau *Iset*, dapat dicari nilai *time dial* untuk menentukan waktu operasi rele bekerja dengan rumus sebagai berikut :

$$TD = \frac{k \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \quad (2.11)$$

Keterangan :

T = *time dial*

TD = *time delay* (detik)

- a = koefisien *invers*
- β = koefisien *invers*
- I = I_{scmax} atau arus hubung singkat maksimum (Ampere)
- I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

Tabel 2.1 Tabel Standar Kurva

| Tipe kurva | Koefisien | | |
|-------------------|-----------|----------|---------|
| | k | α | β |
| Standard invese | 0,14 | 0,02 | 2,970 |
| Very inverse | 13,50 | 1,00 | 1,500 |
| Extremely inverse | 80,00 | 2 | 0,808 |
| SUIT | 315,2 | 2,5 | 1 |
| LTIT | 120 | 1 | 13,33 |

2.4.5 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan atau waktu seketika ini bekerja secara seketika yaitu 50-100ms saat arus gangguan lebih besar dari arus settingnya. Berbeda dengan setting arus waktu inverse yang membutuhkan nilai arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$), setting rele arus lebih ini membutuhkan nilai arus hubung singkat minimum ($I_{sc\ min}$) yang didapat dari rumus [1].

$$I_{scmin} = \frac{1}{2} \sqrt{3} \times I_{scmax} \quad (2.12)$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai setting pickup menggunakan rumus :

$$\frac{1,6 \times FLA}{n_{CT}} < I_{SET} < \frac{0,8 \times I_{SC\ MIN}}{n_{CT}} \quad (2.13)$$

$$\frac{1,6 \times FLA}{n_{CT}} < Tap < \frac{0,8 \times I_{SC\ MIN}}{n_{CT}} \quad (2.14)$$

2.5 Rele Gangguan Fasa ke Tanah (*Ground Fault Relay*)

Rele gangguan fasa ke tanah dipasang untuk mengamankan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Rele ini dapat berfungsi pada sistem yang dapat membatasi arus gangguan ke tanah. Untuk mengetahui besar arus gangguan ke tanah, digunakan rumus berikut :

$$\frac{5-10\% \times I_{NGR}}{10\% \times INGR} < I_{SET} < \frac{50\% \times I_{NGR}}{50\% \times INGR} \quad (2.15)$$

$$\frac{10\% \times INGR}{n_{CT}} < \text{Tap} < \frac{50\% \times INGR}{n_{CT}} \quad (2.16)$$

2.6 Circuit Breaker (CB)

Pemutus tenaga atau *Circuit Breaker* (CB) menurut IEV (*International Electrotechnical Vocabulary*) 441-14-20 merupakan peralatan listrik yang berfungsi sebagai saklar atau *switching* yang dapat menutup, mengalirkan, dan memutus arus beban dalam keadaan normal maupun abnormal. Keadaan abnormal yang dimaksud adalah saat terjadi gangguan. Dengan kata lain, *Circuit Breaker* (CB) digunakan untuk melepaskan titik gangguan dari sistem agar tidak menjalar ke peralatan lainnya. Pada sistem kelistrikan di industri, pemutus yang sering digunakan ialah *Miniature Circuit Breaker* (MCB) dan *Molded Case Circuit Breaker* (MCCB).

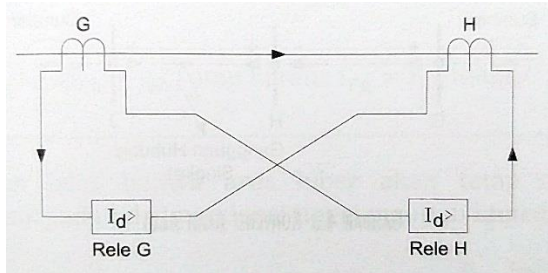
2.7 Current Transformator (CT)

Current Transformator (CT) merupakan peralatan listrik yang digunakan untuk menurunkan nilai arus besar pada tegangan tinggi menjadi nilai arus yang kecil pada tegangan rendah. CT digunakan untuk pengukuran dan pengaman sistem kelistrikan dengan pembacaan arus oleh rele [5].

2.8 Rele Diferensial

Rele diferensial merupakan rele pengaman perangkat peralatan listrik seperti transformator, generator, dan saluran kabel yang berazaskan hukum kirchoff II yaitu besar nilai arus yang masuk sama dengan besar nilai arus yang keluar pada suatu titik daerah yang dibatasi oleh dua buah *Current Tranformator*.

Prinsip diferensial yaitu mengukur perbedaan arus yang mengalir pada kedua ujung saluran yang akan diamankan. Rele diferensial dapat digunakan untuk memproteksi trafo, generator, dan bus dengan adanya kanal-kanal sistem untuk membandingkan arus pada kedua ujung saluran. Pada dasarnya, rele diferensial difungsikan untuk memproteksi saluran yang panjang berdasarkan pada perbedaan arah dan besar arus yang mengalir.



Gambar 2.11 Sistem Tegangan Seimbang

Kumparan sekunder kedua trafo arus pada Gambar 2.5 dihubungkan saling berlawanan dimana kedua arus saling menghilangkan agar dalam keadaan normal tidak ada perbedaan arus yang mengalir pada kedua rele G atau rele H yang terhubung seri.

Sistem tegangan seimbang didapat dengan prinsip dua tegangan yang saling berlawanan yang saling terhubung hingga tidak ada arus yang mengalir. Arus yang mengalir pada kabel hanya terjadi saat gangguan internal [2].

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN PT. INDONESIA POWER UP GRATI

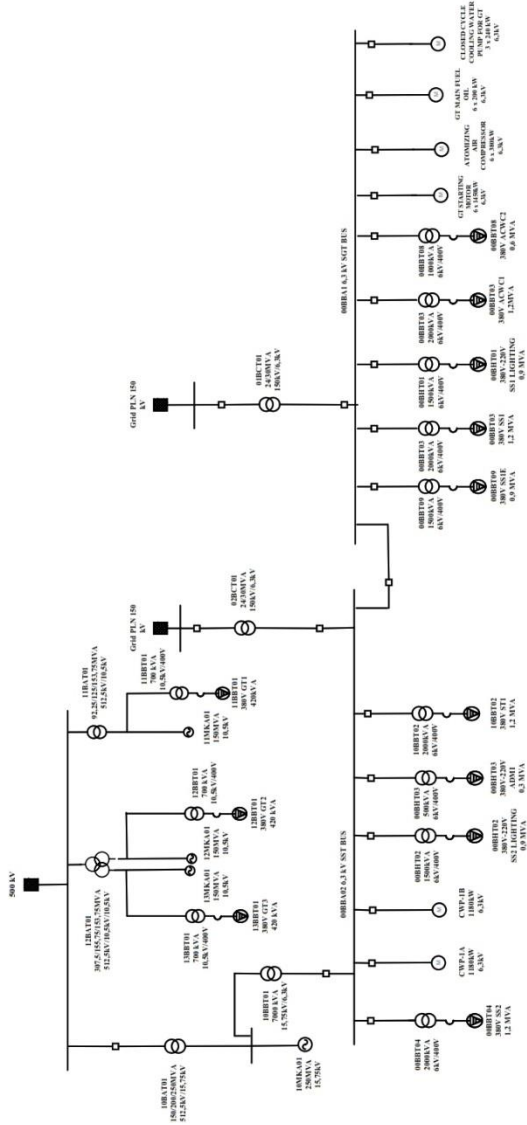
3.1 Sistem Kelistrikan PT.INDONESIA POWER UP GRATI

PT. Indonesia Power adalah perusahaan pembangkit tenaga listrik yang merupakan anak perusahaan PT. PLN (persero) dengan kapasitas pembangkitan sebesar 15.090 MW. PT. Indonesia Power memiliki beberapa unit pembangkit yakni Unit Suralaya, Mrica, Saguling, Semarang, Priok, Perak Grati, Bali, Kamojang, Banten 1 Suralaya, Banten 2 Labuan, Banten 3 Lontar, Banten Cilegon, Jawa Tengah 2 Adipala, Jawa Barat 2 Pelabuhan Ratu, Pangkalan Susu Sumatera Utara, dan Unit Jasa Pemeliharaan.

Unit Perak Grati mengelola dua sub unit yaitu unit Perak dan unit Grati yang mengoperasikan PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Gas) dan PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas). Unit Grati terdiri dari Blok I dengan kapasitas 460 MW dan Blok II dengan kapasitas 300 MW.

Spesifikasi-spesifikasi data peralatan yang digunakan PT. Indonesia Power UP Grati Blok I akan dibahas pada bab III ini. Data yang didapat akan dimasukkan pada software ETAP 12.6 seperti data grid, generator, trafo, rele, dan beban motor.

Gambar *single line diagram* PT. Indonesia Power UP Grati Blok I dapat dilihat pada gambar 3.1 di halaman selanjutnya. Sistem kelistrikan pada perusahaan pembangkit ini memiliki suplai grid 150 kV yaitu dari PLN untuk menyalakan GTG (Gas Turbin Generator). Hasil uap panas sisa pembakaran dari boiler GTG digunakan untuk membangkitkan STG (Steam Turbin Generator) sehingga motor-motor dapat bekerja. Beban motor bekerja pada tegangan 6,3 kV dan beban *lumped load* menurunkan tegangan 6,3 kV ke 0,4 kV. Setelah motor-motor bekerja, generator ST dapat menghasilkan listrik. Energi generator ST 15,75 kV disalurkan ke trafo *step up* menjadi 500kV dan masuk ke transmisi.



Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. Indonesia Power UP Grati

3.2 Kapasitas Pembangkit di PT.Indonesia Power UP Grati

PT. Indonesia Power UP Grati Blok I merupakan pembangkit listrik tenaga uap dan gas yang memiliki 1 buah generator ST untuk membangkitkan listrik 500kV dan tiga buah generator GTG untuk pemakaian sendiri, 0,4kV dan menjual 500kV ke transmisi. Saat pembangkit ST dan GT mati, digunakan suplai PLN 150kV. Data generator dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Data Generator PT. Indonesia Power UP Grati

| No | Nama Generator | MVA | kV | % PF |
|----|--------------------------|-----|-------|------|
| 1 | Generator ST 10MKA01 | 250 | 15,75 | 80 |
| 2 | Generator GT 13MKA01 | 150 | 10,5 | 80 |
| 3 | Generator GT 12MKA01 | 150 | 10,5 | 80 |
| 4 | Generator GT 111MKA01 | 150 | 10,5 | 80 |

3.3 Distribusi Listrik di PT. Indonesia Power UP Grati

PT. Indonesia Power UP Grati Blok I memiliki beberapa bus dengan rating tegangan yang berbeda yaitu rating tegangan 500kV, 150kV, 6,3kV, dan 0,4kV. Bus 500kV terhubung dengan grid transmisi yang akan disalurkan ke Paiton, Krian, dan Surabaya Selatan. Sedangkan bus 150kV terhubung dengan grid PLN 150kV yang merupakan suplai. Untuk bus 6,3kV dan 0,4kV terhubung ke beban trafo sebagai beban *lumped load* dan beban motor. Data level tegangan bus dapat dilihat pada tabel 3.2 pada halaman selanjutnya

Tabel 3.2 Level Tegangan Bus pada PT. Indonesia Power UP Grati

| No. | Nama Bus | Level Tegangan (kV) |
|-----|-----------|---------------------|
| 1 | Bus 500kV | 500 |
| 2 | Bus 150kV | 150 |
| 3 | Bus SGT | 6,3 |
| 4 | Bus SST | 6,3 |
| 5 | Bus 4 | 0,4 |
| 6 | Bus 5 | 0,4 |
| 7 | Bus 6 | 0,4 |
| 8 | Bus 15 | 0,4 |
| 9 | Bus 16 | 0,4 |

| | | |
|----|--------|-----|
| 10 | Bus 17 | 0,4 |
| 11 | Bus 18 | 0,4 |
| 12 | Bus 19 | 0,4 |

3.4 Data Transformator di PT. Indonesia Power UP Grati

Seperti yang dijelaskan pada sub bab sebelumnya, sistem kelistrikan pada PT. Indonesia Power UP Grati memiliki beberapa level tegangan yaitu 500 kV, 150 kV, 6,3 kV dan 400 V. Perubahan level tegangan dari 6,3 kV ke level tegangan dibawahnya dilakukan oleh transformator, data-data transformator yang terpasang pada sistem di PT.Indonesia Power UP Grati dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut :

Tabel 3.3 Data Transformator di PT. Indonesia Power UP Grati

| No | Nama Trafo | MVA | kV |
|----|-----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 | Trafo 10BAT01 (Trafo ST) | 150 | 512,5 / 15,75 |
| 2 | Trafo 10BBT01 | 7 | 15,75 / 6,3 |
| 3 | Trafo 11BAT01 | 92,5 | 512,5 / 10,5 |
| 4 | Trafo 12BAT01 | 307,5 / 153,75 / 153,75 | 512,5 / 10,5 / 10,5 |
| 5 | Trafo 11BBT01 | 0,7 | 10,5 / 0,4 |
| 6 | Trafo 12BBT01 | 0,7 | 10,5 / 0,4 |
| 7 | Trafo 13BBT01 | 0,7 | 10,5 / 0,4 |
| 8 | Trafo 01BCT01 | 24 | 150 / 6,3 |
| 9 | Trafo 00BBT04 | 2 | 6,3 / 0,4 |
| 10 | Trafo 00BHT02 | 1,5 | 6,3 / 0,4 |
| 11 | Trafo 00BHT03 | 0,5 | 6,3 / 0,4 |
| 12 | Trafo 00BBT09 | 1,5 | 6,3 / 0,4 |
| 13 | Trafo 00BBT03 | 2 | 6,3 / 0,4 |
| 14 | Trafo 00BHT01 | 1,5 | 6,3 / 0,4 |
| 15 | Trafo 00BBT06 | 1 | 6,3 / 0,4 |
| 16 | Trafo 00BBT08 | 1 | 6,3 / 0,4 |

3.5 Data Beban Motor di PT. Indonesia Power UP Grati

Pada sisi tegangan 6 kV di Blok I PT. Indonesia Power UP Grati terdapat 23 beban motor yang terdiri dari 2 buah motor berkapasitas 1180 kW pada bus SST. Sedangkan pada bus SGT terdapat 6 motor berkapasitas 1450kW, 6 motor berkapasitas 380 kW, 6 motor berkapasitas 200 kW, dan 3 motor berkapasitas 240 kW. Pada simulasi ETAP 12.6

yang digunakan, tiap kapasitas digambarkan dengan 1 motor. Data beban motor tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut :

Tabel 3.4 Data Beban Motor di PT. Indonesia Power UP Grati

| No | Nama Motor | Kapasitas (kW) | Kapasitas (kVA) | Rating Tegangan (kV) | FLA (A) |
|----|----------------------------|----------------|-----------------|----------------------|---------|
| 1 | CWP-1A | 1180 | 1359 | 6,3 | 124,5 |
| 2 | CWP-1B | 1180 | 1359 | 6,3 | 124,5 |
| 3 | GT1 STARTING MOTOR | 1450 | 1667 | 6,3 | 152,7 |
| 4 | GT2 STARTING MOTOR | 1450 | 1667 | 6,3 | 152,7 |
| 5 | GT3 STARTING MOTOR | 1450 | 1667 | 6,3 | 152,7 |
| 6 | GT4 STARTING MOTOR | 1450 | 1667 | 6,3 | 152,7 |
| 7 | GT5 STARTING MOTOR | 1450 | 1667 | 6,3 | 152,7 |
| 8 | GT6 STARTING MOTOR | 1450 | 1667 | 6,3 | 152,7 |
| 9 | ATOMIZING AIR COMPRESSOR-A | 380 | 443 | 6,3 | 40,56 |
| 10 | ATOMIZING AIR COMPRESSOR-B | 380 | 443 | 6,3 | 40,56 |
| 11 | ATOMIZING AIR COMPRESSOR-C | 380 | 443 | 6,3 | 40,56 |
| 12 | ATOMIZING AIR COMPRESSOR-D | 380 | 443 | 6,3 | 40,56 |
| 13 | ATOMIZING AIR COMPRESSOR-E | 380 | 443 | 6,3 | 40,56 |
| 14 | ATOMIZING AIR COMPRESSOR-F | 380 | 443 | 6,3 | 40,56 |
| 15 | GT1 MAIN FUEL OIL PUMP | 200 | 234 | 6,3 | 21,48 |
| 16 | GT2 MAIN FUEL OIL PUMP | 200 | 234 | 6,3 | 21,48 |
| 17 | GT3 MAIN FUEL OIL PUMP | 200 | 234 | 6,3 | 21,48 |
| 18 | GT4 MAIN FUEL OIL PUMP | 200 | 234 | 6,3 | 21,48 |

| Tabel 3.4 (lanjutan) | | | | | |
|----------------------|--|-----|-----|-----|-------|
| 19 | GT5 MAIN FUEL OIL PUMP | 200 | 234 | 6,3 | 21,48 |
| 20 | GT6 MAIN FUEL OIL PUMP | 200 | 234 | 6,3 | 21,48 |
| 21 | CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP FOR GT-A | 240 | 281 | 6,3 | 25,74 |
| 22 | CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP FOR GT-B | 240 | 281 | 6,3 | 25,74 |
| 23 | CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP FOR GT-C | 240 | 281 | 6,3 | 25,74 |

3.6 Data Beban *Lumped load* di PT.Indonesia Power UP Grati

Beban *lumped load* pada PT. Indonesia Power UP Grati Blok I terdiri dari 5 buah beban *lumped load* pada bus SGT dan 3 buah *lumped load* pada bus SST. Beban-beban tersebut memiliki trafo *stepdown* yang menurunkan tegangan 6,3 kV ke 400 V. Data beban *lumped load* tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Data *Lumped Load* di PT. Indonesia Power UP Grati

| No | ID Peralatan | Jenis Peralatan | Rating Tegangan (kV) | Rating Daya (kVA) | FLA (A) |
|----|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|---------|
| 1 | 00BBT09 SS1E PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 1500 | 137,5 |
| 2 | 00BBT03 SS1 PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 2000 | 183,3 |
| 3 | 00BHT01 LT1 PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 1500 | 137,5 |
| 4 | 00BBT06 ACWC1 PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 1000 | 91,64 |
| 5 | 00BBT08 ACWC2 PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 1000 | 91,64 |
| 6 | 00BBT04 SS2 PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 2000 | 183,3 |
| 7 | 00BHT02 LT2 PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 1500 | 124,5 |
| 8 | 00BHT03 ADMI PDC T. | <i>Lumped Load</i> | 0,4 | 500 | 124,5 |

3.7 Arus Gangguan Hubung Singkat Sistem Kelistrikan pada PT. Indonesia Power UP Grati

Besarnya nilai arus gangguan hubung singkat pada PT. Indonesia Power UP Grati blok I terbagi menjadi dua yaitu arus gangguan hubung singkat maksimum dan arus gangguan hubung singkat minimum. Arus gangguan hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$) merupakan besar arus gangguan 3 fasa pada waktu *transient* yang digunakan untuk menentukan nilai M atau *time dial*, serta penentuan pemilihan CB (*Circuit Breaker*). Sedangkan arus gangguan hubung singkat minimum ($I_{sc\ min}$) merupakan besar arus gangguan antar fasa yang digunakan untuk mencari nilai *setting instantaneous*.

