TUGAS AKHIR – EE 184801

EVALUASI KOORDINASI RELE JARINGAN DISTRIBUSI DI TRANSFORMATOR III GARDU INDUK 150 KV BABADAN AKIBAT KASUS *SYMPATHETIC TRIP*

Evi Siska Safarina
NRP 07111745000002

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

TUGAS AKHIR – EE 184801

EVALUASI KOORDINASI RELE JARINGAN DISTRIBUSI DI TRANSFORMATOR III GARDU INDUK 150 KV BABADAN AKIBAT KASUS *SYMPATHETIC TRIP*

Evi Siska Safarina
NRP 07111745000002

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

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

FINAL PROJECT – EE 184801

EVALUATION RELAY COORDINATION DISTRIBUTION SYSTEM IN TRANSFORMATOR III BABADAN 150 KV SUBSTATION DUE TO THE SYMPATHETIC TRIP CASE

Evi Siska Safarina
NRP 07111745000002

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

Departement of Electrical Engineering
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul ***"Evaluasi Koordinasi Rele Jaringan Distribusi di Transformator III Gardu Induk 150 kV Babadan Akibat Kasus Sympathetic Trip"*** 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 dalam daftar pustaka.

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

Surabaya, Juni 2019

Evi Siska Safarina
NRP. 07111745000002

EVALUASI KOORDINASI RELE JARINGAN DISTRIBUSI DI TRANSFORMATOR III GARDU INDUK 150 KV BABADAN AKIBAT KASUS *SYMPATHETIC TRIP*

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	Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT	Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.
NIP : 196603181990101001	NIP. 197309271998031004

SURABAYA
JUNI, 2019

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

EVALUASI KOORDINASI RELE JARINGAN DISTRIBUSI DI TRANSFORMATOR III GARDU INDUK 150 KV BABADAN AKIBAT KASUS *SYMPATHETIC TRIP*

Evi Siska Safarina
07111745000002
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Abstrak :

Pada suatu industri, terutama perusahaan bidang jasa kelistrikan, koordinasi pengaman sangat penting dalam menunjang keandalan sistem. Koordinasi pengaman digunakan untuk mengamankan peralatan dari gangguan sistem kelistrikan dan mencegah agar gangguan tidak semakin meluas. Gangguan yang dimaksud yaitu gangguan hubungan singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah mengakibatkan gangguan simpatetik (*sympathetic trip)*. Gangguan simpatetik *y*aitu kegagalan rele yang terjadi pada penyulang 20 kV ketika penyulang yang seharusnya tidak terganggu, ikut mengamankan peralatan bersama penyulang yang terganggu. Dalam hal ini, akan dibahas mengenai evaluasi gangguan simpatetik yang terjadi pada penyulang gardu induk Babadan (Sidoarjo). Faktor yang mempengaruhi gangguan simpatetik yaitu nilai arus hubungan singkat satu fasa ke tanah, rele arah gangguan ke tanah (DGR), rele arus lebih (OCR) dan koordinasi rele pengaman. Pada penelitian tugas akhir ini, pengaturan koordinasi pengaman pada penyulang gardu induk Babadan (Sidoarjo) akan dianalisis dan dievaluasi ulang menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6. Diharapkan pengaturan koordinasi yang telah dievaluasi ulang, dapat memberi masukan kepada Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) ketika melakukan pengaturan ulang pada rele pengaman.

Kata kunci : Koordinasi Pengaman, *Sympathetic Trip,* rele arah gangguan ke tanah, rele arus lebih

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUATION RELAY COORDINATION DISTRIBUTION SYSTEM IN TRANSFORMATOR III BABADAN 150 KV SUBSTATION DUE TO THE SYMPATHETIC TRIP CASE

Evi Siska Safarina
07111745000002
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Advisor II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Abstract :

In industry, especially in the field of electricity services, security coordination is very important in supporting system reliability. Safety coordination is used to secure equipment from disruption of the electrical system and prevent disruption from spreading further. The disorder in question is a three phase, two phase and one phase short circuit to the ground. One-phase short circuit to ground interference results in a sympathetic trip. Sympathetic trip is a relay failure that occurs in feeders of 20 kV when the feeder, which should not be disturbed, is involved in securing the equipment with the affected feeder. In this case, we will discuss the evaluation of sympathetic trips that occur in Babadan substation feeders (Sidoarjo). Factors affecting the sympathetic trip are the value of one-phase short-circuit to ground, directional ground relay, over current relay and safety relay coordination. In this final project research, the safeguard coordination setting for the Babadan substation feeder (Sidoarjo) will be analyzed and re-evaluated using ETAP 12.6 Software. It is expected that the coordination settings that have been re-evaluated, can provide input to the Babadan Substation (Sidoarjo) when resetting the security relay

Keywords : *Protection Coordination, Sympathetic Trip, directional ground relay, over current relay*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul ***"Evaluasi Koordinasi Rele Jaringan Distribusi di Transformator III Gardu Induk 150 kV Babadan Akibat Kasus Sympathetic Trip".***

Penelitian tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat kerja keras dan juga dukungan berbagai pihak yang telah membantu penulisan tugas akhir ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih, terutama kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah melancarkan semua urusan penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bapak Siswaji dan Ibu Sunarti selaku kedua orangtua penulis yang selalu memberi nasehat serta doa kepada penulis agar dimudahkan dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Kakak tercinta Tandi Saputro yang sepenuhnya memberikan dukungan materiil dan moril sehingga mengantarkan penulis mencapai mimpi-mimpi
4. Dr. Ir. Margo Pujiantara., selaku Dosen Pembimbing I serta Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir dan selama perkuliahan
5. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember
6. Aditya Nugroho yang telah memberikan semangat dan doa kepada penulis untuk mengerjakan penelitian Tugas Akhir dengan sepenuh hati
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa naskah tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Terima Kasih.