3.7.1 Arus Gangguan Hubung Singkat Maksimum

Terdapat dua data besar nilai arus gangguan hubung maksimum ($I_{sc\ max}$), yaitu saat menggunakan sumber dari pembangkit dan sumber PLN 150 kV. Data rating bus yang menggunakan sumber pembangkit dapat dilihat pada Tabel 3.6 sedangkan data rating bus yang menggunakan sumber PLN 150 KV dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.6 Data Rating Bus menggunakan Sumber Generator

| No | Nama Bus | Tegangan | Arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$) |
|----|-------------------|----------|--|
| 1 | Bus 150 kV | 150 kV | 40 kA |
| 2 | Bus 500 kV | 500 kV | 50,89 kA |
| 3 | Bus SGT | 6,3 kV | Open |
| 4 | Bus SST | 6,3 kV | 8,21 kA |
| 5 | Bus 00BBT09 | 6,3 kV | 10,69 kA |
| 6 | Bus 00BBT03 | 6,3 kV | 10,66 kA |
| 7 | Bus 00BHT01 | 6,3 kV | 10,69 kA |
| 8 | Bus 00BHT06 | 6,3 kV | 10,72 kA |
| 9 | Bus 00BHT08 | 6,3 kV | 10,72 kA |
| 10 | Bus motor 1450 kW | 6,3 kV | 10,12 kA |
| 11 | Bus motor 380 kW | 6,3 kV | 10,69 kA |
| 12 | Bus motor 200 kW | 6,3 kV | 10,73 kA |
| 13 | Bus motor 240 kW | 6,3 kV | 10,73 kA |
| 14 | Bus 00BBT01 | 6,3 kV | 10,67 kA |
| 15 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 10,24 kA |
| 16 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 10,24 kA |
| 17 | Bus 00BHT02 | 6,3 kV | 10,7 kA |
| 18 | Bus 00BHT03 | 6,3 kV | 10,75 kA |

Tabel 3.7 Data Rating Bus Menggunakan Sumber PLN 150 kV

| No | Nama Bus | Tegangan | Arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$) |
|----|-------------------|----------|--|
| 1 | Bus 150 kV | 150 kV | 40 kA |
| 2 | Bus 500 kV | 500 kV | 50,89 kA |
| 3 | Bus SGT | 6,3 kV | 21,51 kA |
| 4 | Bus SST | 6,3 kV | Open |
| 5 | Bus 00BBT09 | 6,3 kV | 23,99 kA |
| 6 | Bus 00BBT03 | 6,3 kV | 23,96 kA |
| 7 | Bus 00BHT01 | 6,3 kV | 23,99 kA |
| 8 | Bus 00BHT06 | 6,3 kV | 24,02 kA |
| 9 | Bus 00BHT08 | 6,3 kV | 24,02 kA |
| 10 | Bus motor 1450 kW | 6,3 kV | 23,42 kA |
| 11 | Bus motor 380 kW | 6,3 kV | 23,99 kA |
| 12 | Bus motor 200 kW | 6,3 kV | 24,03 kA |
| 13 | Bus motor 240 kW | 6,3 kV | 24,02 kA |
| 14 | Bus 00BBT01 | 6,3 kV | 23,97 kA |
| 15 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 23,64 kA |
| 16 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 23,54 kA |
| 17 | Bus 00BHT02 | 6,3 kV | 23,99 kA |
| 18 | Bus 00BHT03 | 6,3 kV | 24,05 kA |

3.7.2 Arus Gangguan Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum didapatkan dari hasil *running* simulasi pada software ETAP 12.6.0 dalam waktu 30 *cycle*. Besarnya nilai arus gangguan hubung singkat minimum ($I_{sc\ min}$) ini digunakan untuk menentukan nilai arus *pick up* pada *setting instantaneous*. Data arus gangguan hubung singkat minimum untuk sumber pembangkit dapat dilihat pada Tabel 3.8 di bawah ini :

Tabel 3.8 Data Rating Bus menggunakan Sumber Generator

| No | Nama Bus | Tegangan | Arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ min}$) |
|----|----------|----------|--|
|----|----------|----------|--|

| | | | |
|----|-------------------|--------|----------|
| 1 | Bus 150 kV | 150 kV | 34,64 kA |
| 2 | Bus 500 kV | 500 kV | 44,05 kA |
| 3 | Bus SGT | 6,3 kV | Open |
| 4 | Bus SST | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 5 | Bus 00BBT09 | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 6 | Bus 00BBT03 | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 7 | Bus 00BHT01 | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 8 | Bus 00BHT06 | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 9 | Bus 00BHT08 | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 10 | Bus motor 1450 kW | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 11 | Bus motor 380 kW | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 12 | Bus motor 200 kW | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 13 | Bus motor 240 kW | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 14 | Bus 00BBT01 | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 15 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 16 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 17 | Bus 00BHT02 | 6,3 kV | 7,08 kA |
| 18 | Bus 00BHT03 | 6,3 kV | 7,08 kA |

Untuk data arus gangguan hubung singkat minimum yang menggunakan sumber PLN 150 kV dapat dilihat pada Tabel 3.9

Tabel 3.9 Data Rating Bus Menggunakan Sumber PLN 150 kV

| No | Nama Bus | Tegangan | Arus hubung singkat minimum (I _{sc} min) |
|----|-------------------|----------|---|
| 1 | Bus 150 kV | 150 kV | 34,64 kA |
| 2 | Bus 500 kV | 500 kV | 44,05 kA |
| 3 | Bus SGT | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 4 | Bus SST | 6,3 kV | Open |
| 5 | Bus 00BBT09 | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 6 | Bus 00BBT03 | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 7 | Bus 00BHT01 | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 8 | Bus 00BHT06 | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 9 | Bus 00BHT08 | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 10 | Bus motor 1450 kW | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 11 | Bus motor 380 kW | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 12 | Bus motor 200 kW | 6,3 kV | 18,63 kA |

| Tabel 3.9 (lanjutan) | | | |
|----------------------|-------------------|--------|----------|
| 13 | Bus motor 240 kW | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 14 | Bus 00BBT01 | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 15 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 16 | Bus motor 1180 kW | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 17 | Bus 00BHT02 | 6,3 kV | 18,63 kA |
| 18 | Bus 00BHT03 | 6,3 kV | 18,63 kA |

BAB IV

HASIL SIMULASI KOORDINASI PROTEKSI PT. INDONESIA POWER UP GRATI

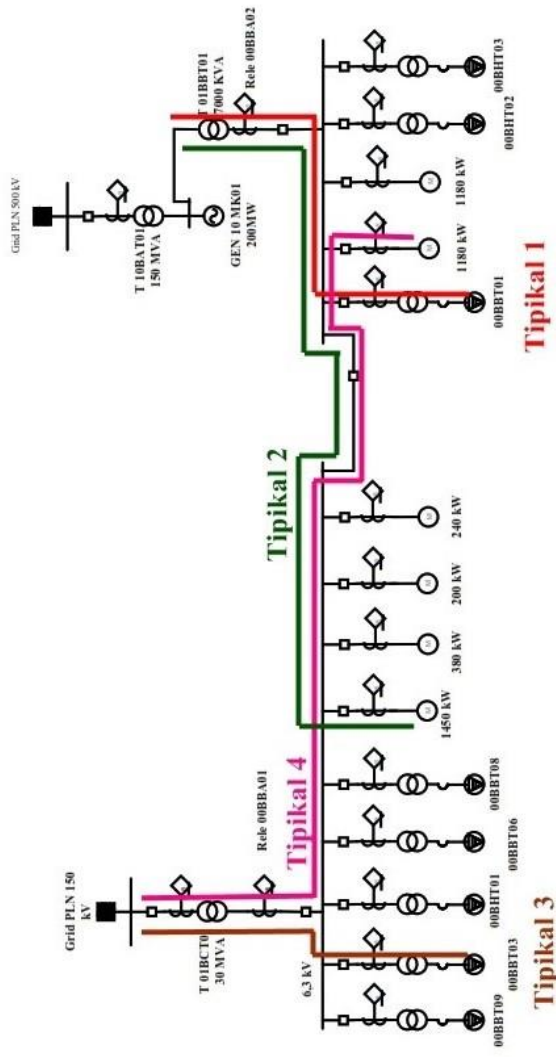
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Power UP Grati

Software yang digunakan dalam pengerjaan simulasi sistem kelistrikan pada tugas akhir ini adalah menggunakan *software* ETAP 12.6. Untuk pemodelan sistem kelistrikan PT. Indonesia Power UP Grati adalah berupa *single line diagram* yang terdiri dari beberapa peralatan listrik yaitu generator, transformator, rele, pemutus atau *circuit breaker*, motor, dan *lump load*. Langkah awal pemodelan ialah mengumpulkan data-data dari peralatan tersebut. Kemudian memasukkan data peralatan ke dalam *software* ETAP 12.6

Langkah selanjutnya ialah mencari nilai-nilai peralatan listrik seperti nilai arus nominal (I_n), arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$), arus hubung singkat minimum ($I_{sc\ min}$) yang didapat dari simulasi *software* ETAP 12.6 untuk menentukan koordinasi proteksinya. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menentukan range nilai arus *pickup* dan nilai *time dial* pada setting rele kurva *inverse* dan kurva *instantaneous*.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi PT. Indonesia Power UP Grati

Pada PT. Indonesia Power UP Grati blok I, terdapat dua buah sumber yaitu sumber generator dan sumber dari suplai PLN 150 kV. Saat menggunakan sumber generator, maka sumber suplai PLN 150 kV dimatikan (OFF). Begitu juga sebaliknya, saat sumber generator mati (OFF), maka sumber dari suplai PLN 150 kV akan menyala (ON). Dipilih empat buah tipikal pada tugas akhir ini, yaitu dapat dilihat pada gambar 4.1. Pemilihan tipikal dilakukan dengan memilih beban motor terbesar dan beban *lumped load* terbesar. Dalam pemilihan tipikal juga mempertimbangkan besar nilai arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$) dan arus hubung singkat minimum ($I_{sc\ min}$). Nilai arus hubung singkat maksimum ($I_{sc\ max}$) didapatkan saat menggunakan sumber grid PLN 150 kV. Sedangkan Nilai arus hubung singkat minimum ($I_{sc\ min}$) didapatkan saat menggunakan sumber generator.



Gambar 4.1 Pemilihan Tipikal pada *Single Line Diagram*

1. Tipikal 1 : Pemilihan tipikal 1 koordinasi proteksi rele ini menggunakan sumber dari generator. Dimulai dari LVCB beban *lumped load* transformator yang memiliki nilai 1,2 MVA, selanjutnya rele arus lebih 00BBT01 dan rele 00BBA02 pada bus SST 6,3 kV
2. Tipikal 2 : Pemilihan tipikal 2 koordinasi proteksi rele menggunakan sumber dari generator. Dimulai dari beban motor yang memiliki kapasitas sebesar 1450 kW, selanjutnya rele arus lebih 00BBA02 pada bus SST 6,3 kV.
3. Tipikal 3 : Pemilihan tipikal 3 koordinasi proteksi rele menggunakan sumber dari suplai PLN 150 kV. Dimulai dari dari LVCB beban *lumped load* transformator yang memiliki nilai 1,2 MVA, selanjutnya rele arus lebih 00BBT03 dan rele 00BBA01 pada bus SGT 6,3 kV
4. Tipikal 4 : Pemilihan tipikal 4 koordinasi proteksi rele menggunakan sumber dari suplai PLN 150 kV. Dimulai beban motor yang memiliki kapasitas sebesar 1180 kW, selanjutnya rele arus lebih 00BBA01 pada bus SGT 6,3 kV hingga rele grid 150 kV

4.3 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

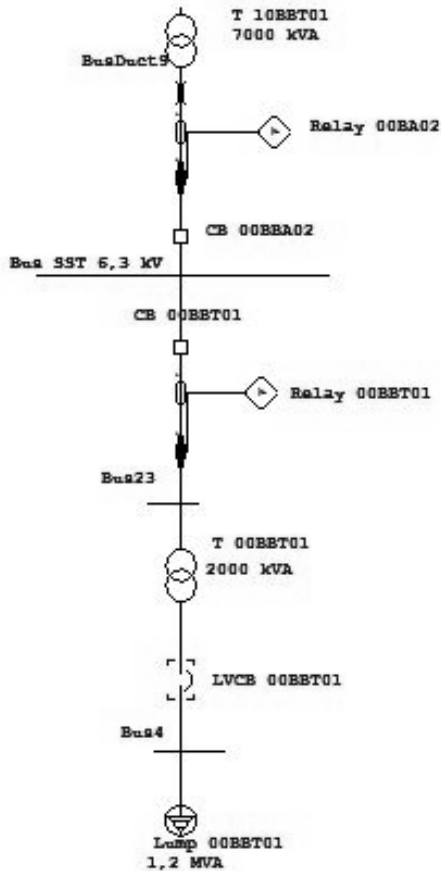
Saat terjadi gangguan hubung singkat dan gangguan beban berlebih, rele arus lebih akan mendeteksi gangguan tersebut. Agar gangguan dapat terdeteksi secara tepat, maka diperlukan pengaturan rele yang sesuai di antaranya adalah pemilihan *setting high set, low set*, waktu tunda (*time delay*), dan *time dial*.

Untuk pengaturan *high set*, perlu diperhatikan besar nilai arus hubung singkat minimum (*I_{sc min}*) pada fasa. Besar nilai arus hubung singkat minimum dapat dilihat pada *software* ETAP 12.6 pada modul *Short-Circuit Analysis*, kemudian dipilih hubung singkat dua fasa atau 30 *cycle*. Sedangkan untuk pengaturan *low set*, perlu diperhatikan nilai arus nominal peralatan (*I_n*) atau FLA yang terdekat dari rele yang terpasang. Besar nilai arus hubung singkat maksimum (*I_{sc max}*) digunakan untuk menentukan nilai *time dial* (M). Nilai arus hubung singkat maksimum (*I_{sc max}*) dapat dilihat pada *software* ETAP 12.6 pada modul *Short-Circuit Analysis* kemudian pilih hubung singkat 3 fasa pada saat 4 *cycle*. Sedangkan untuk pengaturan waktu tunda (*time delay*) perlu diperhatikan *grading time*. Menurut standart IEEE 242, *grading time* yakni antara 0,2 sampai 0,3 detik.

Setelah menentukan *range* nilai *setting high set* dan *low set*, maka dilakukan simulasi untuk mengetahui apakah telah sesuai dengan *setting* yang diharapkan. Simulasi proteksi pada *software* ETAP 12.6 dilakukan menggunakan modul *Star- Protective Device Coordination*, kemudian dapat kita beri gangguan hubung singkat untuk mengetahui *Circuit Breaker* (CB) mana yang putus saat terjadi gangguan. Apabila belum tepat dan belum sesuai dengan yang diharapkan, dapat dianalisis pada kurva pada rele yang diplot ke ikon *Create Star View*.

4.3.1 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 1

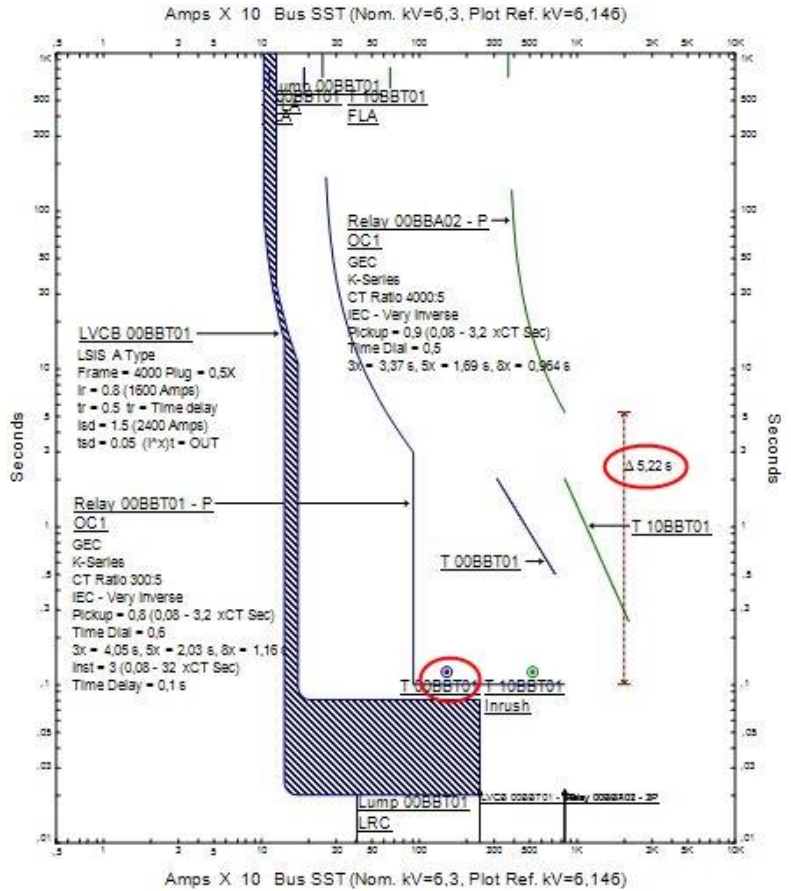
Pemilihan tipikal 1 dipilih dari beban *lumped load* transformer sebesar 1,2 MVA dan menggunakan sumber yang berasal dari generator. Tipikal 1 terdiri dari dua buah rele dan satu buah *Low Voltage Circuit Breaker* (LVCB) yang akan dihitung nilai *resetting*-nya. Rele 00BA02 digunakan untuk mengamankan transformator T 10BBT01 dari arus gangguan, sedangkan rele 00BBT01 digunakan untuk mengamankan transformator T 00BBT01. LVCB 00BBT01 digunakan untuk mengamankan beban *lumped load* saat ada gangguan di bus 0,4 kV. Rele 00BA02 dan rele 00BBT01 berada pada bus 6,3 kV. Gambar *single line diagram* tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Single Line Diagram Tipikal 1

Dapat dilihat pada gambar 4.2 yakni rele arus lebih berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dari adanya gangguan. Apabila terdapat gangguan pada beban *lumped load*, maka LVCB akan trip terlebih dahulu. Apabila gangguan terjadi pada bus 23, maka rele 00BET01 akan merasakan gangguan dan trip terlebih dahulu. Rele arus lebih akan mendeteksi gangguan pada peralatan terdekatnya. Sebelum mencari besar nilai perhitungan *resetting*, perlu dilihat apakah *setting existing* yang ada

pada PT. Indonesia Power UP Grati telah sesuai atau tidak. Kurva *existing* dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut :



Gambar 4.3 Kurva *Existing* Tipikal 1 Sumber Generator

Dari gambar kurva TCC (*Time Current Curve*) di atas, dapat dilihat plot kurva koordinasi proteksi kondisi *Existing*. Terdapat beberapa kondisi yang harus diperbaiki pada pemilihan tipikal 1 ini yaitu

1. *Grading* waktu rele pengaman tidak memenuhi standar 0,2-0,4 detik

2. Rele 00BBT01 sebagai pengaman trafo 00BBT01 masuk dalam daerah kerja inrush sehingga saat arus inrush trafo muncul setelah sesaat dapat menyebabkan rele tersebut trip.

Berikut waktu operasi kerja Rele Existing tipikal 1 saat diberi gangguan pada daerah sekitar beban *lumped load* untuk menguji kondisi tipikal 1 telah terkordinasi dengan benar atau tidak. Saat gangguan terjadi pada bus 23, rele pengaman 00BBT01 merasakan gangguan pada detik 0,1 sedangkan rele backupnya yaitu rele 00BBA02 baru merasakan gangguan pada detik ke 5. Berdasarkan standaed IEEE, grading time yang direkomendasikan yaitu 0,2-0,3 detik.

Tabel 4.1 Waktu Operasi Kerja Rele Existing tipikal 1

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|------------|--------------|--|
| 100 | Rele 00BBT01 | Fasa OC1-50 |
| 170 | CB 00BBT01 | Trip oleh rele 00BBT01 Fasa – OC1 - 50 |
| 5319 | Rele 00BBA02 | Fasa OC1-51 |
| 5389 | CB 00BBA02 | Trip oleh rele 00BBA02 Fasa – OC1 - 51 |

Dari Gambar 4.3 dan Tabel 4.1 di atas dapat dilihat bahwa perlu dilakukan *resetting* agar sistem proteksi terkoordinasi dengan baik. Berikut perhitungan *resetting* :

a. LVCB 00BBT01

Manufacture : LSIS
 Tipe Kurva : *Long Time & Short Time*
 FLA Trafo sekunder : 2887 A
Sensor : 4000 A
 Isc min 30 cycle : 30,34 kA (sisi tegangan 0,4 kV)
 Isc max 4 cycle : 37,41 kA (sisi tegangan 0,4 kV)
 Rating Plug : 3200 A

Long-Time

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 2887 < Iset < 1,4 \times 2887$$

$$3031,35 \text{ A} < Iset < 4041,8 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 3040

Short-Time

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$1,6 \times 2887 < I_{set} < 0,8 \times 30340$$

$$4619,2 \text{ A} < I_{set} < 24272 \text{ A}$$

$$\frac{4619,2}{4000} < \text{Tap} < \frac{24272}{4000}$$

$$1,15 \text{ A} < \text{Tap} < 6,06 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 5292 A

Time Delay

Dipilih Time Delay = 0,05s

b. Rele 00BBT01

Manufacture : GEC
 Model : K-Series
 FLA : 183 A
 CT ratio : 300 /5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Trafo 00BBT01} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Trafo 00BBT01}$$

$$1,05 \times 183 < I_{set} < 1,4 \times 183$$

$$192,15 < I_{set} < 256,2$$

$$\frac{192,15}{300} < \text{Tap} < \frac{256,2}{300}$$

$$0,64 < \text{Tap} < 0,854$$

Dipilih Tap = 0,85

Iset = $0,85 \times 300$
 = 256,6 A

Time Dial

Tipe Kurva = Very Inverse
 Waktu Operasi (t) = 0,3 detik
 Isc max 4cycle = 10670 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{set}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,3 \times \frac{\left(\frac{10670}{256,6}\right)^1 - 1}{13,5}$$

M = 0,9

Dipilih *time dial* = 0,9

Instantaneous Pickup

Isc min = 7080 A

$$1,6 \times \text{FLA Trafo 00BBT01} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 183 < \text{Iset} < 0,8 \times 7080$$

$$293,28 < \text{Iset} < 5664$$

$$\frac{293,28}{300} < \text{Tap} < \frac{5664}{300}$$

$$0,977 < \text{Tap} < 18,88$$

Dipilih Tap = 10

Iset = 10×300

= 3000 A

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,3 s

c. Rele SST 00BBA02

Manufacture : GEC

Model : K-Series

FLA : 642 A

CT ratio : 4000/ 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Trafo 00BBA02} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Trafo 00BBA02}$$

$$1,05 \times 682 < \text{Iset} < 1,4 \times 682$$

$$673,6 < \text{Iset} < 898,1$$

$$\frac{673,6}{4000} < \text{Tap} < \frac{898,1}{4000}$$

$$0,16 < \text{Tap} < 0,22$$

Dipilih Tap = 0,16

Iset = $0,16 \times 4000$

= 673,6 A

Time Dial

Tipe Kurva = *Very Inverse*

Waktu Operasi (t) = 0,5 detik

Isc max 4cycle = 8210 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{set}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,5 \times \frac{\left(\frac{8210}{673,6}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,41$$