Surabaya, Juni 2019
Penulis,

Evi Siska Safarina

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .... **i**
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN .... **vi**
ABSTRAK .... **viii**
ABSTRACT .... **x**
KATA PENGANTAR .... **xii**
DAFTAR ISI .... **xiv**
DAFTAR GAMBAR .... **xvi**
DAFTAR TABEL .... **xviii**
BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Metodologi 3
1.6 Sistematika 4
1.7 Relevansi 5

BAB II DASAR TEORI **7**

2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik 7
2.2 Gangguan Hubungan Singkat 8

2.2.1 Gangguan Hubungan Singkat Satu Fasa ke Tanah 9
2.2.2 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa 10
2.2.3 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa ke Tanah 11
2.2.4 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa 11
2.2.5 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa ke Tanah 12

2.3 Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik 12
2.4 Pembagian Daerah Pengamanan 15
2.5 Rele Arus Lebih (OCR) 16

2.5.1 Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse)* 16
2.5.2 Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite time*) 17
2.5.3 Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Seketika *(Instantaneous)* 18

2.6 Pengaturan Rele Arus Lebih 18
2.6.1 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu *Inverse* 20
2.6.2 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Seketika 21
2.8 Rele Arah Gangguan Ke Tanah (DGR) 22
2.9 Gangguan Simpatetik (*Sympathetic Trip)* 22
BAB III SISTEM KELISTRIKAN GARDU INDUK 150 KV BABADAN (SIDOARJO) 23
3.1 Sistem Kelistrikan Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) 23
BAB IV STUDI KOORDINASI PENGAMAN ARUS LEBIH DI GARDU INDUK 150 KV BABADAN (SIDOARJO) 27
4.1 Pemodelan Kelistrikan Gardu Induk 150 kV Babadan (Sidoarjo) 27
4.2 Analisis Hubungan-singkat 27
4.2.1 Hubungan Singkat Minimum 28
4.2.2 Hubungan Singkat Maksimum 29
4.3 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada Gardu Induk Babadan 30
4.4 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan Fasa 30
4.4.1 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1 31
4.5 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke Tanah 44
4.5.1 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke TanahTipikal 1 45
4.6 Analisis Gangguan Simpatetik (*Sympathetic Trip)* 49
BAB V PENUTUP 51
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran 51
DAFTAR PUSTAKA 53
LAMPIRAN 57
INDEKS 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 *Flowcart* Evaluasi Koordinasi Proteksi 3
Gambar 2.1 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah pada Fasa A 10
Gambar 2.2 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa 10
Gambar 2.3 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa ke Tanah.............11
Gambar 2.4 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa............................11
Gambar 2.5 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa ke Tanah 12
Gambar 2.6 Macam – Macam Tipe Kurva *Inverse*...............................14
Gambar 2.7 Pembagian Daerah Pengaman..15
Gambar 2.8 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik 17
Gambar 2.9 Perbandingan Kelengkungan Kurva 17
Gambar 2.10 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu 18
Gambar 2.11 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika 18
Gambar 2.12 Hubungan Jala – Jala Urutan untuk Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa 19
Gambar 3.1 Diagram Satu Garis Gardu Induk Babadan (Sidoarjo).......26
Gambar 4.1 Diagram Satu Garis Tipikal 1 31
Gambar 4.2 *Running* Data Eksisting Menggunakan *Software* ETAP 12.6 33
Gambar 4.3 Data Pengaturan Awal pada Tipikal 1 34
Gambar 4.4 Nilai Isc min dan max Bus 8..36
Gambar 4.5 Nilai Isc min dan max Bus GOLD STAR..........................38
Gambar 4.6 Nilai Isc min dan max Bus 18..40
Gambar 4.7 *Running* Data *Resetting* Menggunakan *Software* ETAP 12.6 42
Gambar 4.8 Kurva Pengaturan Ulang Fasa Tipikal 1 43
Gambar 4.9 Kurva Pengaturan Awal Gangguan ke Tanah Tipikal 1 46
Gambar 4.10 Kurva Pengaturan Ulang Gangguan ke Tanah Tipikal 1 .48
Gambar 4.11 Analisis Gangguan Simpatetik Akibat Pengaturan Arah DGR...49

(Halaman Ini Sengaja Dikososngkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Primer dan Sekunder CT 15
Tabel 2.2 Karakteristik Operasi Waktu Jenis *Relay Inverse time*..........21
Tabel 3.1 Penyulang ter-suplai oleh Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) dengan Daya 50 MVA..23
Tabel 3.2 Penyulang ter-suplai oleh Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) dengan Daya 60 MVA..24
Tabel 3.3 Data Pengaturan Diagram Satu Garis 24
Tabel 4.1 Arus Hubungan Singkat *Line-Line* 30 Siklus 28
Tabel 4.2 Arus Hubungan Singkat 3 Fasa Saat 4 Siklus dan 30 Siklus. 29
Tabel 4.3 Data Pengaturan Awal dan Pengaturan Ulang Pada Rele......32
Tabel 4.4 Waktu Operasi Kerja Rele Pengaturan Awal Tipikal 1 35
Tabel 4.5 Hasil *Sequence Viewer* Pengaturan Ulang Tipikal 1 Setelah Dijalankan 44
Tabel 4.6 Pentanahan yang digunakan di Peralatan Gardu Induk Babadan...44
Tabel 4.7 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan pada Saluran Pakartiriken 3 49

(Halaman Ini Sengaja Dikososngkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelindungan terhadap peralatan dalam suatu sistem tenaga listrik merupakan faktor utama dalam menunjang kinerja pada suatu perusahaan. Semua tidak lepas dari berbagai macam gangguan, meskipun telah dipasang pengaman terhadap peralatan. Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) 150 kV ini memiliki beberapa gangguan yaitu salah satunya gangguan simpatetik. Di tahun 2017 pada Transformator III Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) terdapat gangguan simpatetik pada penyulang Pakartiriken 3 dan Pakartiriken 2 menggunakan rele arus lebih (OCR) dan rele arah gangguan ke tanah (DGR). Maka diperlukan pengaman yang baik agar sistem dapat bekerja secara maksimal.

Fenomena gangguan simpatetik merupakan peristiwa terjadinya gangguan pada satu penyulang kemudian berimbas terhadap penyulang yang lainnya dalam satu *busbar* akibat adanya hubungan singkat satu fasa ke tanah. Hal ini terjadi dikarenakan pengaman rele yang tidak bekerja ataupun memberikan instruksi yang salah, peran rele disini yaitu untuk pengaman pada peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa ke fasa menggunakan dan gangguan fasa ke tanah menggunakan rele arah gangguan ke tanah (DGR).

Dalam hal ini, akan dibahas mengenai evaluasi gangguan simpatetik yang terjadi pada penyulang gardu induk Babadan. Faktor yang mempengaruhi gangguan simpatetik yaitu nilai arus hubungan singkat satu fasa ke tanah, rele arah gangguan ke tanah (DGR), rele arus lebih (OCR) dan koordinasi rele pengaman. Pada penelitian tugas akhir ini, Pengaturan koordinasi pengaman pada penyulang gardu induk Babadan (Sidoarjo) akan dianalisis dan dievaluasi ulang menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6. Diharapkan pengaturan koordinasi yang telah dievaluasi ulang, dapat memberi masukan kepada Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) ketika melakukan pengaturan ulang pada rele pengaman.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pemodelan koordinasi rele dan plot kurva dalam perangkat lunak ETAP 12.6?
2. Bagaimana menghitung besar arus gangguan hubungan singkat yang terjadi di penyulang Transformator III Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)?
3. Bagaimana evaluasi koordinasi rele OCR dan kinerja rele DGR pada saat terjadi gangguan si penyulang Transformator III Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

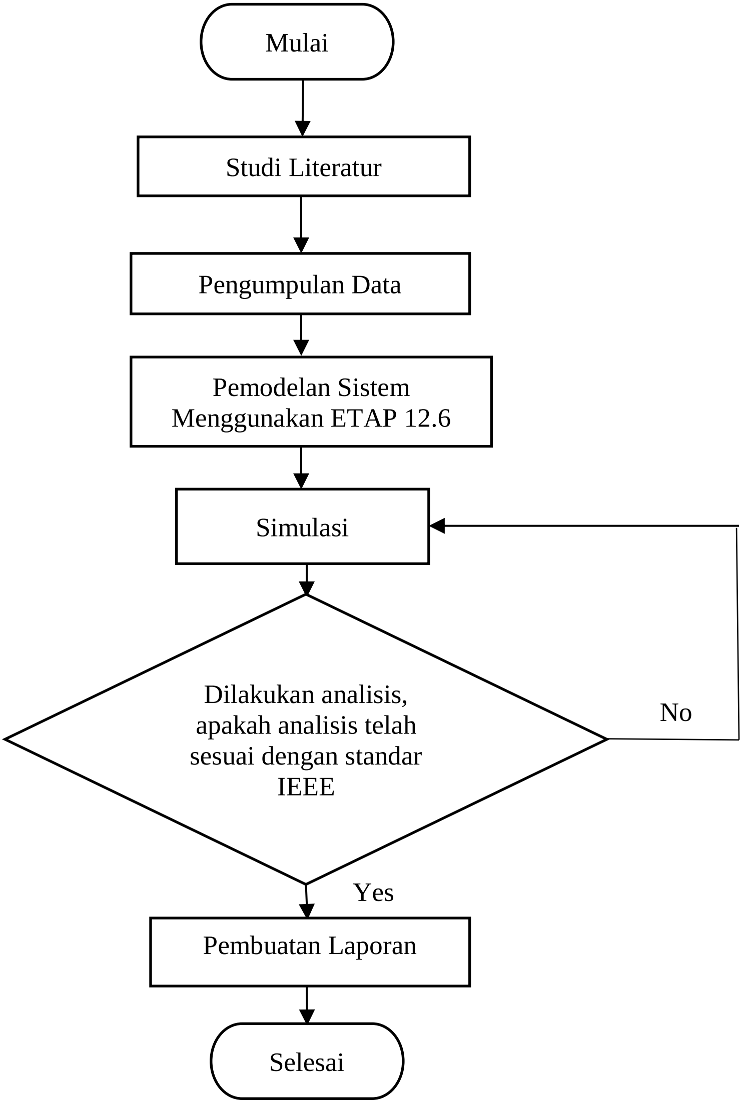
1. Pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6
2. Evaluasi dilakukan pada penyulang Pakartiriken 3 Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) tahun 2017
3. Rele yang digunakan adalah rele arus lebih (OCR) dan rele arah gangguan ke tanah (DGR)

1.4 Tujuan

Padapenelitian tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mendapatkan pemodelan koordinasi rele dan plot kurva dalam perangkat lunak ETAP 12.6
2. Mendapatkan besar arus gangguan hubungan singkat yang terjadi di penyulang Transformator III Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)
3. Mengetahui koordinasi rele OCR dan kinerja rele DGR pada saat terjadi gangguan si penyulang Transformator III Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)