Dipilih *time dial* = 0,41

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \min} = 7080 \text{ A}$$

$$1,6 \times \text{FLA Trafo 00BBT01} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \min}$$

$$1,6 \times 642 < I_{set} < 0,8 \times 7080$$

$$1026,4 < I_{set} < 5664$$

$$\frac{1026,4}{4000} < Tap < \frac{5664}{4000}$$

$$0,26 < Tap < 1,41$$

$$\text{Dipilih Tap} = 1$$

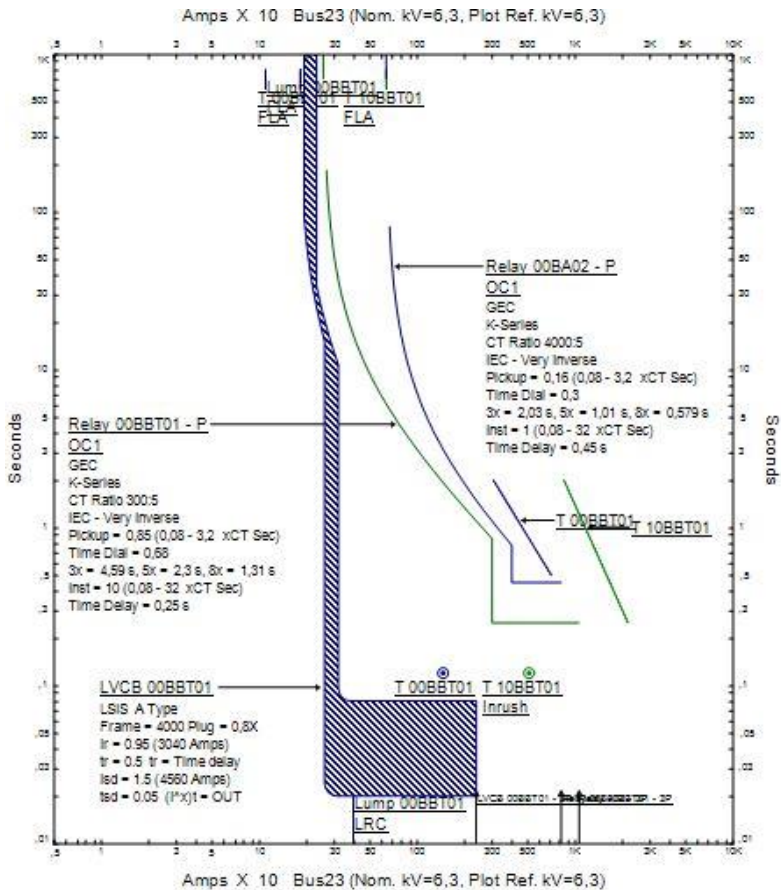
$$I_{set} = 1 \times 400$$

$$= 4000 \text{ A}$$

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,5 s

Dari perhitungan *resetting* yang telah dilakukan, dapat dilihat kurva TCC (*Time Current Curve*) pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kurva *Resetting* Tipikal 1 Sumber Generator

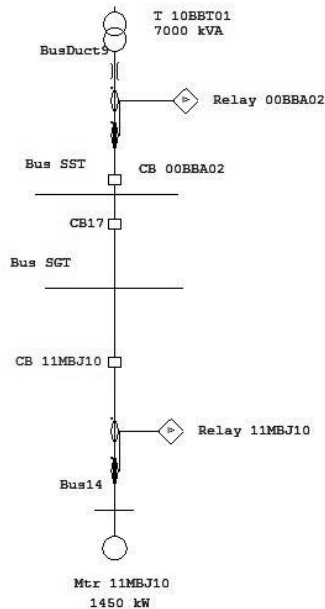
Koordinasi proteksi pada kondisi *existing* telah diperbaiki sehingga kondisi pada tipikal 1 telah terkoordinasi dengan baik. Pada pengujian yang dilakukan pada *software* ETAP 12.6, saat gangguan terjadi pada bus 23 menggunakan sumber generator, maka rele 00BBT01 merasakan gangguan kemudian CB 00BBT01 trip. Selanjutnya rele 00BBA02 merasakan gangguan kemudian CB 00BBA02 trip juga setelah grading 0,2 detik. Waktu operasi kerja rele *resetting* tipikal 1 dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Waktu Operasi Kerja Rele *Resetting* Tipikal 1

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|--|--------------|---|
| Saat gangguan terjadi pada bus 23 menggunakan sumber generator | | |
| 250 | Rele 00BBT01 | Fasa - OC1 - 50 |
| 320 | CB 00BBT01 | Trip oleh rele 00BBT01 – Fasa - OC1 -50 |
| 450 | Rele 00BA02 | Fasa - OC1 - 50 |
| 520 | CB 00BA02 | Trip oleh rele 00BBA02 – Fasa - OC1 -50 |

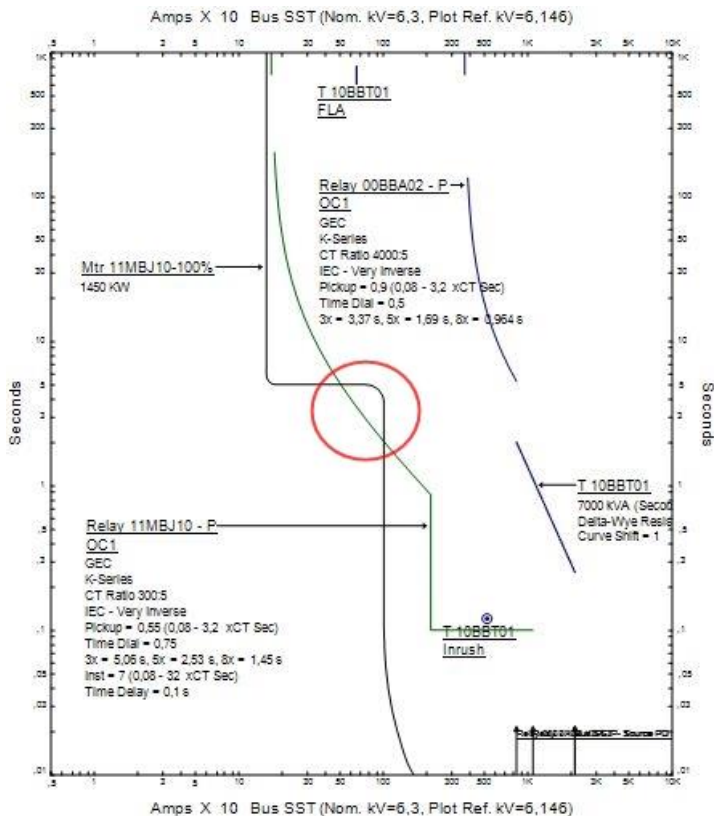
4.3.2 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 2

Pemilihan tipikal 2 dipilih dari beban motor yang berkapasitas 1450 kW yang ada pada bus SGT 6 kV dan menggunakan sumber generator. Tipikal 2 terdiri dari dua buah rele yaitu rele 10MBJ10 untuk mengamankan beban motor dan rele SST 00BBA02 untuk mengamankan *transformator* 10BBT01 dari adanya arus gangguan. Gambar *single line diagram* tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.5 sebagai berikut :



Gambar 4.5 *Single Line Diagram* Tipikal 2

Gambar *single line diagram* tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.5 di atas. Dapat diamati bahwa rele arus lebih yang terpasang berfungsi sebagai pengaman peralatan listrik dari adanya gangguan. Saat terjadi gangguan pada daerah sekitar beban motor 1450 kW, maka rele 11MBJ10 akan trip terlebih dahulu. Saat gangguan terjadi pada bus SST atau SGT, maka rele 00BBA02 akan merasakan gangguan dan CB 00BBA02 akan trip. Gangguan akan dideteksi oleh rele arus lebih pada peralatan terdekatnya. Kondisi kurva *existing* yang ada pada tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.6 untuk mengetahui apakah telah terkoordinasi dengan baik atau tidak.



Gambar 4.6 Kurva *Existing* Tipikal 2 Sumber Generator

Dapat dilihat kondisi *existing* tipikal 2 pada Gambar 4.6 kurva TCC (*Time Current Curve*) di atas, plot kurva koordinasi proteksi yang harus diperbaiki pada pemilihan tipikal 2 ini adalah

1. Rele 11MBJ10 menyinggung arus starting motor 11MBJ10 sehingga pada keadaan aktual, rele tersebut merasakan adanya arus *inrush* motor.

Berikut waktu operasi kerja Rele Existing tipikal 2 saat diberi gangguan

Tabel 4.3 Waktu Operasi Kerja Rele *Existing* Tipikal 2

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|------------|--------------|------------------------------------|
| 100 | Rele 11MBJ10 | Fasa – OC1 - 50 |
| 170 | CB 11MBJ10 | Trip oleh rele 11MBJ10 Fasa OC1-50 |

Berikut nilai perhitungan *resetting* agar rele pengaman tidak menyinggung arus *starting*

- a. Rele 11MBJ10

Manufacture : GEC
 Model : K-Series
 FLA : 153 A
 CT ratio : 300 /5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA motor 11MBJ10} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA motor 11MBJ10} \\
 1,05 \times 153 &< \text{Iset} < 1,4 \times 153 \\
 160,4 &< \text{Iset} < 213,9 \\
 \frac{160,4}{300} &< \text{Tap} < \frac{213,9}{300} \\
 0,53 &< \text{Tap} < 0,71
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,71
 Iset = 0,71 × 300
 = 213,9 A

Time Dial

Tipe Kurva = *Very Inverse*
 Waktu Operasi (t) = 0,3 detik
 Isc max 4cycle = 10120 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Iset}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,3 \times \frac{\left(\frac{10120}{213,9}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 1,03$$

Dipilih *time dial* = 1,2

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ min}} = 7080 \text{ A}$$

$$1,6 \times \text{FLA motor 11MBJ10} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,6 \times 153 < I_{set} < 0,8 \times 7080$$

$$244,4 < I_{set} < 5664$$

$$\frac{244,4}{300} < Tap < \frac{5664}{300}$$

$$0,73 < Tap < 18,88$$

$$\text{Dipilih Tap} = 18$$

$$I_{set} = 8 \times 300$$

$$= 5400 \text{ A}$$

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,1s

b. Rele SST 00BBA02

Manufacture : GEC

Model : K-Series

FLA : 642 A

CT ratio : 4000/ 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Trafo 00BBA02} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Trafo 00BBA02}$$

$$1,05 \times 682 < I_{set} < 1,4 \times 682$$

$$673,6 < I_{set} < 898,1$$

$$\frac{673,6}{4000} < Tap < \frac{898,1}{4000}$$

$$0,16 < Tap < 0,22$$

$$\text{Dipilih Tap} = 0,16$$

$$I_{set} = 0,16 \times 4000$$

$$= 673,6 \text{ A}$$

Time Dial

Tipe Kurva = *Very Inverse*
 Waktu Operasi (t) = 0,5 detik
 Isc max 4cycle = 8210 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{Isc \max}{Iset}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,5 \times \frac{\left(\frac{8210}{673,6}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,41$$

Dipilih *time dial* = 0,41

Instantaneous Pickup

Isc min = 7080 A

$$1,6 \times FLA \text{ Trafo 00BBA02} < Iset < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$1,6 \times 642 < Iset < 0,8 \times 7080$$

$$1026,4 < Iset < 5664$$

$$\frac{1026,4}{4000} < Tap < \frac{5664}{4000}$$

$$0,26 < Tap < 1,41$$

Dipilih Tap = 1

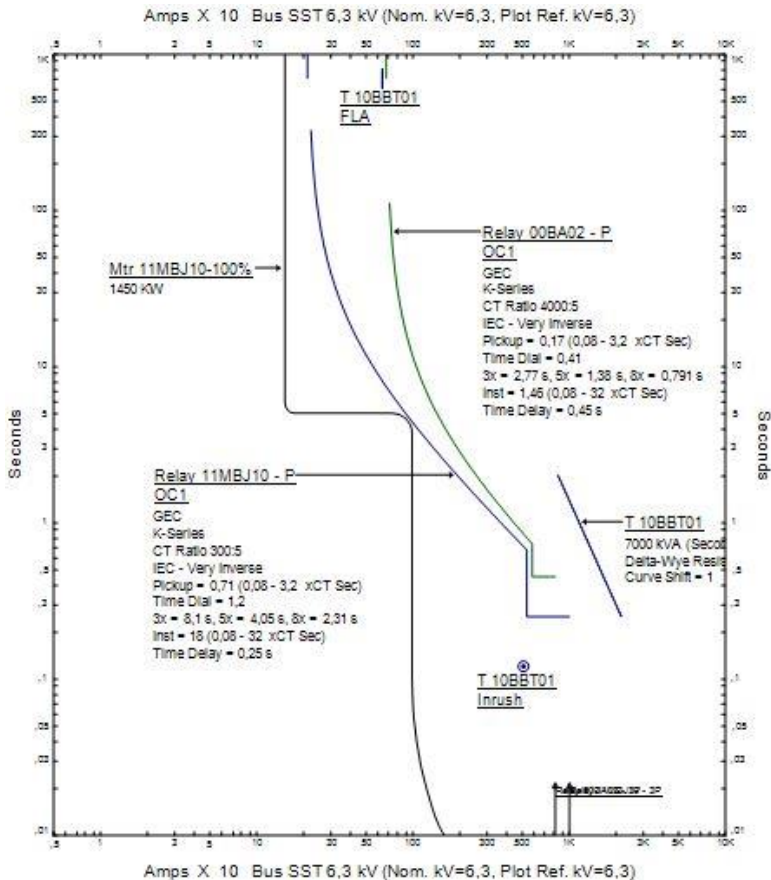
Iset = 1 × 4000

= 4000 A

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,5 s

Dari perhitungan *resetting* tipikal 2 yang telah dilakukan, dapat dilihat kurva TCC (*Time Current Curve*) pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kurva *Resetting* Tipikal 2 Sumber Generator

Koordinasi proteksi pada kondisi *existing* telah diperbaiki sehingga kondisi pada tipikal 2 telah terkoordinasi dengan baik. Dapat dilihat dari Tabel 4.4 pada pengujian yang dilakukan pada *software* ETAP 12.6, saat gangguan terjadi pada bus 31, rele 11MBJ10 akan merasakan gangguan dan CB trip, selanjutnya pada grading waktu 0,2 detik rele 00BBA02 akan merasakan gangguan dan trip untuk melindungi *transformator* 10BBT01 dari adanya gangguan. Penambahan setting instantaneous pada rele

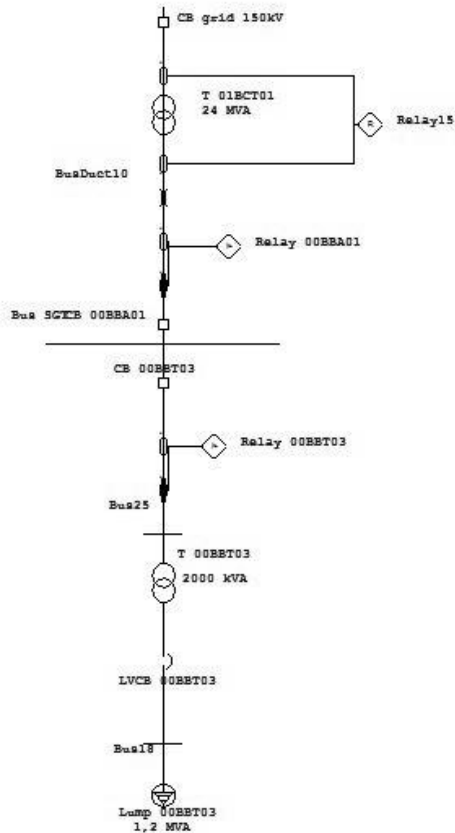
00BBA02 digunakan sebagai *backup* rele bawahnya, karena nilai arus gangguannya besar.

Tabel 4.4 Waktu Operasi Kerja Rele *Resetting* Tipikal 2

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|--|-----------------------|--|
| Saat gangguan terjadi pada bus 31 menggunakan sumber generator | | |
| 100 | Rele 00PAB10 AP001 | Fasa – OC1 - 50 |
| 170 | CB 00PAB10 AP001 | Trip oleh rele 00PAB10 AP001 – Fasa - OC1 -50 |
| 300 | Rele 00BBA02 | Fasa – OC1 - 50 |
| 370 | CB 00BBA02 | Trip oleh rele 00BBA02 – Fasa – OC1 - 50 |

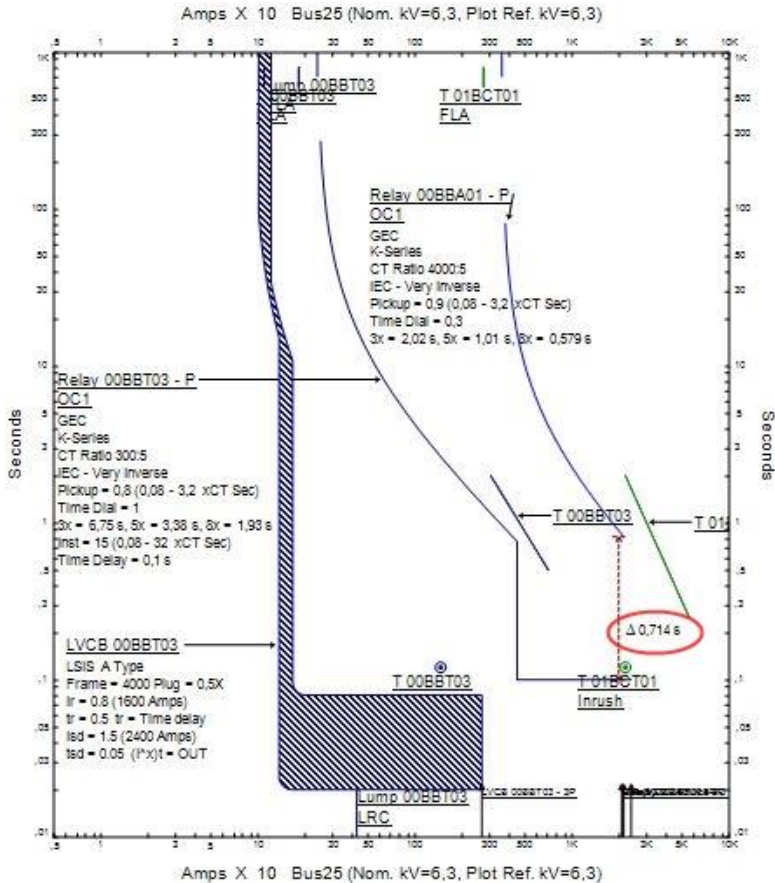
4.3.3 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 3

Pemilihan tipikal 3 berasal dari sumber suplai PLN 150 kV berdasarkan sumber beban *lumped load* yang terbesar yaitu 1,2 MVA. Tipikal 3 ini terdiri dari satu buah LVCB (*Low Voltage Circuit Breaker*) dan tiga buah rele arus lebih. LVCB digunakan untuk mengamankan beban *lumped load* tegangan 0,4 kV apabila terjadi gangguan. Rele 00BBT03 digunakan untuk mengamankan transformator 00BBT03 dan rele 00BBA01 yang berada pada bus SGT 6,3 kV digunakan untuk mengamankan transformator T 01BCT01. Gambar *single line diagram* rangkaian tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Single Line Diagram Tipikal 3

Pada Gambar 4.8 di atas, dapat diamati bahwa rele arus yang terpasang berfungsi untuk mengamankan beban *lumped load* dan *transformator* dari adanya gangguan hubung singkat atau beban berlebih. Untuk mengetahui apakah koordinasi proteksi pada tipikal 3 ini telah berjalan dengan sesuai apa tidak, dapat dilihat pada kurva TCC gambar 4.9 sebagai berikut :



Gambar 4.9 Kurva *Existing* Tipikal 3

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat kondisi *existing* tipikal 3 plot kurva TCC (*Time Current Curve*) di atas. Koordinasi proteksi yang harus diperbaiki pada pemilihan tipikal 3 ini adalah

1. *Grading* rele pengaman 00BBT03 dan 00BBA01 tidak memenuhi standar 0,2-0,4 detik.
2. Tidak ada rele pengaman pada CB di bawah bus 150 kV sehingga dilakukan penambahan rele.