1.5 Metodologi



Gambar 1.1 *Flowcart* Evaluasi Koordinasi Proteksi

1. Studi Literatur
   Studi literatur yang digunakan dalam penyusunan yaitu dari beberapa jurnal ilmiah, buku guna menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan topik penelitian tugas akhir yaitu analisis gangguan simpatetik.
2. Pengumpulan data
   Data yang digunakan untuk pengerjaan tugas akhir diantaranya diagram satu garis gardu induk Babadan, spesifikasi peralatan, gangguan pada Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Sidoarjo tahun 2017, rele arus lebih, pembebanan. Data tersebut diperoleh dari PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)
3. Pemodelan sistem
   Pemodelan sistem digunakan untuk membuat model koordinasi rele dan kurva dalam perangkat lunak ETAP 12.6
4. Simulasi
   Simulasi digunakan untuk mempermudah dalam mendapatkan koordinasi sistem pengaman dengan acuan dari beberapa data yang telah dikumpulkan.
5. Analisis Data
   Analisis data digunakan untuk mengetahui penyebab terjadinya gangguan simpatetik yang kemudian dijadikan acuan untuk menentukan nilai pengaturan ulang agar sesuai dengan standar.
6. Penyusunan laporan
   Penyusunan laporan berisi tentang serangkaian proses pengerjaan penelitian tugas akhir dari awal penentuan topik hingga menemukan solusi dari permasalahan tugas akhir itu sendiri.

1.6 Sistematika

Penyelesaian penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan dan relevansi dari tugas akhir.

BAB II : DASAR TEORI

Pada bab ini diuraikan mengenai materi tentang teori hubungan singkat, rele pengaman, dan materi lainnya yang menunjang pengerjaan tugas akhir.

BAB III : SISTEM KELISTRIKAN PT. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO) GARDU INDUK BABADAN (SIDOARJO)

Pada bab ini diuraikan mengenai penjelasan sistem Kelistrikan yang terdapat di PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Gardu Induk Babadan (Sidoarjo), dengan spesifikasi kapasitas dan *rating* perlatan listrik yang terdapat di PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Gardu Induk Babadan (Sidoarjo).

BAB IV : STUDI KOORDINASI PENGAMAN ARUS LEBIH DI PT. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO) GARDU INDUK BABADAN (SIDOARJO)

Pada bab ini diuraikan mengenai hasil analisis perhitungan dari data-data yang telah didapatkan. Menentukan kesalahan pengaturan yang terdapat pada rele pengaman dan me-pengaturan ulang-nya dengan perhitungan manual untuk rele arus lebih fasa dan kegagalan pentanahan.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini diuraikan mengenai kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan acuan untuk pengaturan koordinasi rele arus lebih pada sistem kelistrikan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)
2. Menjadi acuan pembaca apabila penelitian yang diambil mengenai koordinasi rele arus lebih dan kegagalan pentanahan.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II
DASAR TEORI

Listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat, hampir tidak ada aktifitas apapun yang tanpa menggunakan tenaga listrik. Karena listrik sudah menjadi pendukung kehidupan, maka tentu juga menjadi prioritas untuk kita menjaga jumlahnya, kualitasnya, dan juga kesinambungannya.

2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Sistem kelitstrikan tidak lepas dari gangguan, gangguan pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan sistem menjadi tidak stabil. Jenis gangguan dalam saluran distribusi tenaga listrik adalah gangguan hubungan singkat. Biasanya terjadi dari akibat tembusnya bahan isolasi, kesalahan teknis, pengaruh alam di sekitar saluran distribusi tenaga listrik, sehingga ada arus yang mengalir dari fasa ke tanah atau antar fasa. Dalam hal ini keandalan pada suatu sistem kelistrikan menjadi suatu hal yang terpenting. Sistem kelistrikan yang baik yaitu jika terjadi gangguan maka sistem pengaman akan aktif agar gangguan tersebut dapat cepat diatasi dan tidak akan menyebabkan adanya kerusakan suatu peralatan yang serius.

Gangguan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua jenis berdasarkan sifat gangguannya :

1. Gangguan yang bersifat sementara
   Gangguan yang terjadi hanya sementara dengan waktu yang singkat, kemudian sistem dapat bekerja secara normal kembali. Dengan kata lain gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya dalam waktu singkat. Ketika gangguan sementara tidak dapat ditanggulangi dengan sendirinya, dan berlangsung cukup lama, gangguan sementara dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen
   Gangguan yang terjadi secara permanen dengan kurun waktu yang lama. ciri dari gangguan ini diperlukan adanya tindakan perbaikan atau penggantian peralatan. Jadi agar dapat dioperasikan kembali maka bagian yang rusak harus diganti atau diperbaiki terlebih dahulu.

Pada sistem tenaga listrik gangguan tersebut dapat diakibatkan karena adanya arus yang sangat besar pada phasa yang terganggu menuju titik gangguan. Dimana arus gangguan tersebut mempunyai gangguan yang jauh lebih besar dari rating arus peralatan yang diijinkan, yang berdampak pada kerusakan peralatan listrik dikarenakan tingginya suhu ada saluran.

2.2 Gangguan Hubungan Singkat

Gangguan hubungan singkat dapat terjadi satu fasa ke tanah, antar fasa, dua fasa ke tanah, atau 3 fasa ke tanah. Sedangkan gangguan hubungan singkat pada sistem tenaga listrik pada umumnya dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Gangguan Simetris
   Gangguan simetris terdiri dari :
   a. Gangguan hubungan singkat tiga fasa ke tanah
   b. Gangguan hubungan singkat tiga fasa
2. Gangguan Tak Simetris (asimetris)
   Gangguan asimetris terdiri dari :
   a. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah
   b. Gangguan hubungan singkat dua fasa
   c. Gangguan hubungan singkat dua fasa ke tanah

Gangguan yang termasuk dalam hubungan singkat simetris yaitu gangguan hubungan singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubungan singkat tak simetris. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubungan singkat dua fasa, atau gangguan hubungan singkat dua fasa ke tanah.

Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga untuk analisis gangguan digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan

dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharaannya.

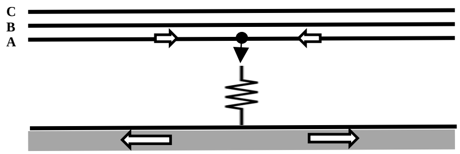
Berdasarkan faktor penyebab terjadinya gangguan terdiri dari 2 jenis, yaitu :

1. Gangguan Internal
   Gangguan internal merupakan gangguan yang terjadi didalam sistem itu sendiri.
   Berikut penyebab dari gangguan internal :
   a. Beban Lebih
      Disebabkan oleh konsumsi daya listrik melebihi kapasitas dari pembangkit, jika dibiarkan secara terus-menerus dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan.
   b. Tegangan dan Arus Lebih
      Disebabkan oleh gangguan surja, seperti penutupan saluran yang tak serempak pada pemutus tiga fasa, pelepasan beban yang diakibatkan oleh gangguan, penutupan kembali saluran dengan cepat, penutupan saluran awal yang saluran awal tersebut mulanya tidak masuk ke sistem menjadi masuk ke sistem [2]
   c. Kerusakan material
   d. Kesalahan mekanis
   e. Pemasangan peralatan yang kurang tepat

2. Gangguan Eksternal
   Gangguan ini terjadi diluar sistem itu sendiri.
   Berikut penyebab dari gangguan eksternal :
   a. Pengaruh lingkungan
   b. Pengaruh cuaca

2.2.1 Gangguan Hubungan Singkat Satu Fasa ke Tanah

Fasor yang tidak seimbang, diakibatkan oleh gangguan pada salah satu fasa, sehingga diperolehlah arus. Dimisalkan arus gangguan terjadi pada fasa A lihat Gambar 2.1[2]. Gangguan dapat terjadi apabila salah satu penghantar terkena pohon atau kawat yang terhubung dengan tanah. Jika penghantar tidak tersentuh (terhubung) tanah, maka tidak akan terjadi gangguan fasa ke tanah.



Gambar 2.1 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah pada Fasa A

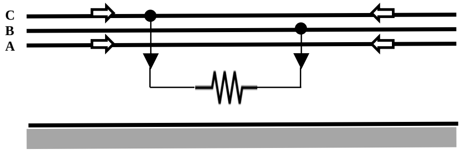
Perhitungan Gangguan satu fasa ke tanah ini dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$I_{SC\ 1\emptyset-G} = \frac{3E_a}{Z_1+Z_2+Z_0+3Z_f} \qquad (2.1)$$

Keterangan
E_a = Tegangan fasa [V]
Z_1 = Impedansi urutan positif [ohm]
Z_2 = Impedansi urutan negatif [ohm]
Z_0 = Impedansi urutan nol [ohm]
Z_f = Impedansi gangguan [ohm]

2.2.2 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa

Gangguan yang terjadi antara fasa b dan c. Terhubungnya fasa B dan C karena adanya tahanan Z_f. Gangguan fasa-fasa yang sering terjadi disebabkan oleh pohon atau benang layang-layang.[2]



Gambar 2.2 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa

Perhitungan Gangguan 2 fasa ini dapat dilihat pada persamaan 2.2.

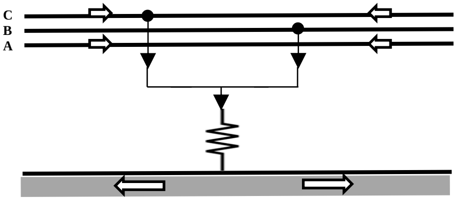
$$I_{SC\ 2\emptyset} = -j\sqrt{3}\frac{E_a}{Z_1+Z_2+Z_f} \qquad (2.2)$$

Keterangan :
E_a = Tegangan fasa [V]
Z_1 = Impedansi urutan positif [ohm]

Z_2 = Impedansi urutan negatif $[ohm]$
Z_f = Impedansi gangguan $[ohm]$

2.2.3 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gangguan yang terjadi antara fasa b dan c terhubung ke tanah, lihat Gambar 2.3. Biasanya gangguan ini terjadi disebabkan oleh ranting pohon yang terhubung dengan tanah terkena 2 fasa.[2]



Gambar 2.3 Gangguan Hubungan Singkat Dua Fasa ke Tanah

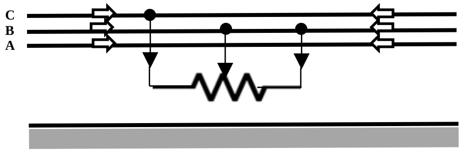
Perhitungan Gangguan 2 Fasa ke tanah ini dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$I_{SC\ 2\emptyset-G} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0+3Z_f)}{Z_2+Z_0+3Z_f}} \quad (2.3)$$

Keterangan :
E_a = Tegangan fasa $[V]$
Z_1 = Impedansi urutan positif $[ohm]$
Z_2 = Impedansi urutan negatif $[ohm]$
Z_0 = Impedansi urutan nol $[ohm]$
Z_f = Impedansi gangguan $[ohm]$

2.2.4 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa

Gangguan yang terjadi antara ketiga fasa. Lihat Gambar 2.4. Gangguan disebabkan oleh terhubungnya ketiga fasa dengan pohon atau benang layang-layang.[2]