Tabel 4.5 Waktu Operasi Kerja Rele *Eksisting* Tipikal 3

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|------------|--------------|--------------------------------------|
| 100 | Rele 00BBT03 | Fasa – OC1 - 50 |
| 170 | CB 00BBT03 | Trip oleh rele 00BBT03 Fasa - OC1-50 |
| 630 | Rele 00BBA01 | Fasa – OC1 - 51 |
| 700 | CB 00BBA01 | Trip oleh rele 00BBA01 Fasa - OC1-51 |

Waktu operasi kerja rele existing dapat dilihat pada Tabel 4.5. Sehingga perlu dilakukan perhitungan *resetting* sebagai berikut :

a. LVCB 00BBT03

Manufacture : LSIS
Tipe Kurva : *Long Time & Short Time*
FLA Trafo sekunder : 2887 A
Sensor : 4000 A
Isc min 30 cycle : 30,34 kA (sisi tegangan 0,4 kV)
Isc max 4 cycle : 37,41 kA (sisi tegangan 0,4 kV)
Rating Plug : 3200 A

Long-Time

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$
$$1,05 \times 2887 < Iset < 1,4 \times 2887$$
$$3031,35 \text{ A} < Iset < 4041,8 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 3040

Short-Time

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times Isc \text{ min}$$
$$1,6 \times 2887 < Iset < 0,8 \times 30340$$
$$4619,2 \text{ A} < Iset < 24272 \text{ A}$$
$$\frac{4619,2}{4000} < Tap < \frac{24272}{4000}$$
$$1,15 \text{ A} < Tap < 6,06 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 5292 A

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,05 s

b. Rele 00BBT03

Manufacture : GEC
Model : K-Series

FLA : 183 A
 CT ratio : 300 /5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA trafo 00BBT03} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA trafo 00BBT03}$$

$$1,05 \times 183 < \text{Iset} < 1,4 \times 183$$

$$192,5 < \text{Iset} < 256,6$$

$$\frac{192,5}{300} < \text{Tap} < \frac{256,6}{300}$$

$$0,64 < \text{Tap} < 0,85$$

Dipilih Tap = 0,85

Iset = 0,85 × 300

= 256,6 A

Time Dial

Tipe Kurva = Very Inverse

Waktu Operasi (t) = 0,3 detik

Isc max 4cycle = 23960 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Iset}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,3 \times \frac{\left(\frac{23960}{240}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 2,05$$

Dipilih *time dial* = 2,05

Instantaneous Pickup

Isc min = 7080 A

$$1,6 \times \text{FLA trafo 00BBT03} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 183 < \text{Iset} < 0,8 \times 7080$$

$$293,2 < \text{Iset} < 5664$$

$$\frac{293,2}{300} < \text{Tap} < \frac{5664}{300}$$

$$0,97 < \text{Tap} < 18,8$$

Dipilih Tap = 11

Iset = 11 × 300

= 3300 A

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,3s

c. Rele SGT 00BBA01

Manufacture : GEC
Model : K-Series
FLA : 2199,4 A
CT ratio : 4000/ 5

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA sekunder T. 00BBA01} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sekunder T. 00BBA01}$

$$\begin{aligned} 1,05 \times 2199,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 2199,4 \\ 2309,4 < \text{Iset} < 3079,2 \\ \frac{2309,4}{4000} < \text{Tap} < \frac{3079,2}{4000} \\ 0,57 < \text{Tap} < 0,76 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,57

Iset = $0,57 \times 4000$
= 2309,4 A

Time Dial

Tipe Kurva = *Very Inverse*

Waktu Operasi (t) = 0,5 detik

Isc max 4cycle = 21510 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Iset}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,5 \times \frac{\left(\frac{21510}{2309,4}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,31$$

Dipilih *time dial* = 0,31

Instantaneous Pickup

Isc min = 18630 A

$1,6 \times \text{FLA Trafo 01BCT01} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min}$

$$1,6 \times 2199,4 < \text{Iset} < 0,8 \times 18630$$

$$3519 < I_{set} < 14904$$

$$\frac{3519}{4000} < Tap < \frac{14904}{4000}$$

$$0,87 < Tap < 3,7$$

Dipilih Tap = 3
 Iset = 3×4000
 = 12000 A

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,5s

d. Rele Grid 150 kV

Manufacture : GEC
 Model : K-Series
 FLA : 92,38 A
 CT ratio : 300/ 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ primer T. 00BBA01} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ primer T. 00BBA02}$$

$$1,05 \times 92,38 < I_{set} < 1,4 \times 92,38$$

$$96,99 < I_{set} < 129,33$$

$$\frac{96,99}{300} < Tap < \frac{129,33}{300}$$

$$0,32 < Tap < 0,43$$

Dipilih Tap = 0,43
 Iset = $0,43 \times 300$
 = 129 A

Time Dial

Tipe Kurva = *Standard Inverse*

Waktu Operasi (t) = 0,7 detik

Isc max 4cycle = 40000 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{set}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,7 \times \frac{\left(\frac{40000}{96,99}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$M = 0,38$$

Dipilih *time dial* = 0,38

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ min}} = 34640 \text{ A}$$

$$1,6 \times \text{FLA primer T. 00BBT01} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,6 \times 92,38 < I_{set} < 0,8 \times 34640$$

$$147,8 < I_{set} < 27712$$

$$\frac{147,8}{300} < \text{Tap} < \frac{27712}{300}$$

$$0,49 < \text{Tap} < 92,3$$

$$\text{Dipilih Tap} = 1$$

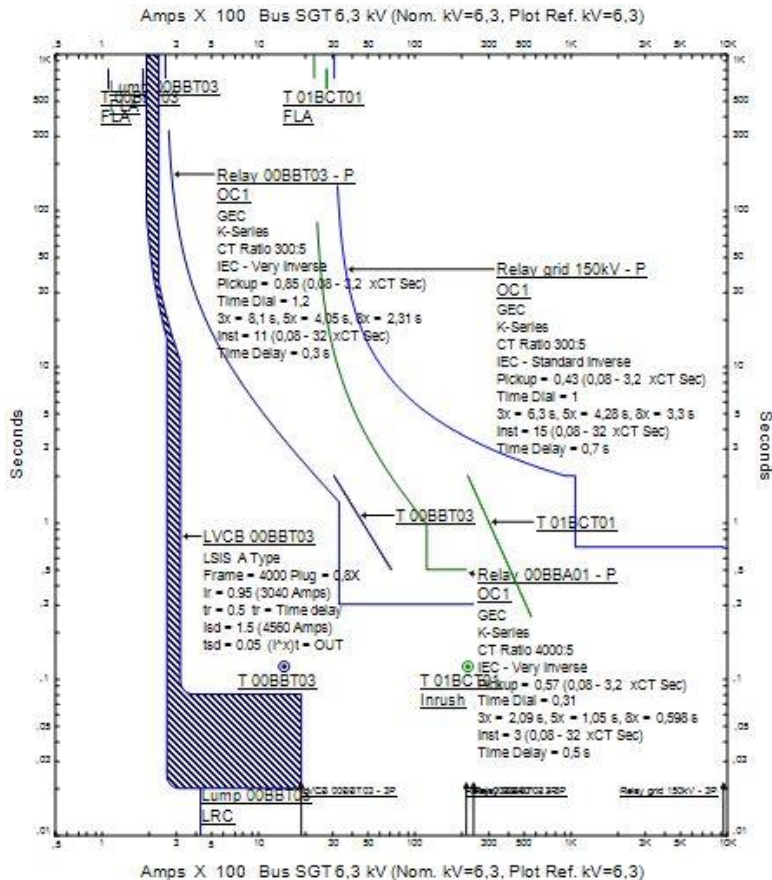
$$I_{set} = 1 \times 300$$

$$= 300 \text{ A}$$

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,7s

Setelah dilakukan perhitungan *resetting* tipikal 3, dapat dilihat pada Gambar 4.10 kurva TCC (*Time Current Curve*) koordinasi proteksi pada telah terkoordinasi dengan baik.



Gambar 4.10 Kurva *Resetting* Tipikal 3

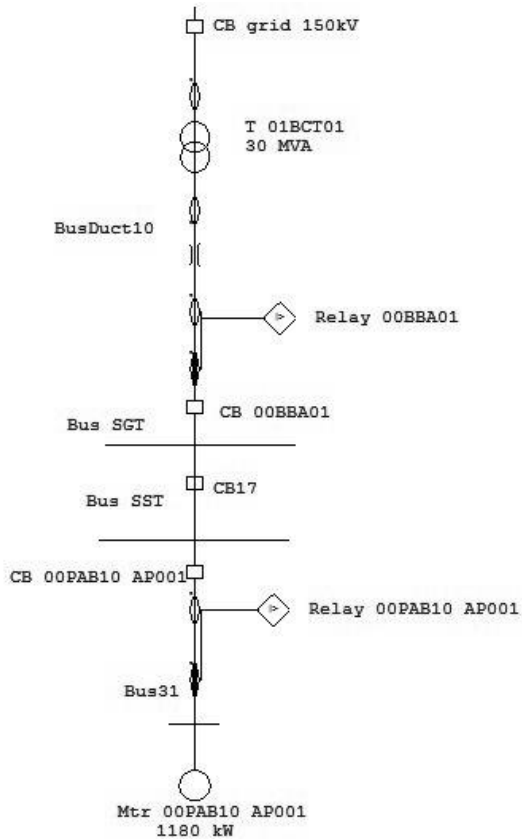
Dapat dilihat dari Tabel 4.5 pada waktu kerja pengujian. Saat gangguan terjadi di bus 18 pada sumber grid PLN 150 kV, LVCB trip dan melindungi beban lumpedload dari adanya gangguan. Selanjutnya pada grading waktu 0,2 detik, rere 00BBT03 akan merasakan gangguan dan CB 00BBT03 trip. Kemudian pada grading waktu 0,2 detik selanjutnya, rele 00BBA01 merasakan gangguan dan CB trip.

Tabel 4.6 Waktu Operasi Kerja Rele *Resetting* Tipikal 3

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|--|------------------|--|
| Saat gangguan terjadi pada bus 25 menggunakan sumber grid PLN 150 kV | | |
| 300 | Rele 00BBT03 | Fasa- OC1 -50 |
| 370 | CB 00BBT03 | Trip oleh rele 00BBT03 – Fasa – OC1 - 51 |
| 390 | Rele 00BBA01 | Fasa - OC1 -51 |
| 460 | CB 00BBA01 | Trip oleh rele 00BBA01 – Fasa – OC1 - 51 |
| 3165 | Rele grid 150 kV | Fasa - OC1 -51 |
| 3175 | CB grid 150 kV | Trip oleh rele grid 150 kV – Fasa – OC1 - 51 |

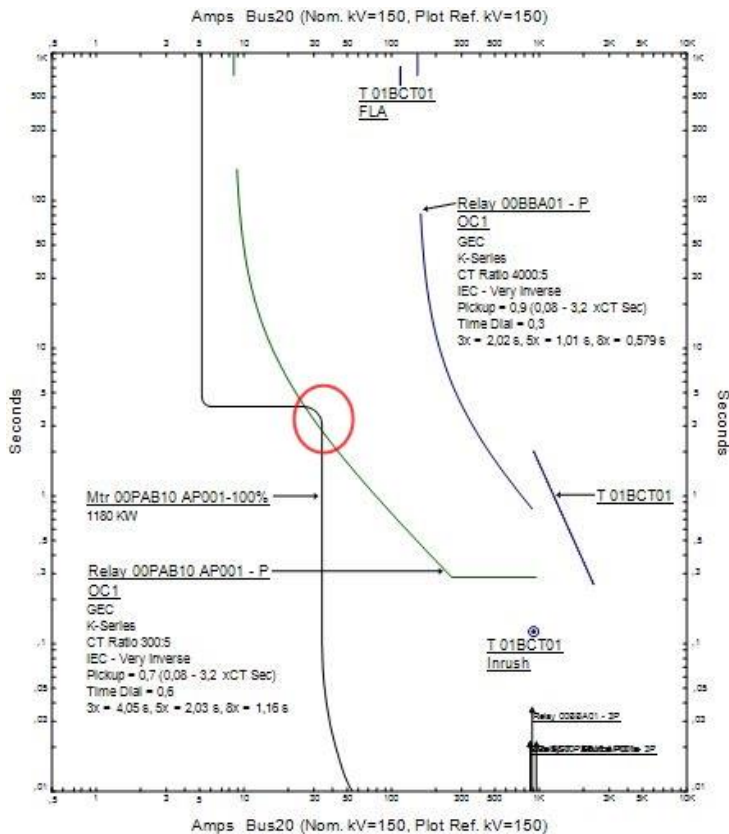
4.3.4 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih pada Tipikal 4

Pemilihan tipikal 4 seperti pemilihan tipikal 4, yaitu berasal dari sumber suplai PLN 150 kV. Dipilih beban motor yang terbesar dari bus SST yaitu 1180 kW. Tipikal 4 ini terdiri 3 buah rele. Rele 00PAB10 AP001 digunakan untuk untuk mengamankan beban motor pada sisi tegangan 6,3 kV. Rele 00BBA01 digunakan untuk mengamankan transformator 00BBA01. Gambar *single line diagram* rangkaian tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Single Line Diagram Tipikal 4

Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa yakni rele arus lebih digunakan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik dari adanya gangguan. Ketika ada gangguan pada beban motor, maka rele terdekat yaitu rele 00PAB10 AP001 akan trip terlebih dahulu, selanjutnya rele 00BBA01 juga merasakan gangguan dan trip. Sebelum melakukan *resetting*, dapat diamati terlebih dahulu pada kurva TCC *existing* apakah *setting* yang ada pada tipikal telah sesuai atau tidak. Kurva *existing* tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut :



Gambar 4.12 Kurva *Existing* Tipikal 4

Kurva koordinasi proteksi kondisi *Existing* tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.12 di atas. Terdapat beberapa kondisi yang harus diperbaiki pada pemilihan tipikal 4 agar koordinasi proteksi berjalan dengan baik, yaitu kurva rele 00PAB10 AP001 memotong kurva arus *starting* motor sehingga dalam keadaan aktual, rele merasakan adanya gangguan tetapi bukan gangguan hubung singkat melainkan arus *starting* motor.

Waktu operasi kerja rele *existing* tipikal 4 dapat dilihat pada Tabel 4.6 untuk menguji kondisi tipikal 4 telah terkordinasi dengan benar atau tidak.

Tabel 4.7 Waktu Operasi Kerja Rele *Existing* Tipikal 4

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|------------|--------------------|--|
| 279 | Rele 00PAB10 AP001 | Fasa – OC1 - 50 |
| 349 | CB 00PAB10 AP001 | Trip oleh rele 00PAB10 AP001 Fasa OC1-51 |
| 630 | Rele 00BBA01 | Fasa – OC1 - 51 |
| 700 | CB 00BBA01 | Trip oleh rele 00BBA01 Fasa OC1-51 |

Perhitungan resetting untuk memperbaiki rele 00PAB10 AP001 agar tidak menabrak arus starting motor :

a. Rele 00PAB10 AP001

Manufacture : GEC
 Model : K-Series
 FLA : 125 A
 CT ratio : 300 /5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA motor 00PAB10 AP001} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA motor 00PAB10 AP001}$$

$$1,05 \times 125 < \text{Iset} < 1,4 \times 125$$

$$130,8 < \text{Iset} < 174,4$$

$$\frac{130,8}{300} < \text{Tap} < \frac{174,4}{300}$$

$$0,43 < \text{Tap} < 0,58$$

Dipilih Tap = 0,58

$$\text{Iset} = 0,58 \times 300$$

$$= 174,4 \text{ A}$$

Time Dial

Tipe Kurva = *Very Inverse*

Waktu Operasi (t) = 0,3 detik

Isc max 4cycle = 23540 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Iset}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,3 \times \frac{\left(\frac{23540}{174,4}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 2,98$$

Dipilih *time dial* = 2,98

Instantaneous Pickup

Isc min = 7080 A

$$1,6 \times \text{FLA motor 00PAB10 AP001} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 125 < \text{Iset} < 0,8 \times 7080$$

$$199,9 < \text{Iset} < 5664$$

$$\frac{199,9}{300} < \text{Tap} < \frac{5664}{300}$$

$$0,66 < \text{Tap} < 18,88$$

Dipilih Tap = 18

Iset = 10 × 300

= 3000 A

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,3s

b. Rele SGT 00BBA01

Manufacture : GEC

Model : K-Series

FLA : 2199,4 A

CT ratio : 4000/ 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sekunder T. 00BBA01} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sekunder T. 00BBA01}$$

$$1,05 \times 2199,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 2199,4$$

$$2309,4 < \text{Iset} < 3079,2$$

$$\frac{2309,4}{4000} < \text{Tap} < \frac{3079,2}{4000}$$

$$0,57 < \text{Tap} < 0,76$$

Dipilih Tap = 0,57

Iset = 0,57 × 4000

= 2309,4 A

Time Dial

Tipe Kurva = *Very Inverse*

Waktu Operasi (t) = 0,5 detik

Isc max 4cycle = 21510 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{Isc \max}{Iset}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,5 \times \frac{\left(\frac{21510}{2309,4}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,31$$

Dipilih *time dial* = 0,31

Instantaneous Pickup

Isc min = 18630 A

$$1,6 \times FLA \text{ Trafo 01BCT01} < Iset < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$1,6 \times 2199,4 < Iset < 0,8 \times 18630$$

$$3519 < Iset < 14904$$

$$\frac{3519}{4000} < Tap < \frac{14904}{4000}$$

$$0,87 < Tap < 3,7$$

Dipilih Tap = 3

Iset = 3 × 4000

= 12000 A

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,5s

c. Rele Grid 150 kV

Manufacture : GEC

Model : K-Series

FLA : 92,38 A

CT ratio : 300/ 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ primer T. 00BBA01} < Iset < 1,4 \times FLA \text{ primer T.}$$

$$00BBA02$$

$$1,05 \times 92,38 < Iset < 1,4 \times 92,38$$

$$96,99 < Iset < 129,33$$

$$\frac{96,99}{300} < \text{Tap} < \frac{129,33}{300}$$

$$0,32 < \text{Tap} < 0,43$$

Dipilih Tap = 0,43

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 0,43 \times 300 \\ &= 129 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Dial

Tipe Kurva = *Standard Inverse*

Waktu Operasi (t) = 0,7 detik

Isc max 4cycle = 40000 A

$$M = t \times \frac{\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Iset}}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$M = 0,7 \times \frac{\left(\frac{40000}{96,99}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$M = 0,38$$

Dipilih *time dial* = 0,38

Instantaneous Pickup

Isc min = 34640 A

$$1,6 \times \text{FLA primer T. 00BBT01} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 92,38 < \text{Iset} < 0,8 \times 34640$$

$$147,8 < \text{Iset} < 27712$$

$$\frac{147,8}{300} < \text{Tap} < \frac{27712}{300}$$

$$0,49 < \text{Tap} < 92,3$$

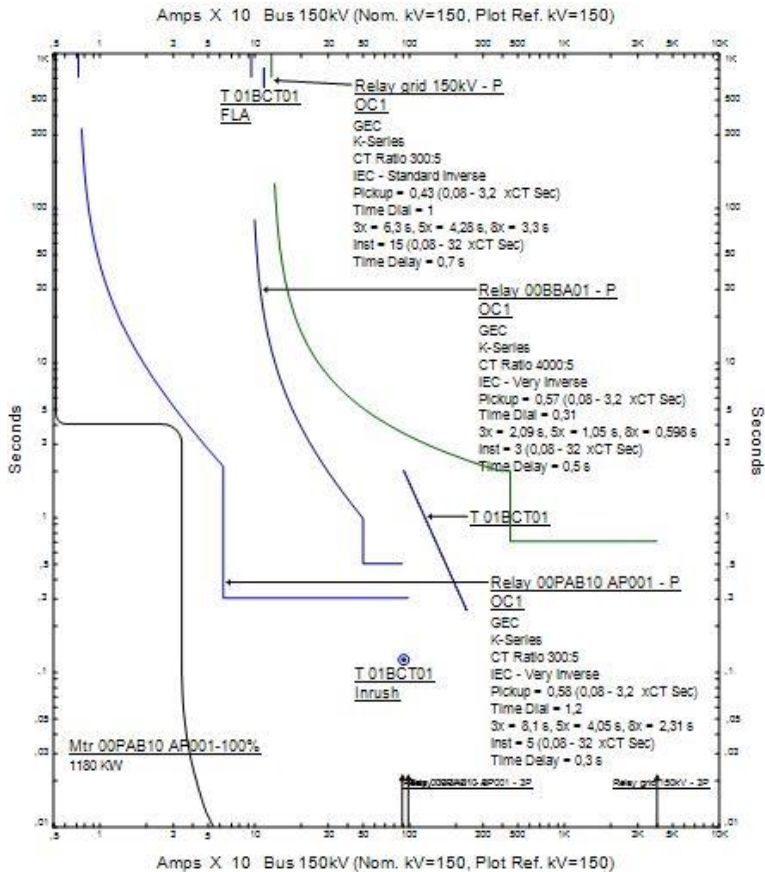
Dipilih Tap = 1

$$\begin{aligned} \text{Iset} &= 1 \times 300 \\ &= 300 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,7s

Setelah dilakukan perhitungan *resetting* pada tipikal 4, dapat dilihat pada Gambar 4.14 kurva TCC (*Time Current Curve*) rele 00PAB10 AP001 sudah tidak menabrak kurva arus starting motor.