Gambar 2.4 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa

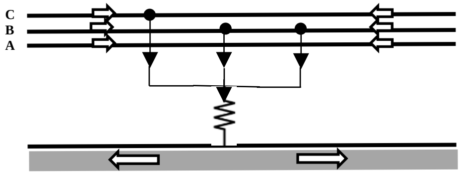
Perhitungan Gangguan 3 Fasa ini dapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$I_{SC\ 3\ \emptyset} = \frac{\text{Ea}}{\text{Z1+Zf}} \qquad (2.4)$$

Keterangan :
E_a = Tegangan fasa $[V]$
Z_1 = Impedansi urutan positif $[ohm]$
Z_f = Impedansi gangguan $[ohm]$

2.2.5 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa ke Tanah

Gangguan yang terjadi antara ketiga fasa terhubung ke tanah. Lihat Gambar 2.5. Biasanya gangguan ini terjadi disebabkan oleh ranting pohon yang terhubung dengan tanah terkena 3 fasa. [2].



Gambar 2.5 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa ke Tanah

Perhitungan Gangguan 3 Fasa ke Tanah ini dapat dilihat pada persamaan 2.5.

$$I_{SC\ 3\ \emptyset-G} = \frac{\text{Ea}}{\text{Z1}} \qquad (2.5)$$

Keterangan :
E_a = Tegangan fasa $[V]$
Z_1 = Impedansi urutan positif $[ohm]$

2.3 Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut [4]

Sistem pengaman tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang diperoleh dari sistem tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besarannya dengan besaran ambang-batas (*threshold setting*) pada peralatan pengaman. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi pengaturan ambang-batas peralatan pengaman, maka sistem pengaman akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Peralatan pengaman pada umumnya terdiri dari beberapa elemen yang dirancang untuk mengamati kondisi sistem dan melakukan suatu tindakan berdasarkan kondisi sistem yang diamatinya. Waktu pemutusan gangguan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan suatu skema pengaman. Hal ini dikarenakan suatu peralatan pengaman harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan pengaman yang lain agar hanya peralatan pengaman yang paling dekat dengan gangguan saja yang bekerja (prinsip selektivitas).

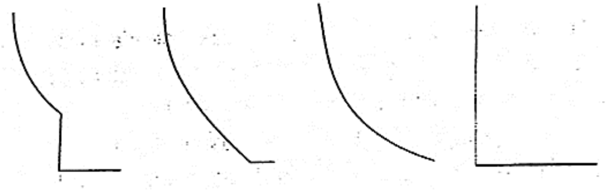
Komponen-komponen Sistem Pengaman :

1) Fuse
   Fuse adalah suatu alat pemutus, meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian, dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi nilai dalam waktu tertentu. Pelebur ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen.
2) Pemutus Tenaga
   Pemutus tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubungan singkat, sesuai dengan ratingnya, baik pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal.
3) Rele
   Rele adalah alat yang mampu menerima atau mendeteksi besaran tertentu untuk kemudian memberikan perintah sebagai tanggapan terhadap besaran yang dideteksinya.

a. Rele arus lebih fasa

Rele pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah dan pada pengaman transformator tenaga. Rele ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa ke fasa. Rele arus lebih berfungsi untuk merespon adanya arus yang lewat melebihi titik pengaturannya.

Ditetapkan Is = 1,2 x In (In = arus nominal peralatan terlemah)



(a) (b) (c) (d)

Gambar 2.6 Macam – Macam Tipe Kurva *Inverse*

Pada Gambar 2.6 ditunjukkan bahwa macam-macam tipe kurva *inverse* yaitu :

(a) *Extremely inverse*
(b) *Very inverse*
(c) *Normal inverse*
(d) *Definite inverse*

b. Rele arus lebih ke tanah

Rele Pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah, dan pada pengaman tranformator tenaga

4) Trafo Arus (CT)

Trafo Arus adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Selain untuk pengukuran arus, trafo

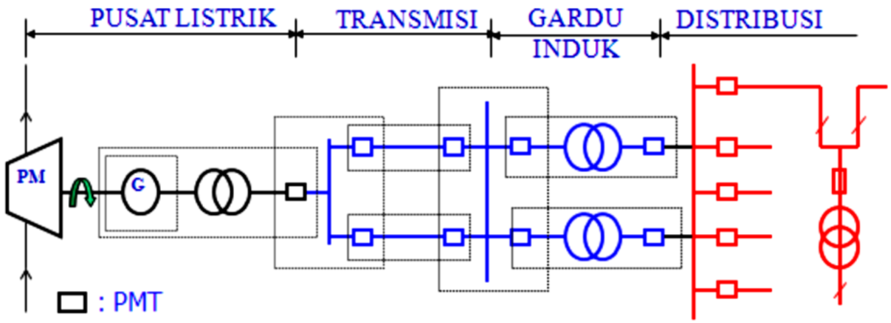
arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh, dan rele pengaman. Kumparan primer trafo dihubungkan seri dengan rangkaian atau jaringan yang akan diukur arusnya sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau dengan rele pengaman.

Tabel 2.1 Standar Primer dan Sekunder CT

Primer (A)	10	12,5	15	20	25	30	40	50	60
	75	100	150	200	250	300	400	500	600
	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Sekunder (A)	1	5							

2.4 Pembagian Daerah Pengamanan

Pembagian daerah pengaman adalah bagian dari sistem tenaga yang dilindungi oleh sistem pengaman. Umumnya berisi satu elemen atau maksimum dua elemen sistem tenaga. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Pembagian Daerah Pengaman

Di dalam pengaman sistem tenaga listrik, seluruh komponen harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja peralatan/relai pengaman. Untuk mencapai hal ini, sistem tenaga listrik dibagi menjadi daerah-daerah pengamanan. Gambar 2.7 merupakan pembagian daerah pengaman sistem tenaga listrik. Terdapat PMT atau pemutus tenaga yang fungsinya sebagai pembatas jaringan tenaga listrik yang terdiri dari banyak peralatan yang berbeda jenis dan karakteristik.

Pembagian daerah pengaman bertujuan untuk membedakan kerja rele antara pengaman utama dan rele pengaman cadangan. Rele pengaman utama dan rele pengaman cadangan tidak boleh bekerja secara bersamaan, sehingga harus memiliki jeda waktu yang disebut *time delay* (Δt).

a) Pengaman Utama
   Elemen-elemen pengaman utama terdiri atas relai, trafo tegangan, baterai (catu daya), kumparan padam , dan pemutus tenaga.
b) Pengaman Cadangan
   Kegagalan pada pengaman utama atau adanya daerah mati tersebut diatasi dengan menggunakan pengaman cadangan. Pengaman cadangan umumnya mempunyai perlambatan waktu untuk memberikan kesempatan pengaman utama bekerja lebih dahulu. Jika pengaman utama gagal, maka pengaman cadangan bekerja.

2.5 Rele Arus Lebih (OCR)

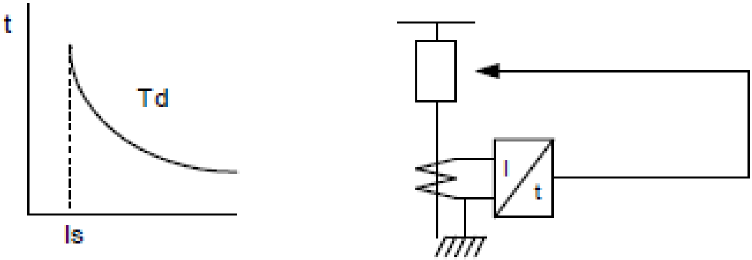
Rele arus lebih biasa digunakan pada jaringan level tegangan menengah dan tinggi untuk mengamankan apabila ada gangguan hubungan singkat 1 fasa ke tanah, 3 fasa ke tanah, 2 fasa ke tanah, fasa ke fasa. Jika terdapat arus lebih dengan demikian OCR memberikan sinyal ke PMT untuk membuka.

Berikut merupakan macam-macam karakteristik rele arus lebih :

a. Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse*)
b. Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite time*)
c. Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Seketika (*Instantaneous*)

2.5.1 Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse)*

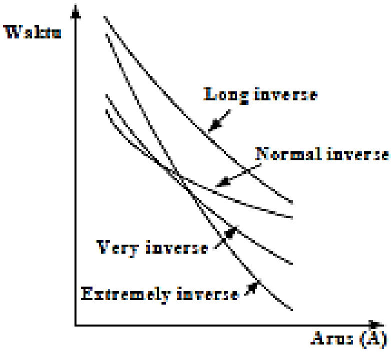
Rele ini bekerja ketika adanya gangguan hubungan singkat dimana arus yang terukur lebih besar dari arus nominal atau batas arus. Dimana semakin besar arus maka semakin cepat rele ini bekerja, namun semakin kecil arus maka rele ini bekerja dengan waktu tunda yang lama.



Gambar 2.8 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Berikut merupakan karakteristik rele *inverse*, yaitu:
1. Long Inverse
2. Extremely inverse
3. Very inverse
4. Normal Inverse

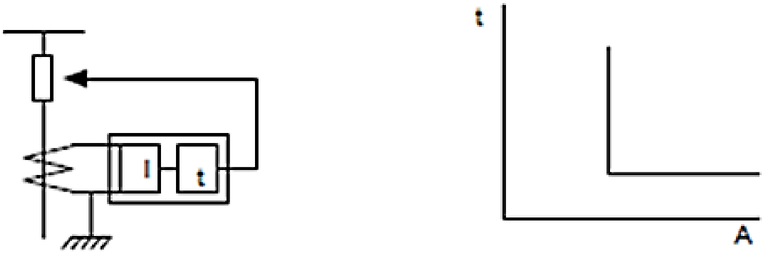
Perbandingan kelengkungan kurva :



Gambar 2.9 Perbandingan Kelengkungan Kurva

2.5.2 Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite time*)

Pada saat terjadi gangguan rele ini memberikan perintah kepada PMT, bila besar arusnya melebihi dan jangka waktu kerja rele mulai ipp sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu dan tidak tergantung pada besarnya arus gangguan.

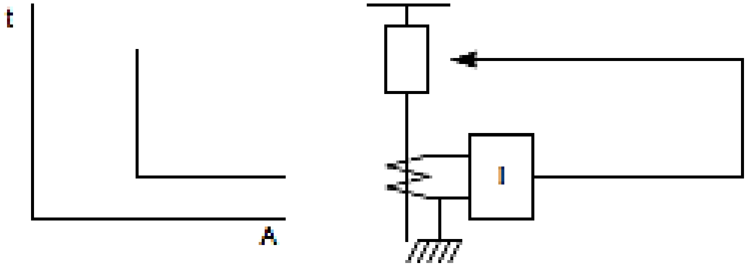


Gambar 2.10 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Apabila terjadi gangguan arus lebih yang singkat rele ini tidak langsung merasakan bahwa sistem kelistrikan harus di padamkan. Apabila arus gangguan yang terdeteksi tidak masuk dalam pengaturan waktu yang diatur maka arus gangguan tersebut dapat dibiarkan. Sebaliknya apabila arus gangguan masuk dalam pengaturan waktu yang digunakan maka rele tersebut akan aktif sesuai koordinasi yang telah dibuat.