Gambar 4.13 Kurva *Resetting* Tipikal 4

Berikut waktu kerja kondisi resetting

Tabel 4.8 Waktu Operasi Kerja Rele *Resetting* Tipikal 4

| Waktu (ms) | ID | Kondisi |
|--|--------------------|--|
| Saat gangguan terjadi pada bus 31 menggunakan sumber grid PLN 150 kV | | |
| 300 | Rele 00PAB10 AP001 | Fasa - OC1 -50 |
| 370 | CB 00PAB10 AP001 | Trip oleh rele 00PAB10 AP001 – Fasa – OC1 - 51 |

| | | |
|------|------------------|--|
| 390 | Rele 00BBA01 | Fasa - OC1 -51 |
| 460 | CB 00BBA01 | Trip oleh rele 00BBA01 – Fasa – OC1 - 51 |
| 3165 | Rele grid 150 kV | Fasa - OC1 -51 |
| 3175 | CB grid 150 kV | Trip oleh rele grid 150 kV – Fasa – OC1 - 51 |

4.4 Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah (*Ground Fault Relay*)

Untuk mengamankan gangguan hubung singkat fasa ke tanah pada sistem kelistrikan dapat menggunakan rele gangguan fasa ke tanah atau *Ground Fault Relay* (GFR). Besarnya arus hubung singkat yang mengalir dapat dilihat pada transformator pada nilai NGR (*Neutral Grounding Resistor*) untuk perhitungan setting pada rele. Nilai NGR pada peralatan transformator di Indonesia Power UP Grati blok I dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai Arus Pentanahan

| Transformator ID | Rating Tegangan (kV) | Hubung Belitan | Nilai Pentanahan (NGR) | Arus hubung singkat line to ground ($I_{sc\ L-G}$) |
|--------------------------|----------------------|----------------|------------------------|--|
| Trafo 10BAT01 (Trafo ST) | 512,5 / 15,75 | wye - delta | solid | 0 A |
| Trafo 10BBT01 | 15,75 / 6,3 | delta - wye | 1200 A | 1180 A |
| Trafo 11BAT01 | 512,5 / 10,5 | wye - delta | solid | 0 A |
| Trafo 12BAT01 | 512,5 / 10,5 / 10,5 | delta – wye | solid | 0 A |
| Trafo 11BBT01 | 10,5 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |
| Trafo 12BBT01 | 10,5 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |
| Trafo 13BBT01 | 10,5 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |
| Trafo 01BCT01 | 150 / 6,3 | delta – wye | 1200 A | 1180 A |

| Trafo | 6,3 / 0,4 | wye – wye | solid | 0 A |
|---------|-----------|-------------|-------|-----|
| 00BBT04 | 6,3 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |
| 00BHT02 | 6,3 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |
| 00BHT03 | 6,3 / 0,4 | wye – wye | solid | 0 A |
| 00BBT09 | 6,3 / 0,4 | wye – wye | solid | 0 A |
| 00BBT03 | 6,3 / 0,4 | wye – wye | solid | 0 A |
| 00BHT01 | 6,3 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |
| 00BBT06 | 6,3 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |
| 00BBT08 | 6,3 / 0,4 | delta – wye | solid | 0 A |

Pada tabel 4.9 dapat dilihat yang memiliki nilai NGR adalah transformator 10BBT01 dan 01BCT01 yaitu sebesar 1200 A. Untuk itu, semua rele memiliki *setting* rele pentanahan yang sama. Untuk nilai arus hubung singkat minimum *line to ground* pada bus dapat dilihat pada tabel 4.10 dan 4.11

Tabel 4.10 Nilai I_{sc} min *line to ground* Saat Menggunakan Sumber Generator

| No | Nama Bus | Tegangan | Arus hubung singkat minimum <i>line to ground</i> |
|----|----------|----------|---|
| 3 | Bus SGT | 6,3 kV | 1180 A |
| 4 | Bus SST | 6,3 kV | 1180 A |
| 5 | Bus 26 | 6,3 kV | 1180 A |
| 6 | Bus 25 | 6,3 kV | 1180 A |
| 7 | Bus 24 | 6,3 kV | 1180 A |
| 8 | Bus 21 | 6,3 kV | 1180 A |
| 9 | Bus 27 | 6,3 kV | 1180 A |
| 10 | Bus 14 | 6,3 kV | 1180 A |
| 11 | Bus 28 | 6,3 kV | 1180 A |
| 12 | Bus 29 | 6,3 kV | 1180 A |
| 13 | Bus 30 | 6,3 kV | 1180 A |
| 14 | Bus 23 | 6,3 kV | 1180 A |
| 15 | Bus 31 | 6,3 kV | 1180 A |

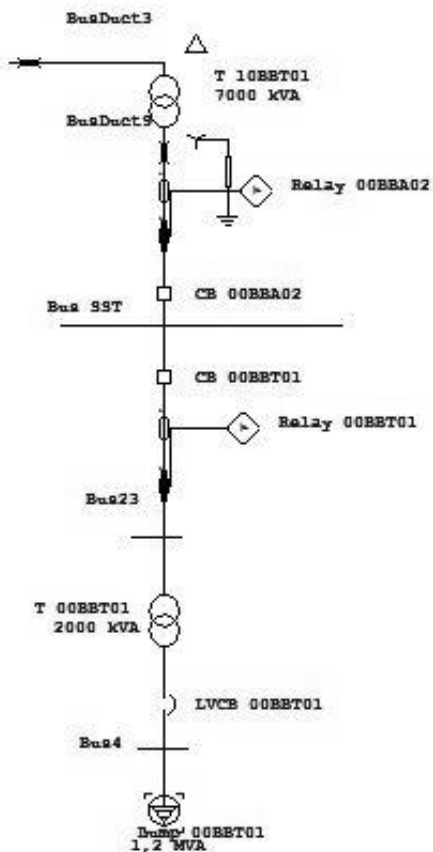
| Tabel 4.10 (lanjutan) | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| 16 | Bus 32 | 6,3 kV | 1180 A |
| 17 | Bus 33 | 6,3 kV | 1180 A |
| 18 | Bus 35 | 6,3 kV | 1180 A |

Tabel 4.11 Nilai *Isc min line to ground* Saat Menggunakan Sumber Grid PLN 150 kV

| No | Nama Bus | Tegangan | Arus hubung singkat minimum <i>line to ground</i> |
|----|----------|----------|---|
| 3 | Bus SGT | 6,3 kV | 1200 A |
| 4 | Bus SST | 6,3 kV | 1200 A |
| 5 | Bus 26 | 6,3 kV | 1200 A |
| 6 | Bus 25 | 6,3 kV | 1200 A |
| 7 | Bus 24 | 6,3 kV | 1200 A |
| 8 | Bus 21 | 6,3 kV | 1200 A |
| 9 | Bus 27 | 6,3 kV | 1200 A |
| 10 | Bus 14 | 6,3 kV | 1200 A |
| 11 | Bus 28 | 6,3 kV | 1200 A |
| 12 | Bus 29 | 6,3 kV | 1200 A |
| 13 | Bus 30 | 6,3 kV | 1200 A |
| 14 | Bus 23 | 6,3 kV | 1200 A |
| 15 | Bus 31 | 6,3 kV | 1200 A |
| 16 | Bus 32 | 6,3 kV | 1200 A |
| 17 | Bus 33 | 6,3 kV | 1200 A |
| 18 | Bus 35 | 6,3 kV | 1200 A |

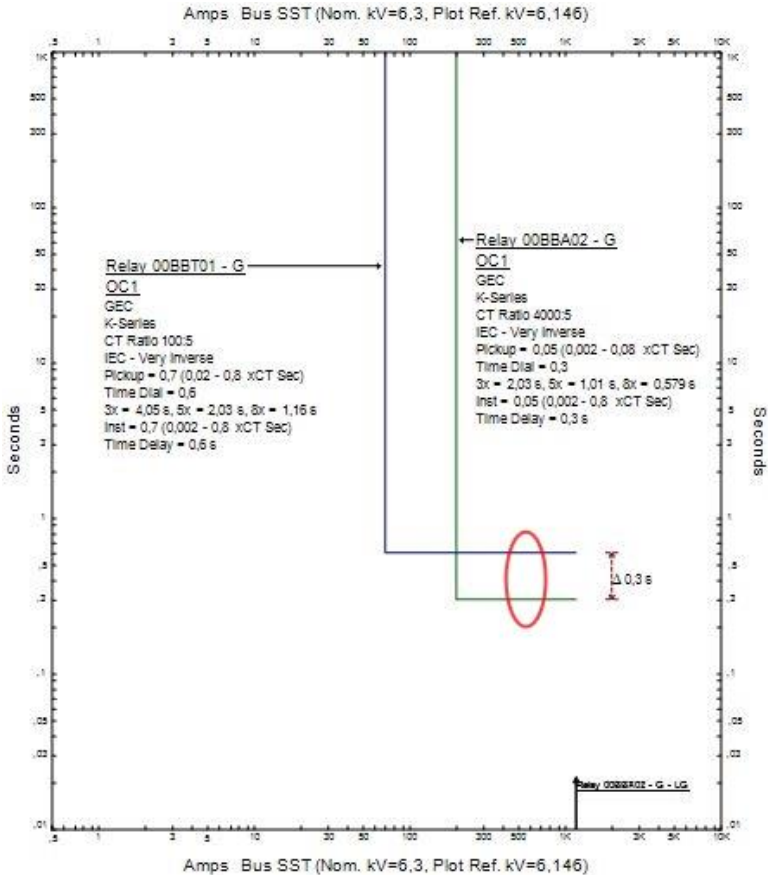
4.4.1 Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 1

Pemilihan rangkaian tipikal 1 sama dengan sub bab 4.3.1 yakni menggunakan sumber generator dan beban lumped load 00BBT01. *Single line diagram* tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14 *Single Line Diagram* Tipikal 1

Kondisi existing kurva GFR tipikal 1 ini dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Kurva *Existing* GFR Tipikal 1

Dapat dilihat pada gambar 4.15 pada kondisi *existing*, saat terjadi gangguan, rele atas yaitu rele 00BBA02 trip terlebih dahulu, seharusnya rele bawah (rele 00BBT01) yang trip terlebih dahulu. Untuk itu perlu dilakukan *resetting*.

Perhitungan *resetting* :

- a. Rele 00BBT01
Manufacture : GEC

Model : K-series
 Isc L-G : 1180 A
 CT ground : 100/5

5-10% Isc L-G \leq Iset $<$ 50% Isc L-G
 5% (1180) \leq Iset $<$ 50% (1180)
 59 \leq Iset $<$ 590

$$\frac{59}{100} < \text{Tap} < \frac{590}{100}$$

0,59 \leq Tap $<$ 5,9

Dipilih Tap = 0,8
 Time delay = 0,1

b. Rele SST 00BBA02

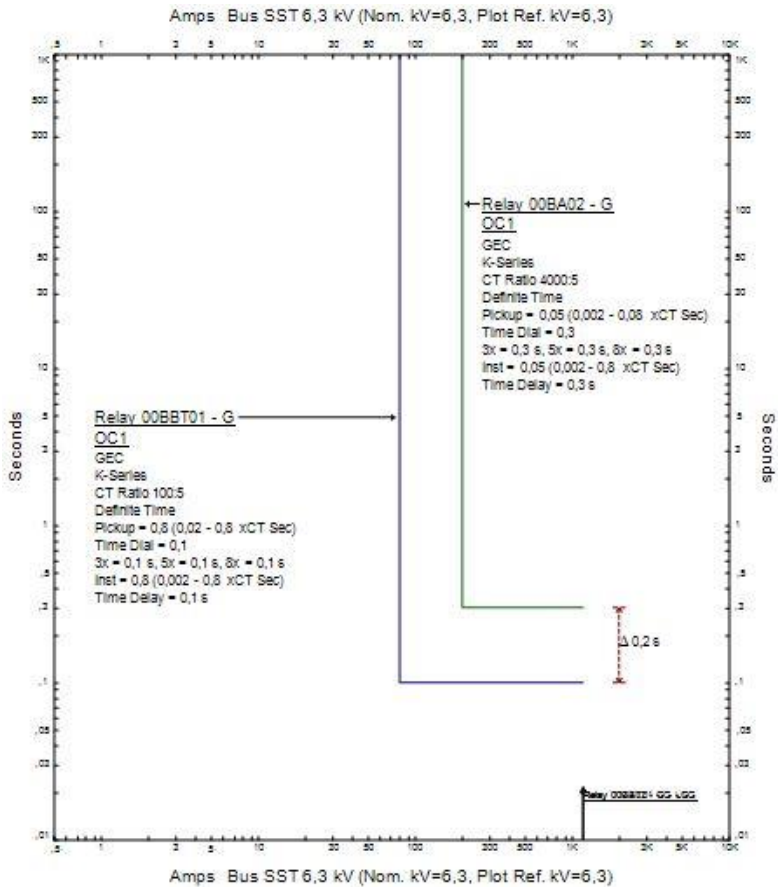
Manufacture : GEC
 Model : K-series
 Isc L-G : 1180 A
 CT ground : 4000/5

5-10% Isc L-G \leq Iset $<$ 50% Isc L-G
 10% (1180) \leq Iset $<$ 50% (1180)
 118 \leq Iset $<$ 590

$$\frac{118}{4000} < \text{Tap} < \frac{590}{4000}$$

0,02 \leq Tap $<$ 0,14

Dipilih Tap = 0,05
 Time delay = 0,3



Gambar 4.16 Kurva *Resetting* GFR Tipikal 1

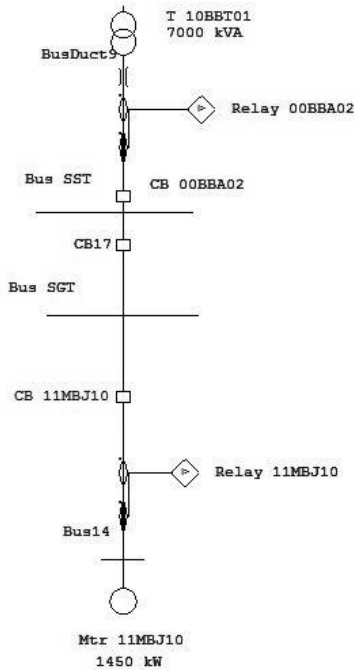
Setelah dilakukan perhitungan resetting, koordinasi proteksi rele gangguan fasa ke tanah telah terkoordinasi dengan baik. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar kurva 4.16 yaitu saat terjadi arus gangguan *line to ground*, rele bawah (rele 00BBT01) trip terlebih dahulu. Selanjutnya dengan waktu grading 0,2 detik, rele atas (rele 00BA02) akan merasakan gangguan dan trip.

Tabel 4.12 Perbandingan Eksisting dan Resetting Tipikal 1

| Rele 00BBA02 | Eksisting | Resetting |
|--------------|--------------|-----------|
| Pickup | 0,05 | 0,05 |
| Td | 0,3 | 0,3 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |
| Rele 00BBT01 | Eksisting | Resetting |
| Pickup | 0,7 | 0,8 |
| Td | 0,6 | 0,1 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |

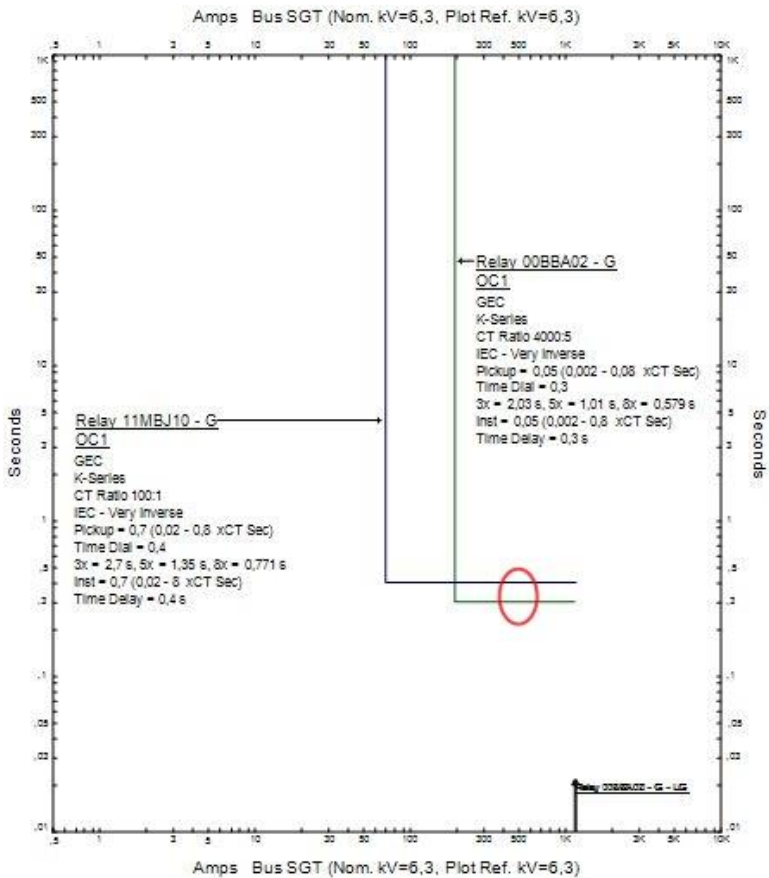
4.4.2 Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 2

Pemilihan rangkaian tipikal 2 sama dengan sub bab 4.3.2 yakni menggunakan sumber generator dan beban motor 10MBJ10. *Single line diagram* tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.17 Single Line Diagram Tipikal 2

Kondisi existing kurva GFR tipikal 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.18



Gambar 4.18 Kurva *Existing* GFR Tipikal 2

Dapat dilihat pada gambar 4.18 pada kondisi *existing*, saat terjadi gangguan, rele atas yaitu rele 00BBA02 trip terlebih dahulu, seharusnya rele bawah (rele motor 10MBJ10) yang trip terlebih dahulu. Untuk itu perlu dilakukan *resetting*.

Perhitungan *resetting* :

a. Rele 10MBJ10

Manufacture : GEC
 Model : K-series
 Isc L-G : 1180 A
 CT ground : 100/1

$$\begin{array}{rclcl}
 5\text{-}10\% \text{ Isc L-G} & \leq & I_{set} & < & 50\% \text{ Isc L-G} \\
 5\% (1180) & \leq & I_{set} & < & 50\% (1180) \\
 59 & \leq & I_{set} & < & 590 \\
 & & \frac{59}{100} & < \text{Tap} < & \frac{590}{100}
 \end{array}$$

$$0,59 \leq \text{Tap} < 5,9$$

Dipilih Tap = 0,8
 Time delay = 0,1

b. Rele SST 00BBA02

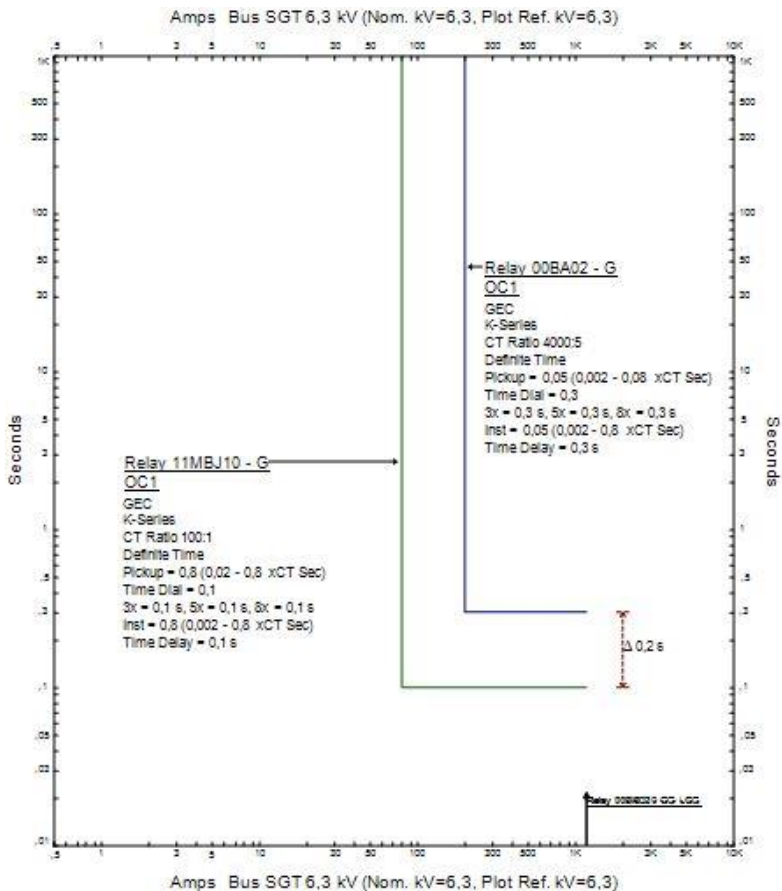
Manufacture : GEC
 Model : K-series
 Isc L-G : 1180 A
 CT ground : 4000/5

$$\begin{array}{rclcl}
 5\text{-}10\% \text{ Isc L-G} & \leq & I_{set} & < & 50\% \text{ Isc L-G} \\
 10\% (1180) & \leq & I_{set} & < & 50\% (1180) \\
 118 & \leq & I_{set} & < & 590
 \end{array}$$

$$\frac{118}{4000} < \text{Tap} < \frac{590}{4000}$$

$$0,02 \leq \text{Tap} < 0,14$$

Dipilih Tap = 0,05
 Time delay = 0,3



Gambar 4.19 Kurva *Resetting* GFR Tipikal 2

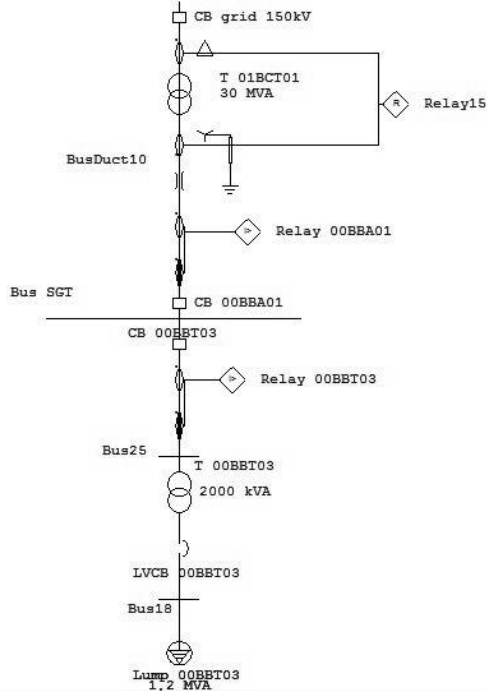
Setelah dilakukan perhitungan resetting, koordinasi proteksi rele gangguan fasa ke tanah telah terkoordinasi dengan baik. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar kurva 4.19 yaitu saat terjadi arus gangguan *line to ground*, rele bawah (rele 10MBJ10) trip terlebih dahulu. Selanjutnya dengan waktu grading 0,2 detik, rele atas (rele 00BBA02) akan merasakan gangguan dan trip.

Tabel 4.13 Perbandingan Eksisting dan Resetting Tipikal 2

| Rele 00BBA02 | Eksisting | Resetting |
|--------------|--------------|-----------|
| Pickup | 0,05 | 0,05 |
| Td | 0,3 | 0,3 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |
| Rele 10MBJ10 | Eksisting | Resetting |
| Pickup | 0,7 | 0,8 |
| Td | 0,4 | 0,1 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |

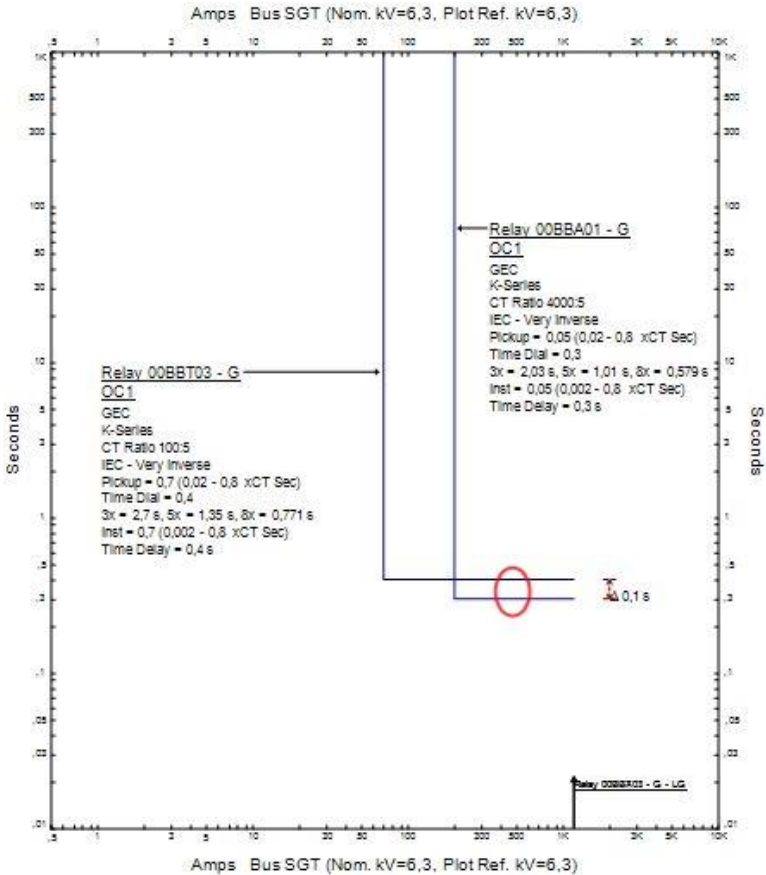
4.4.3 Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 3

Pemilihan rangkaian tipikal 3 sama dengan sub bab 4.3.3 yakni menggunakan sumber grid PLN 150 kV dan beban *lumped load* 00BBT03. *Single line diagram* tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.20



Gambar 4.20 Single Line Diagram Tipikal 3

Kondisi existing kurva GFR tipikal 3 ini dapat dilihat pada gambar 4.21



Gambar 4.21 Kurva *Existing* GFR Tipikal 3

Dapat dilihat pada gambar 4.21 pada kondisi *existing*, saat terjadi gangguan, rele atas yaitu rele 00BBA01 trip terlebih dahulu, seharusnya rele bawah (rele 00BBT03) yang trip terlebih dahulu. Untuk itu perlu dilakukan *resetting*.

Perhitungan *resetting* :

a. Rele 00BBT03

Manufacture : GEC
Model : K-series
Isc L-G : 1200 A
CT ground : 100/5

$$\begin{array}{rcll} 5\text{-}10\% \text{ Isc L-G} & \leq & I_{set} & < & 50\% \text{ Isc L-G} \\ 5\% (1200) & \leq & I_{set} & < & 50\% (1200) \\ 60 & \leq & I_{set} & < & 600 \\ & & \frac{60}{100} & < \text{Tap} < & \frac{600}{100} \end{array}$$

$$0,6 \leq \text{Tap} < 6$$

Dipilih Tap = 0,8
Time delay = 0,1

b. Rele SST 00BBA01

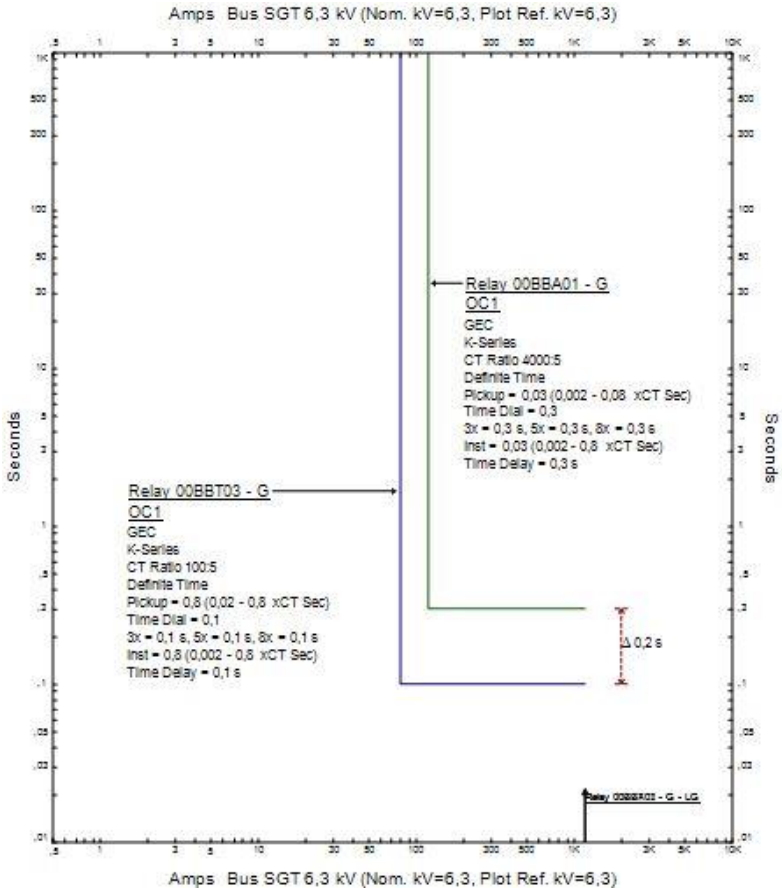
Manufacture : GEC
Model : K-series
Isc L-G : 1180 A
CT ground : 4000/5

$$\begin{array}{rcll} 5\text{-}10\% \text{ Isc L-G} & \leq & I_{set} & < & 50\% \text{ Isc L-G} \\ 10\% (1200) & \leq & I_{set} & < & 50\% (1200) \\ 120 & \leq & I_{set} & < & 600 \end{array}$$

$$\frac{120}{4000} < \text{Tap} < \frac{600}{4000}$$

$$0,03 \leq \text{Tap} < 0,15$$

Dipilih Tap = 0,03
Time delay = 0,3



Gambar 4.22 Kurva *Resetting* GFR Tipikal 3

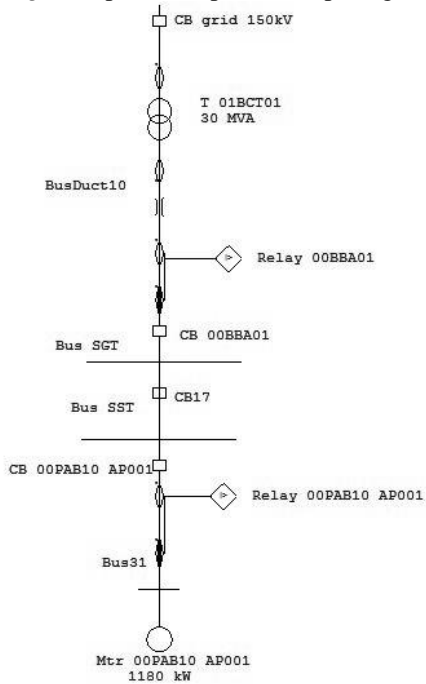
Setelah dilakukan perhitungan resetting, koordinasi proteksi rele gangguan fasa ke tanah telah terkoordinasi dengan baik. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar kurva 4.22 yaitu saat terjadi arus gangguan *line to ground*, rele bawah (rele 00BBT03) trip terlebih dahulu. Selanjutnya dengan waktu grading 0,2 detik, rele atas (rele 00BBA01) akan merasakan gangguan dan trip.

Tabel 4.14 Perbandingan Eksisting dan Resetting Tipikal 3

| Rele 00BBA01 | Eksisting | Resetting |
|--------------|--------------|-----------|
| Pickup | 0,05 | 0,03 |
| Td | 0,3 | 0,3 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |
| Rele 00BBT03 | Eksisting | Resetting |
| Pickup | 0,7 | 0,8 |
| Td | 0,4 | 0,1 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |

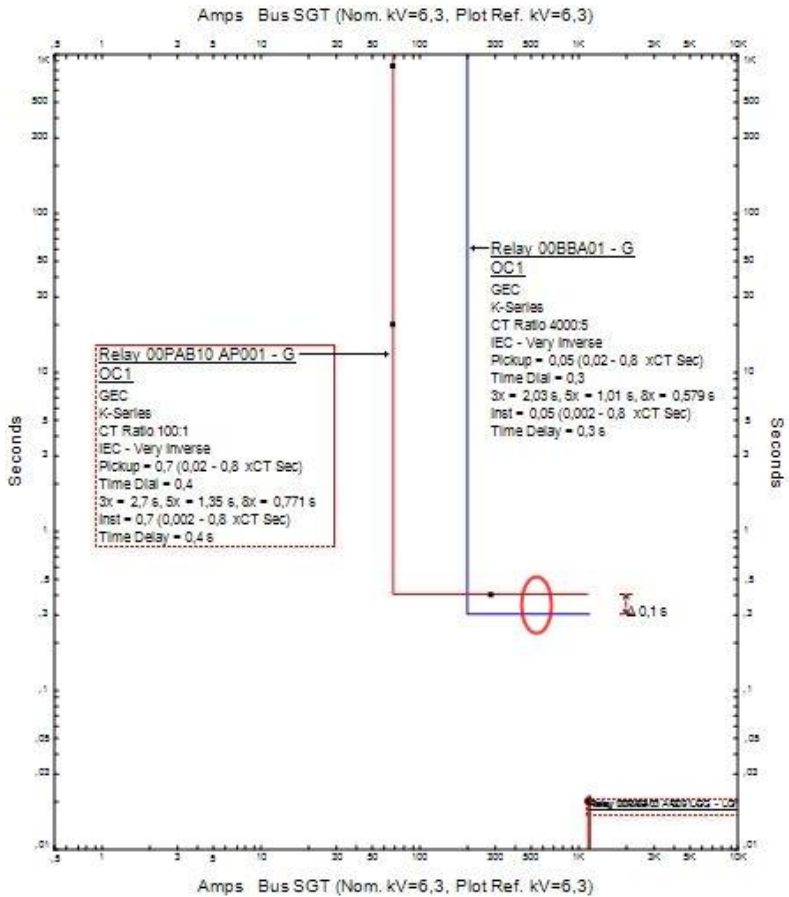
4.4.4 Koordinasi Proteksi Rele Gangguan Fasa ke Tanah pada Tipikal 4

Pemilihan rangkaian tipikal 4 sama dengan sub bab 4.3.4 yakni menggunakan sumber grid PLN 150 kV dan beban motor 00PAB10 AP001. *Single line diagram* tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.23



Gambar 4.23 Single Line Diagram Tipikal 4

Kondisi existing kurva GFR tipikal 4 ini dapat dilihat pada gambar 4.24



Gambar 4.24 Kurva *Existing* GFR Tipikal 4

Dapat dilihat pada gambar 4.24 pada kondisi *existing*, saat terjadi gangguan, rele atas yaitu rele 00BBA01 trip terlebih dahulu, seharusnya rele bawah (rele 00PAB10 AP001) yang trip terlebih dahulu. Untuk itu perlu dilakukan *resetting*.

Perhitungan *resetting* :

a. Rele 00PAB10 AP001

Manufacture : GEC
Model : K-series
Isc L-G : 1200 A
CT ground : 100/5

$$\begin{array}{rcll} 5\text{-}10\% \text{ Isc L-G} & \leq & I_{set} & < & 50\% \text{ Isc L-G} \\ 5\% (1200) & \leq & I_{set} & < & 50\% (1200) \\ 60 & \leq & I_{set} & < & 600 \\ & & \frac{60}{100} & < \text{Tap} < & \frac{600}{100} \end{array}$$

$$0,6 \leq \text{Tap} < 6$$

Dipilih Tap = 0,8

Time delay = 0,1

b. Rele SST 00BBA01

Manufacture : GEC
Model : K-series
Isc L-G : 1180 A
CT ground : 4000/5

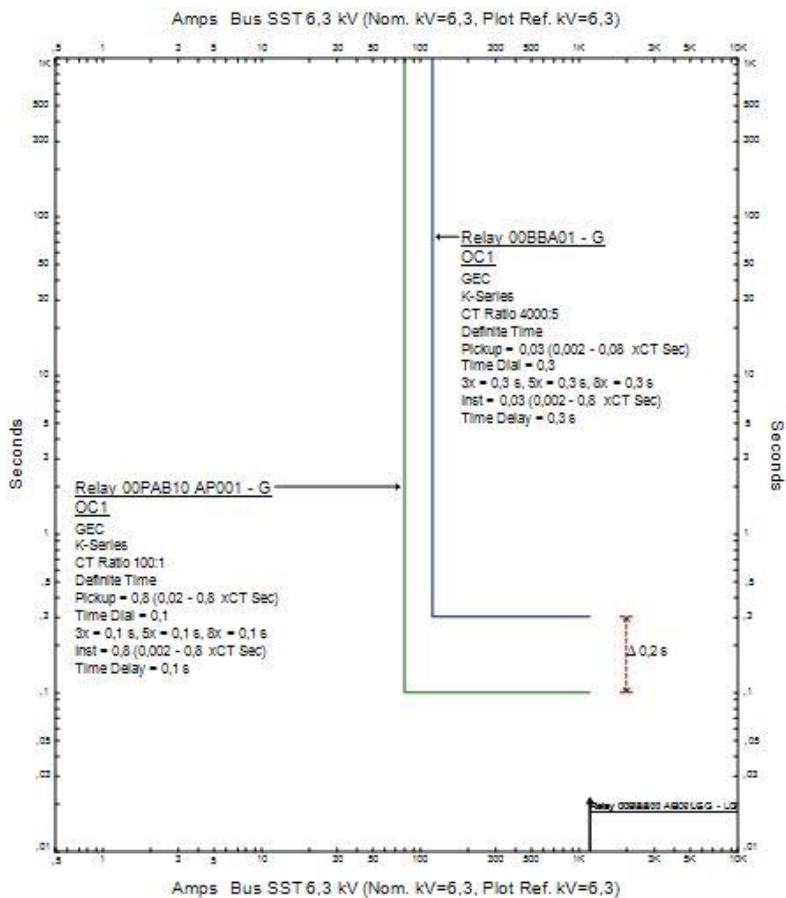
$$\begin{array}{rcll} 5\text{-}10\% \text{ Isc L-G} & \leq & I_{set} & < & 50\% \text{ Isc L-G} \\ 10\% (1200) & \leq & I_{set} & < & 50\% (1200) \\ 120 & \leq & I_{set} & < & 600 \end{array}$$

$$\frac{120}{4000} < \text{Tap} < \frac{600}{4000}$$

$$0,03 \leq \text{Tap} < 0,15$$

Dipilih Tap = 0,03

Time delay = 0,3



Gambar 4.25 Kurva *Resetting* GFR Tipikal 4

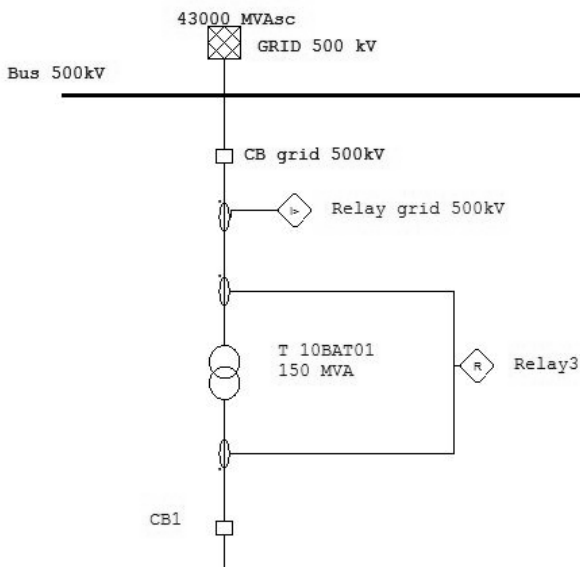
Setelah dilakukan perhitungan resetting, koordinasi proteksi rele gangguan fasa ke tanah telah terkoordinasi dengan baik. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar kurva 4.25 yaitu saat terjadi arus gangguan *line to ground*, rele bawah (rele 00PAB10 AP001) trip terlebih dahulu. Selanjutnya dengan waktu grading 0,2 detik, rele atas (rele 00BBA01) akan merasakan gangguan dan trip.

Tabel 4.15 Perbandingan Eksisting dan Resetting Tipikal 4

| Rele 00BBA01 | Eksisting | Resetting |
|--------------------|--------------|-----------|
| Pickup | 0,05 | 0,03 |
| Td | 0,3 | 0,3 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |
| Rele 00PAB10 AP001 | Eksisting | Resetting |
| Pickup | 0,7 | 0,8 |
| Td | 0,4 | 0,1 |
| Kurva | Very Inverse | Definit |

4.5 Koordinasi Proteksi Rele Diferensial

Rele diferensial merupakan pengaman peralatan listrik yang digunakan untuk mengamankan transformator dari adanya gangguan internal maupun eksternal yang dapat merusak transformator. Transformator yang akan dikoordinasikan dengan rele diferensial ini adalah transformator 10BAT01 dengan kapasitas 150 MVA yang dapat dilihat pada gambar 4.26.



Gambar 4.26 Rele Diferensial

Rele diferensial yang akan dipasang :

Manufacture : GE Multilin

Model : T60

FLA primer : 169 A

FLA sekunder : 5499 A

Hubungan belitan: Way - Delta

Kondisi Saat Normal

Arus yang mengalir pada Transformator 10BAT01

$$\begin{aligned} I_{n \ 512,5 \text{ kV}} &= \frac{MVA}{\sqrt{3} V_{LL}} \\ &= \frac{150}{\sqrt{3} \times 512,5} \\ &= 168,98 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{n \ 15,75\text{kV}} &= \frac{MVA}{\sqrt{3} V_{LL}} \\ &= \frac{150}{\sqrt{3} \times 15,75} \\ &= 5498,57 \text{ A} \end{aligned}$$

Menghitung Rasio CT

$$\begin{aligned} I_{\text{rating } 512,5} &= 110\% \times I_{n \ 512,5 \text{ kV}} \\ &= 1,1 \times 168,98 \\ &= 185,878 \text{ A} \end{aligned}$$

(digunakan CT dengan rasio 200/1A)

$$\begin{aligned} I_{\text{rating } 15,75} &= 110\% \times I_{n \ 15,75 \text{ kV}} \\ &= 1,1 \times 5498,57 \\ &= 6048,427 \text{ A} \end{aligned}$$

(digunakan CT dengan rasio 7000/1A)

Menghitung CT sisi primer

Karena sisi primer transformator adalah hubung way, maka CT dipasang hubung delta. Arus yang terbaca adalah

$$I_1 = \frac{I_{n \ 512,5 \text{ kV}} \times \sqrt{3}}{CT}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{168,98 \times \sqrt{3}}{200/1} \\
 &= 1,46
 \end{aligned}$$

Menghitung CT sisi sekunder

Karena sisi sekunder transformator adalah hubung delta, maka CT dipasang hubung ay. Arus yang terbaca adalah

$$\begin{aligned}
 I_2 &= \frac{I_n \text{ 15,75 kV}}{\frac{CT}{7000/1}} \\
 &= \frac{5498,57}{7000/1} \\
 &= 0,78
 \end{aligned}$$

Rasio Kompensasi

Rele Diferensial GE Multilin adalah tipe rele *Low Impedance* yaitu proses CT kompensasi dilakukan secara internal, nilai kompensasi tersebut diperoleh dari rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Kompensasi CT}_{\text{HV}} &= \frac{n\text{CT sekunder}}{I_1} \\
 &= \frac{1}{1,46} \\
 &= 0,68 \text{ untuk sisi } \textit{High Voltage}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Kompensasi CT}_{\text{LV}} &= \frac{n\text{CT sekunder}}{I_2} \\
 &= \frac{1}{0,78} \\
 &= 1,28 \text{ untuk sisi } \textit{Low Voltage}
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= 1,46 \text{ A} \times 0,68 \\
 &= 1 \text{ A} \\
 I_2 &= 0,78 \text{ A} \times 1,28 \\
 &= 1 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Menghitung Arus Diferensial

$$\begin{aligned}
 I_{\text{diff}} &= |I_1 - I_2| \\
 &= |1,46 - 0,78| \\
 &= 0,68 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Besar nilai arus diferensial pada kondisi normal adalah 0

Nilai Arus Restraint

$$I_R = \max | I_1 ; I_2 |$$

$$I_R = \max | 1,46 ; 0,78 | = 1,46 \text{ A}$$

Nilai Arus Pickup

Berdasarkan Standar SPLN untuk Arus *pickup* umumnya adalah 0.3 p.u dengan nilai berikut :

Error pada Rasio CT : 10%

Error pada *Tap Changer* : 10%

Error *Mismatch* : 4%

Arus Eksitasi : 1%

Faktor Keamanan : 5%

$$\begin{aligned} I_{set-pick\ up} &= \epsilon_{CT} + \epsilon_{Tap} + \epsilon_{Mismatch} + I_{exc} + \text{Faktor Keamanan} \\ &= 0.1 + 0.1 + 0.04 + 0.01 + 0.05 \\ &= 0.3 \text{ A (Setting Range : 0.05 - 6.00 pu x CT)} \end{aligned}$$

Dipilih nilai pickup : 3

Nilai Breakpoint

Berdasarkan datasheet rele diferensial T60, besarnya nilai Kneepoint 1 didasarkan pada nilai arus beban penuh (*Full Load Ampere*) transformator sisi sekunder dalam satuan per unit (pu).

$$\begin{aligned} I_{FLA} &= \frac{MVA}{\sqrt{3} \text{ kV}} \\ I_{FLA} &= \frac{150 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 15,75 \text{ kV}} = 5498,57 \end{aligned}$$

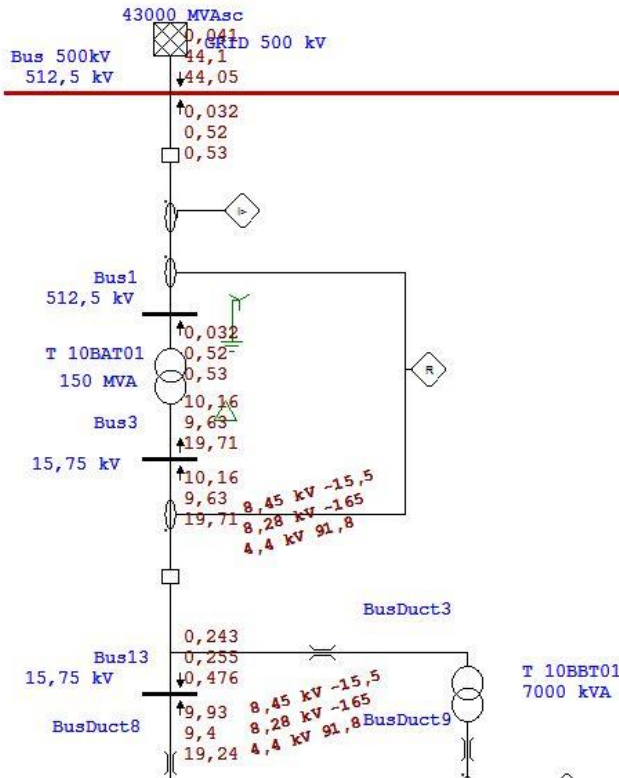
$$\begin{aligned} \text{Breakpoint 1} &= \frac{I_{FLA}}{nCT} \\ &= \frac{5498,57}{7000} = 0,785 \approx 1 \text{ pu (setting range 1-2 pu)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Breakpoint 2} &= 0,01 \times nCT \times \text{Breakpoint 1} \\ &= 0,01 \times 7000/1 \times 0,916 \\ &= 64,12 \text{ pu} \approx 64 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\text{Slope1 (\%)} = \frac{I_{diff}}{I_{restraint}} \times 100\% = \frac{0,3}{1} \times 100\% = 30\%$$

$$\text{Slope2 (\%)} = 2 \times \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{restraint}}} \times 100\% = 2 \times \frac{0,3}{1} \times 100\% = 60\%$$

4.5.1 Kondisi Saat Gangguan Eksternal 1 (Gangguan pada bus 500 kV) 2 Fasa



Gambar 4.27 Gangguan Eksternal 1 2 Fasa

Saat ada gangguan pada eksternal 1 yaitu gangguan pada busbar 500 kV seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.27, maka akan ada arus hubung singkat yang mengalir menuju titik gangguan tersebut. Nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder adalah sebagai berikut :

Perhitungan 2 Fasa a

$$I_p : 32 \text{ A}$$

$$I_s : 10160 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 32 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 0,1088 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 9890 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 1,857 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned} I_D &= |I_1 - I_2| \\ &= 1,74 \text{ A} \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 1,857 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{1,74}{1,857} \times 100 \% \\ &= 94,14 \% \end{aligned}$$

Perhitungan 2 Fasa b

$$I_p : 522 \text{ A}$$

$$I_s : 9630 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 522 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 1,77 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 9630 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 1,76 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned} I_D &= |I_1 - I_2| \\ &= 0,01 \text{ A} \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 1,77 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned}\%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{0,01}{1,77} \times 100 \% \\ &= 0,78 \%\end{aligned}$$

Perhitungan 2 Fasa c

$$I_p : 532 \text{ A}$$

$$I_s : 19710 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned}I_1 &= I_p \times n_{CT} \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\ &= 532 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 1,8 \text{ A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_2 &= I_s \times n_{CT} \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\ &= 19710 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 3,6 \text{ A}\end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned}I_D &= | I_1 - I_2 | \\ &= 1,79 \text{ A}\end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

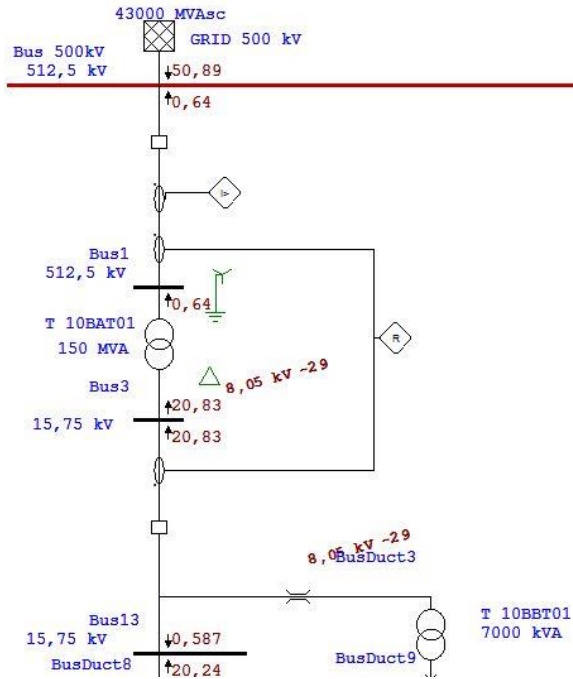
$$I_R = 3,6 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned}\%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{1,79}{3,6} \times 100 \% \\ &= 49,81 \%\end{aligned}$$

Perhitungan nilai I restraint dan Idiff akan dimasukkan ke dalam kurva gangguan eksternal 1 pada gambar 4.29

4.5.2 Kondisi Saat Gangguan Eksternal 1 (Gangguan pada bus 500 kV) 3 Fasa



Gambar 4.28 Gangguan Eksternal 1 3 Fasa

Ketika ada gangguan pada eksternal 1 yaitu gangguan pada busbar 500 kV maka akan ada arus hubung singkat yang mengalir menuju titik gangguan tersebut. Nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder adalah

$$I_p : 640 \text{ A}$$

$$I_s : 20240 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times n_{CT} \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\ &= 640 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 2,176 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_2 = I_s \times n_{CT} \times \text{Kompensasi } CT_{HV}$$

$$= 20240 \text{ A} \times 1/7000 \times 1,28$$

$$= 3,701 \text{ A}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$I_D = |I_1 - I_2|$$

$$= 1,52 \text{ A}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 3,7 \text{ A}$$

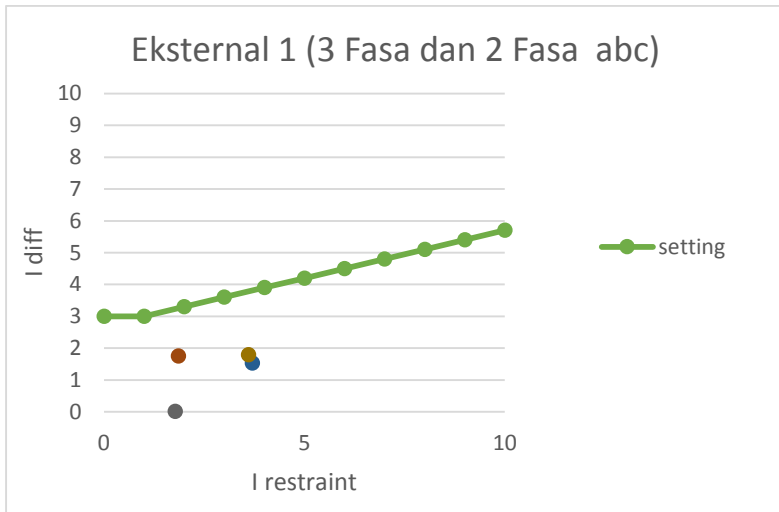
Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\%Slope = \frac{I_D}{I_R} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,52}{3,7} \times 100 \%$$

$$= 41,2 \%$$

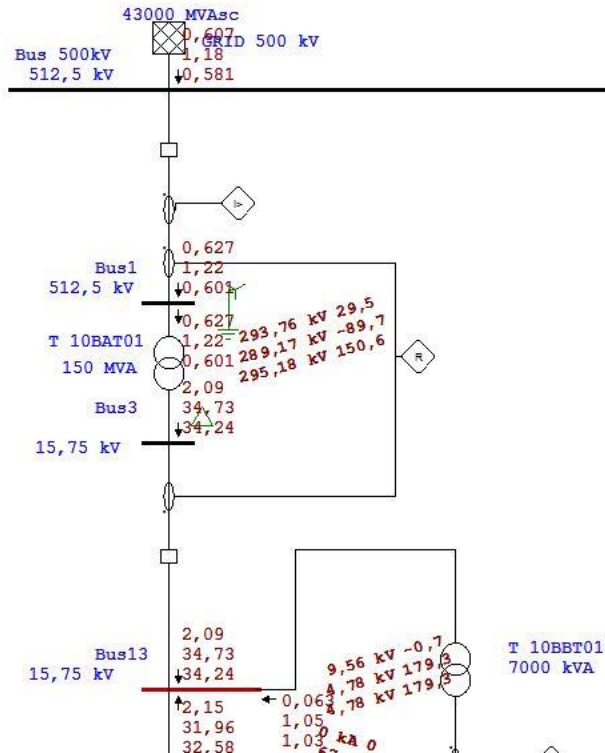
Pada perhitungan nilai arus restraint dan differensial pada 2 fasa a,b,c, dan 3 fasa, diplot kurva sebagai berikut



Gambar 4.29 Kurva Gangguan Eksternal 1

Dapat dilihat bahwa saat terjadi gangguan eksternal pada busbar 500 kV, baik 2 fasa maupun 3 fasa, rele tidak trip. Hal tersebut menunjukkan bahwa rele telah bekerja dengan baik yakni bekerja bukan pada zonanya.

4.5.3 Kondisi Saat Gangguan Eksternal 2 (Gangguan pada bus 15,75 kV) 2 Fasa



Gambar 4.30 Gangguan Eksternal 2 2 Fasa

Ketika ada gangguan pada eksternal 2 yaitu gangguan pada busbar 15,75 kV maka akan ada arus hubung singkat yang mengalir menuju titik gangguan tersebut. Besar nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder yakni

Perhitungan 2 Fasa a

$$I_p : 627 \text{ A}$$

$$I_s : 2090 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 627 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\
 &= 2,13 \text{ A} \\
 I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 2090 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\
 &= 0,39 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned}
 I_D &= |I_1 - I_2| \\
 &= 1,74 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 2,13 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned}
 \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\
 &= \frac{1,74}{2,13} \times 100 \% \\
 &= 82,07 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan 2 Fasa b

$$\begin{aligned}
 I_p &: 1220 \text{ A} \\
 I_s &: 34730 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 1220 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\
 &= 4,14 \text{ A} \\
 I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 34730 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\
 &= 6,35 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned}
 I_D &= |I_1 - I_2| \\
 &= 2,2 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 6,35 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\%Slope = \frac{I_D}{I_R} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2,2}{6,35} \times 100 \% \\
 &= 34,68 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan 2 Fasa c

$$I_p : 601 \text{ A}$$

$$I_s : 34240 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 601 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\
 &= 2,04 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 34240 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\
 &= 6,26 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned}
 I_D &= | I_1 - I_2 | \\
 &= 4,21 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

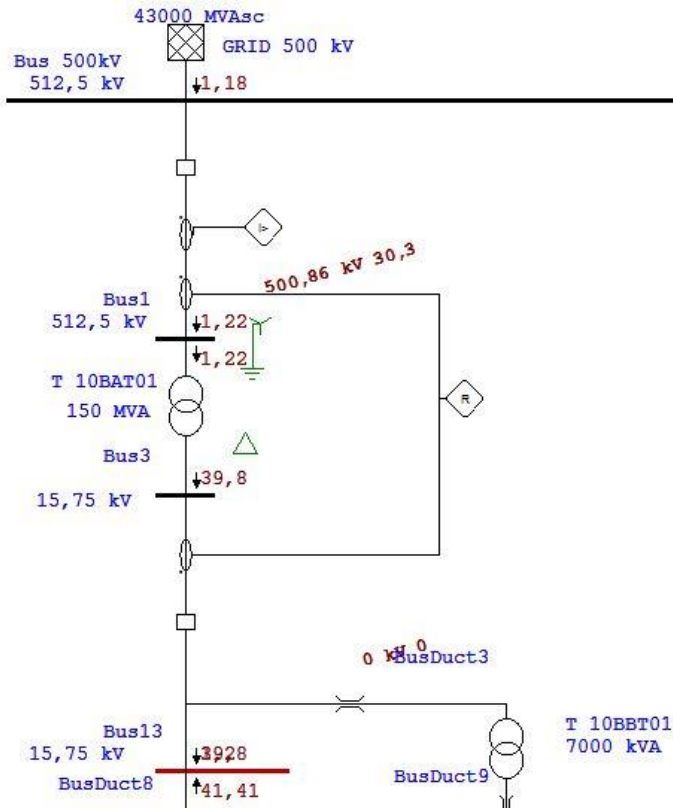
$$I_R = 6,26 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned}
 \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\
 &= \frac{4,21}{6,26} \times 100 \% \\
 &= 67,36 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai I restraint dan Idiff pada 2 fasa a, b, dan c akan dimasukkan ke dalam kurva gangguan eksternal 2 pada gambar 4.32

4.5.4 Kondisi Saat Gangguan Eksternal 2 (Gangguan pada bus 15,75 kV) 3 Fasa



Gambar 4.31 Gangguan Eksternal 2 3 Fasa

Saat ada gangguan pada eksternal 2 yaitu gangguan pada busbar 15,75 kV maka akan ada arus hubung singkat yang mengalir menuju titik gangguan tersebut. Nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder yakni

$$I_p : 1220 \text{ A}$$

$$I_s : 39280 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$I_1 = I_p \times n_{CT} \times \text{Kompensasi } CT_{HV}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1220 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\
 &= 4,14 \text{ A} \\
 I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 39280 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\
 &= 7,18 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned}
 I_D &= |I_1 - I_2| \\
 &= 3,03 \text{ A}
 \end{aligned}$$

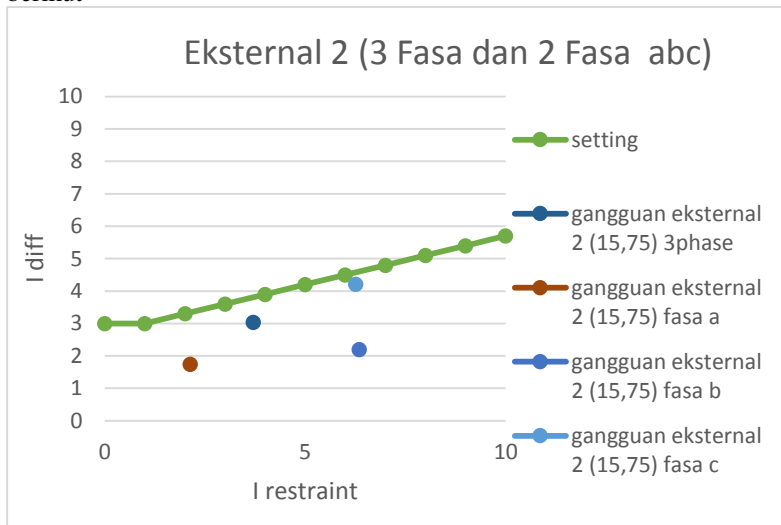
Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 7,18 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned}
 \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\
 &= \frac{3,03}{7,18} \times 100 \% \\
 &= 42,24 \%
 \end{aligned}$$

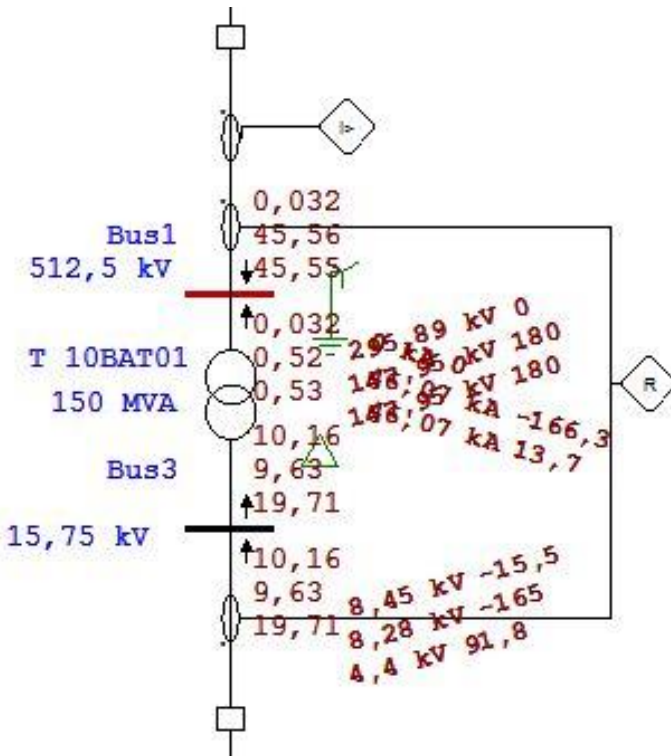
Pada perhitungan nilai arus restraint dan differensial pada kondisi gangguan eksternal 2 yakni 2 fasa a,b,c, dan 3 fasa, diplot kurva sebagai berikut



Gambar 4.32 Kurva Gangguan Eksternal 2

Dapat dilihat bahwa saat terjadi gangguan eksternal pada busbar 15,75 kV, baik 2 fasa maupun 3 fasa, rele tidak trip. Sama halnya dengan kondisi eksternal 1 yang menunjukkan bahwa rele telah bekerja dengan baik yakni bekerja bukan pada zonanya.

4.5.5 Kondisi Saat Gangguan Internal 1 (Belitan Primer Transformator) 2 Fasa



Gambar 4.33 Gangguan Internal 1 2 Fasa

Ketika ada gangguan pada internal 1 yaitu gangguan pada belitan sisi primer transformator maka akan ada arus hubung singkat yang mengalir menuju titik gangguan tersebut. Nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder yakni

Perhitungan 2 fasa a

$$I_p : 32 \text{ A}$$

$$I_s : 10160 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 32 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 0,11 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 10160 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 1,86 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned} I_D &= |I_1 - I_2| \\ &= 1,75 \text{ A} \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 1,86 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{1,75}{1,86} \times 100 \% \\ &= 93,98 \% \end{aligned}$$

Perhitungan 2 fasa b

$$I_p : 45560 \text{ A}$$

$$I_s : 9630 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 45560 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 154,90 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 9630 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 1,76 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned} I_D &= |I_1 - I_2| \\ &= 153,13 \text{ A} \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 154,90 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{153,13}{154,9} \times 100 \% \\ &= 98,85 \% \end{aligned}$$

Perhitungan 2 fasa c

$$I_p : 45550 \text{ A}$$

$$I_s : 19710 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 45550 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 154,87 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 19710 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 3,61 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned} I_D &= |I_1 - I_2| \\ &= 151,25 \text{ A} \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

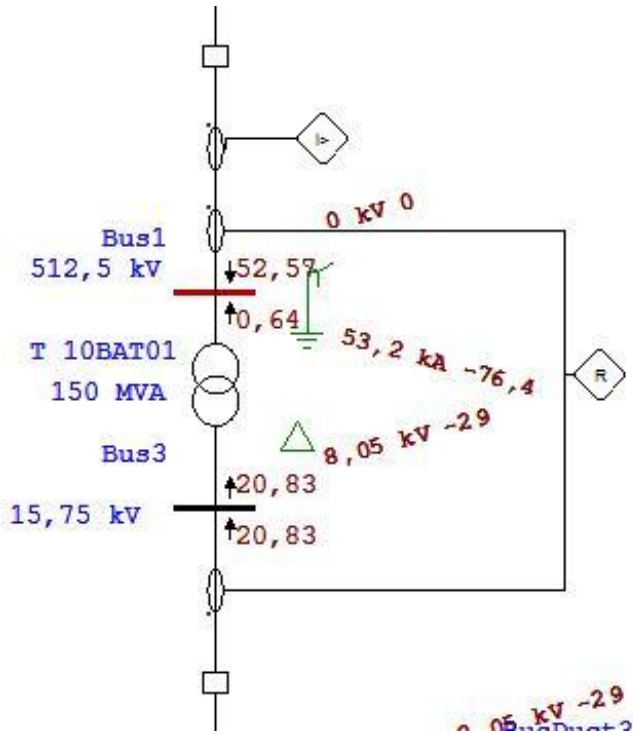
$$I_R = 154,87 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{151,25}{154,87} \times 100 \% \\ &= 97,66 \% \end{aligned}$$

Perhitungan nilai I restraint dan Idiff pada gangguan internal 2 fasa a, b, dan c akan dimasukkan ke dalam kurva gangguan internal 1 pada gambar 4.35

4.5.6 Kondisi Saat Gangguan Internal 1 (Belitan primer Transformator) 3 Fasa



Gambar 4.34 Gangguan Internal 1 3 Fasa

Ketika ada gangguan pada internal 1 yakni pada belitan sisi primer transformator maka akan ada arus hubung singkat yang mengalir menuju titik gangguan tersebut. Nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder yakni

$$I_p : 52570 \text{ A}$$

$$I_s : 20830 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times n_{CT} \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\ &= 52570 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 178,73 \text{ A} \\
 I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 20830 \text{ A} \times 1/7000 \times 1,28 \\
 &= 3,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned}
 I_D &= |I_1 - I_2| \\
 &= 174,929 \text{ A}
 \end{aligned}$$

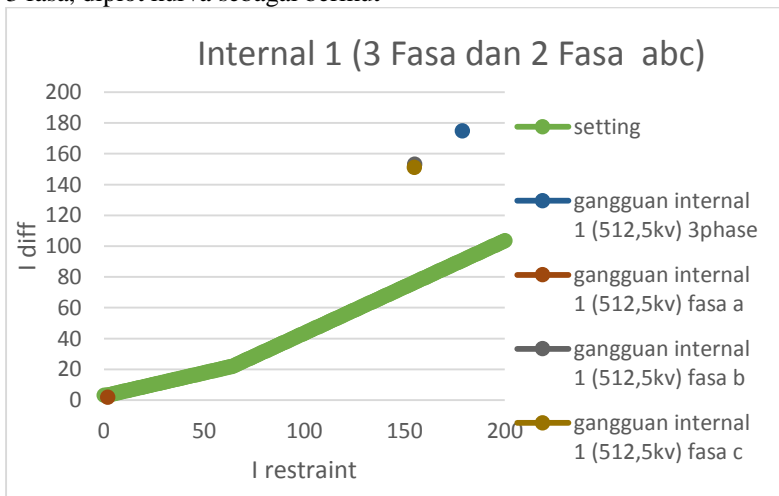
Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 178,73 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned}
 \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\
 &= \frac{174,92}{178,73} \times 100 \% \\
 &= 97,86 \%
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan nilai arus restraint dan differensial pada kondisi gangguan internal 1 pada sisi primer transformator yakni 2 fasa a,b,c, dan 3 fasa, diplot kurva sebagai berikut



Gambar 4.35 Kurva Gangguan Internal 1

titik gangguan tersebut. Nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder yakni sebagai berikut

Perhitungan 2 Fasa a

$$I_p : 2090 \text{ A}$$

$$I_s : 2150 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 2090 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 7,1 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 2150 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 0,39 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned} I_D &= |I_1 - I_2| \\ &= 6,7 \text{ A} \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 7,1 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{6,7}{7,1} \times 100 \% \\ &= 94,46 \% \end{aligned}$$

Perhitungan 2 Fasa b

$$I_p : 34730 \text{ A}$$

$$I_s : 31960 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 34730 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 118,08 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 31960 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 5,84 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$I_D = |I_1 - I_2|$$

$$= 112,23 \text{ A}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 118,08 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{112,23}{118,08} \times 100 \% \\ &= 95,05 \% \end{aligned}$$

Perhitungan 2 Fasa c

$$I_p : 34240 \text{ A}$$

$$I_s : 32580 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 34240 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 116,41 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi CT}_{HV} \\ &= 32580 \text{ A} \times \frac{1}{7000} \times 1,28 \\ &= 5,95 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned} I_D &= |I_1 - I_2| \\ &= 110,45 \text{ A} \end{aligned}$$

Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

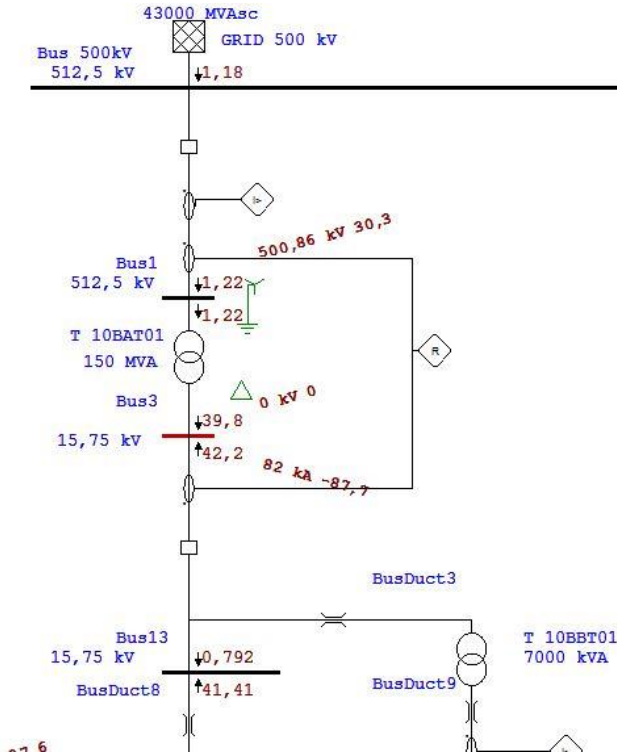
$$I_R = 116,41 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned} \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\ &= \frac{112,23}{118,08} \times 100 \% \\ &= 94,88 \% \end{aligned}$$

Perhitungan nilai I restraint dan Idiff pada 2 fasa a, b, dan c di atas akan dimasukkan ke dalam kurva gangguan internal 2 pada gambar 4.38

4.5.8 Kondisi Saat Gangguan Internal 2 (Belitan sekunder Transformator) 3 Fasa



Gambar 4.37 Gangguan Internal 2 3 Fasa

Ketika ada gangguan pada internal 2 (pada belitan sisi sekunder transformator) maka akan ada arus hubung singkat yang mengalir menuju titik gangguan tersebut. Nilai arus yang terbaca pada CT pada sisi primer dan sekunder IBT adalah

$$I_p : 1220 \text{ A}$$

$$I_s : 792 \text{ A}$$

Maka besarnya arus yang terbaca pada sisi sekunder CT sebesar :

$$\begin{aligned} I_1 &= I_p \times n_{CT} \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\ &= 1220 \text{ A} \times \frac{1}{200} \times 0,68 \\ &= 4,14 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_2 &= I_s \times nCT \times \text{Kompensasi } CT_{HV} \\
 &= 792 \text{ A} \times 1/7000 \times 1,28 \\
 &= 0,14 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya I_D yang dideteksi oleh rele sebesar:

$$\begin{aligned}
 I_D &= |I_1 - I_2| \\
 &= 4 \text{ A}
 \end{aligned}$$

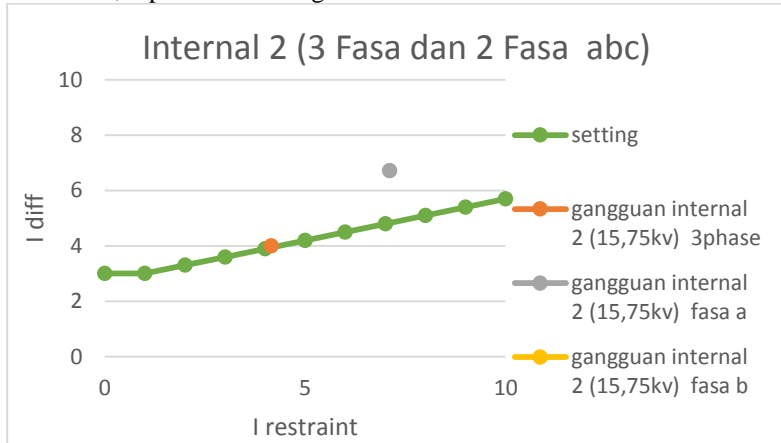
Besarnya arus restraint saat terjadi gangguan eksternal adalah :

$$I_R = 4,14 \text{ A}$$

Persentase Slope yang terjadi saat gangguan eksternal di Bus A adalah :

$$\begin{aligned}
 \%Slope &= \frac{I_D}{I_R} \times 100 \% \\
 &= \frac{4}{4,14} \times 100 \% \\
 &= 96,5 \%
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan nilai arus restraint dan differensial pada kondisi gangguan internal 2 pada sisi sekunder transformator yakni 2 fasa a,b,c, dan 3 fasa, diplot kurva sebagai berikut



Gambar 4.38 Kurva Gangguan Internal 2

Dapat dilihat bahwa saat terjadi gangguan internal belitan sekunder transformator 10BAT01, baik 2 fasa maupun 3 fasa, rele trip. Hal tersebut menunjukkan bahwa rele telah bekerja dengan baik yakni bekerja pada zonanya.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada pengujian simulasi ETAP 12.6 yang telah dilakukan untuk menganalisis sistem proteksi listrik PT. Indonesia Power UP Grati, didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pemodelan tipikal 1 dan 3 untuk koordinasi proteksi dengan beban *lumped load*, grading antar rele pengaman belum sesuai standar 0,2-0,4 detik
2. Pada pemodelan tipikal 2 dan 4 untuk koordinasi proteksi dengan beban motor, rele menyinggung arus *starting* motor sehingga memungkinkan rele dapat merasakan gangguan tetapi bukan gangguan hubung singkat atau beban berlebih, melainkan arus *starting* motor tersebut.
3. Tidak ada nilai *instantaneous* pada rele 00BBA01 dan 00BBA02 sehingga dilakukan penambahan nilai *instantaneous* pada perhitungan *resetting* yang digunakan sebagai *backup* rele bawahnya apabila terdapat arus gangguan dengan nilai yang besar.
4. Rele diferensial GE Multilin T60 yang direkomendasikan untuk dipasang telah bekerja dengan sesuai, yaitu saat terdapat gangguan eksternal di busbar 500 kV maupun busbar 15,75 kV rele tidak trip, dan saat terdapat gangguan internal di sisi primer dan sekunder transformator 10BAT01, rele trip.

5.2 Saran

1. Berdasarkan analisis dari BAB 4, dapat diketahui bahwa *grading* waktu antar pengaman rele untuk sistem *existing* kebanyakan belum memenuhi standar IEEE 242 – tahun. Maka dari itu dibutuhkan *resetting* pada rele pengaman tersebut.

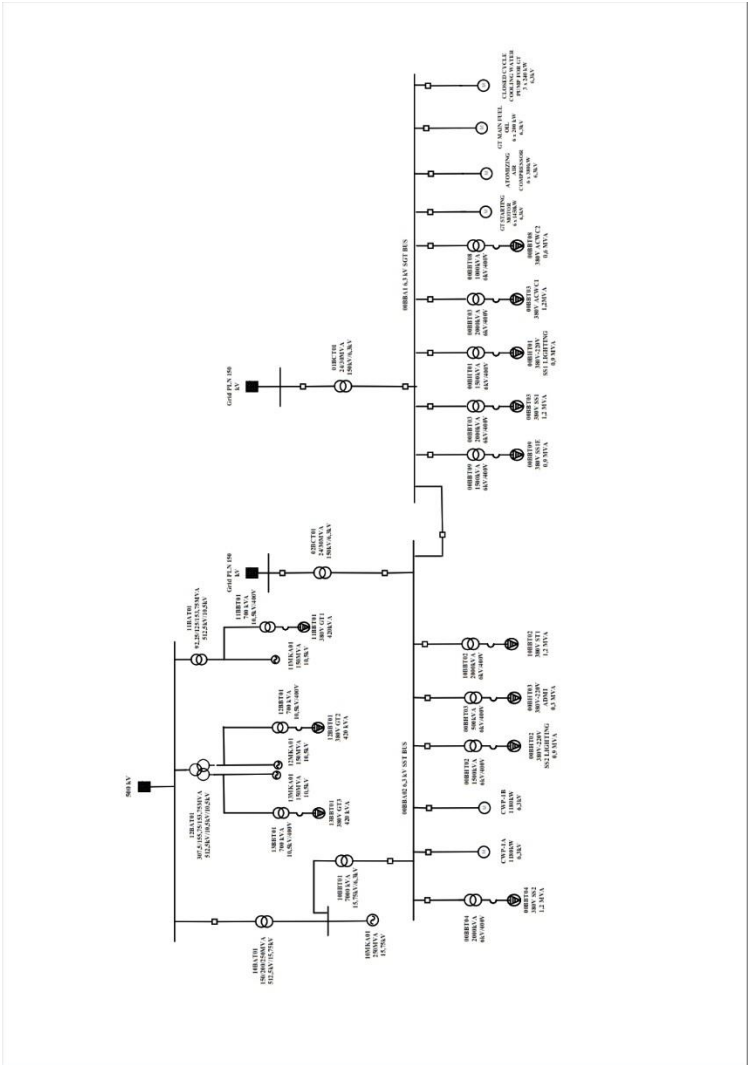
-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua, Depok: Garamond, 2016.
- [2] B. Pandjaitan, Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: CV Andi Offset, 2012.
- [3] M. Pujiantara, S. Anam dan Iskandar, “Studi Koordinasi Proteksi Akibat Retrofit Sistem Proteksi di PT. Pertamina RU III Plaju,” vol. 2 No.1, pp. 1-6, 2015.
- [4] E. Dermawan dan D. Nugroho, “Analisa Koordinasi Over Current Relay dan Ground Fault Relay di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20kV Jababeka,” *Jurnal Elektum*, vol. 14 No.2, 2017.
- [5] Perusahaan Listrik Negara (Persero), Pedoman Pemilihan Transformator Arus (CT), Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN), 2015.
- [6] L. Sevov, D. Allcock, R. Luna dan J. Bowen, “Motor Reacceleration to Improve Process Uptime,” *IEEE Transactions On Industry Applications*, vol. 52 No.1, 2016.
- [7] R. Catlett, D. Martin dan R. A. Wilson, “Improving Relay Protection Levels in Medium-Voltage Switchgear,” *IEEE Transactions On Industry Applications*, vol. 50 No. 3, 2014.
- [8] GE Multilin T60 Transformer Protection System Instruction Manual, Canada: GE Digital Energy, 2015.
- [9] K. Shah, “Low Impedance Differential Protection,” *International Journal of advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 7, p. 5, 2018.
- [10] PT Indonesia Power, Grati Combined Cycle Power Plant Maintenance Manual Book EM 4 Unit Pembangkit Grati, PT. Indonesia Power, 2015.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN A



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Okty Fitria Maharani Putri
Jenis Kelamin : Perempuan
Tempat, Tanggal Lahir: Surabaya, 5 Oktober 1994
Kebangsaan : Indonesia
Tinggi/ Berat Badan : 165 cm /50 kg
Alamat Asal : Wonorejo Asri XII/21 Surabaya
Nomor HP : 081332154040
Email : oktyfitriamaharanip@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

- 2001 – 2007 SDN Wonorejo 274
- 2007 – 2010 SMPN 6 Surabaya
- 2010 – 2013 SMAN 15 Surabaya
- 2013 – 2017 D3 Teknik Elektro ITS
- 2017 – 2019 LJ S1 Teknik Elektro ITS

Pengalaman Kerja :

- Kerja Praktek di PT. PLN (Persero) APJ Surabaya Utara
- Kerja Praktek di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Tandes Surabaya

Pengalaman Organisasi :

- Organizing Committee IARC 2014 sie dekorasi
- Staff divisi kewirausahaan HIMA D3TEKTRO (Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Elektro ITS) 2014-2015



Halaman ini sengaja dikosongkan

INDEKS

A

Arus, xvii, xviii, xxi, xxiii, xi, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 23, 24, 25, 27, 29, 30, 31, 33, 38, 39, 40, 44, 45, 53, 54, 55, 56, 59, 61, 62, 63, 67, 71, 75, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 107

B

Beban, xviii, xxiii, 17, 20, 21, 22
Bus, xix, 4, 15, 19, 20, 22, 23, 29, 30, 31, 33, 37, 38, 39, 43, 44, 46, 52, 53, 60, 62, 84, 87, 89, 92

C

cycle, 11, 24, 29, 33, 47

D

Definit, xvii, 11, 68, 72, 76, 80
Diferensial, xviii, xix, xxii, 15, 80, 82

E

Eksternal, xix, xxii, 84, 87, 88, 89, 92, 93
Existing, xxi, xxii, xxiii, 32, 33, 39, 40, 46, 55, 56, 65, 69, 73, 77

F

Fasa, xvii, xviii, xix, xxi, xxii, 6, 7, 8, 14, 29, 33, 38, 40, 44, 47, 53, 56, 60, 61, 63, 68, 72, 76, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 94, 97, 99, 100, 101, 102

G

Gangguan, xvii, xviii, xix, xxii, 1, 5, 6, 7, 8, 14, 23, 24, 29, 39, 61, 63, 68, 72, 76, 84, 87, 88, 89, 92, 93, 94, 97, 98, 99, 102, 103
Generator, xxi, xxiii, 17, 19, 23, 24, 32, 37, 39, 43, 62

I

Instantaneous, xvii, 11, 35, 36, 41, 42, 48, 49, 51, 57, 58, 59
Internal, xix, xxii, 94, 97, 98, 99, 102, 103
Inverse, xviii, 12, 13, 34, 35, 40, 42, 48, 49, 50, 56, 58, 59, 68, 72, 76, 80

K

Koordinasi, vii, xi, xviii, xix, 27, 29, 30, 37, 38, 43, 44, 46, 53, 61, 63, 68, 72, 76, 80

L

Lumped Load, xxiii, 22

M

Motor, xviii, xxiii, 20, 21

O

Overcurrent, 34, 35, 40, 41, 48, 49,
50, 56, 57, 58

Overload, 5, 10

P

Pembangkit, xviii, 17, 19

Pentanahan, xxiii, 61

Pickup, 34, 35, 36, 40, 41, 42, 48,
49, 50, 51, 56, 57, 58, 59, 68,
72, 76, 80, 83

Proteksi, vii, xi, xviii, xix, 2, 27, 29,
30, 38, 44, 53, 61, 63, 68, 72,
76, 80, 107

R

Rele, xvii, xviii, xix, xxi, xxii, xxiii, 8,
9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 29, 30,
31, 33, 34, 35, 38, 40, 41, 44,

47, 49, 50, 53, 56, 57, 58, 60,
61, 63, 65, 66, 68, 70, 72, 74,
76, 78, 80, 81, 82, 105

Resetting, xxi, xxii, xxiii, 37, 38, 43,
44, 52, 53, 60, 67, 68, 71, 72,
75, 76, 79, 80

S

Setting, 11, 83

T

Tegangan, xxi, xxiii, 16, 19, 21, 22,
23, 24, 25, 61, 62, 63

Time delay, 66, 70, 74, 78

Transformator, xviii, xix, xxii, xxiii,
15, 20, 61, 80, 81, 94, 97, 99,
102, 107

W

Waktu, 2, 9, 11, 12, 13, 14, 23, 24,
29, 32, 33, 40, 43, 52, 60, 67,
71, 75, 79, 105