2.5.3 Rele Arus Lebih Karakteristik Waktu Seketika *(Instantaneous)*

Apabila terjadi hubungan singkat yang sangat besar maka rele akan memberi sinyal pada PMT untuk langsung membuka tanpa ada waktu tunda (20-40 ms).



Gambar 2.11 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

2.6 Pengaturan Rele Arus Lebih

Terjadinya gangguan hubungan singkat, perlu adanya perhitungan arus guna dilakukan analisis sehingga didapatkan besar nilai besar-besaran listrik yang dihasilkan dari akibat gangguan hubungan singkat

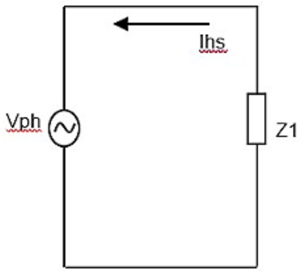
tersebut [6]. Gangguan yang terjadi akibat penurunan kekuatan dasar isolasi antara kawat fasa, atau antara kawat fasa dengan tanah, yang mengakibatkan kenaikan arus secara berlebih.

Pengaturan arus untuk rele OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga :

$$I_{set(prim)} = 1{,}05 \times Inominal\ trafo \tag{2.6}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder , maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set(sek)} = I_{set(prim)} \times \frac{1}{\text{rasio CT}} \tag{2.7}$$



Gambar 2.12 Hubungan Jala – Jala Urutan untuk Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk untuk menghitung besarnya arus gangguan hubungan singkat 3 fasa adalah :

$$I = \frac{V}{Z} \tag{2.8}$$

Rumus dasar yang digunakan untuk untuk menghitung besarnya arus gangguan hubungan singkat 3 fasa adalah :

$$I_{3\emptyset} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \tag{2.9}$$

Keterangan :
$I_{3\emptyset}$ = Arus gangguan hubungan singkat tiga fasa (A)
V_{ph} = Tegangan fasa – netral sistem 20 kV= $\frac{20.000}{\sqrt{3}}\,(V)$
Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

2.6.1 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Variabel yang dapat diatur adalah batas arus dan juga waktu kerja-nya. Untuk pengaturan batas arus, besar pengaturan arus harus lebih besar daripada arus beban maksimum peralatan yang diamankan. Hal ini dikarena rele arus lebih waktu *inverse* tidak boleh beroperasi pada saat arus beban maksimum. Sehingga pengaturan arusnya harus lebih besar daripada beban maksimum. Menurut *Standard British* BS 142, batas pengaturan rele arus lebih waktu *inverse* (faktor pengali untuk pengaturan) adalah :

$$1.05\, I_{FLA} < I_{set} < 1.4\, I_{FLA} \qquad (2.10)$$

Iset merupakan besar batas arus (ampere) dan *Full Load Ampere* (FLA) adalah arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan ketika beroperasi. Besar dari batas arus ditentukan berdasarkan pemilihan *tap.* Dan nilai *tap* sendiri, dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\text{Tap} = \frac{Iset}{CT\ Primary} \qquad (2.11)$$

Setelah mengatur batas arus, langkah selanjutnya adalah mengatur waktu kerja. Pengaturan waktu kerja ini diperlukan untuk menentukan kapan rele arus lebih yang dipergunakan akan bekerja apabila terjadi gangguan beban lebih. Berikut ini adalah rumus yang dipergunakan untuk menentukan waktu kerja dari rele arus lebih waktu terbalik yang dipergunakan pada tugas akhir ini :

Tabel 2.2 Karakteristik Operasi Waktu Jenis *Relay Inverse time*

Tipe Rele	Setelan Waktu
$TD = \frac{k\ x\ T}{\left[\left(\frac{I}{Iset}\right)^{\alpha} - 1\right]}$	
Standar Inverse	$TD = \frac{0{,}14\ x\ T}{\left[\left(\frac{I}{Iset}\right)^{0{,}02} - 1\right]}$
Very Inverse	$TD = \frac{13{,}5\ x\ T}{\left[\left(\frac{I}{Iset}\right) - 1\right]}$
Extremely Inverse	$TD = \frac{80\ x\ T}{\left[\left(\frac{I}{Iset}\right)^{2} - 1\right]}$
Long Time Inverse	$TD = \frac{120\ x\ T}{\left[\left(\frac{I}{Iset}\right) - 1\right]}$

Keterangan :

TD = waktu tunda (detik)
T = waktu kerja
k = koefisien invers
α = koefisien invers
I = Isc*max* (Ampere)
I_{set} = batas arus (Ampere)

2.6.2 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Rele arus lebih waktu seketika ini bekerja ketika arus gangguan melebihi pengaturan batas arus pada rele. Untuk pengaturan rele waktu instant ini dibutuhkan nilai Isc minumum yang dapat dicari dengan cara persamaan berikut :

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

Setelah Isc minimum telah diketahui nilainya, dapat dilanjutkan untuk menentukan pengaturan batas arus dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{scmax} \leq I_{set} \leq 0.8\, I_{scmin} \qquad (2.13)$$

Nilai Isc maksimum didapatkan dari nilai arus hubungan singkat maksimum 3 fasa.

2.8 Rele Arah Gangguan Ke Tanah (DGR)

Rele arah gangguan ke tanah (DGR) untuk mengamankan suatu sistem kelistrikan yang disertai dengan arah, yang dimana rele tersebut akan bekerja ketika adanya gangguan 1 fasa ke tanah. DGR bekerja dapat sebagai pengaman utama maupun sebagai pengaman cadangan. Oleh karena itu, arus gangguan satu fasa ke tanah minimum dan maksimum besarnya harus diketahui agar dapat dilakukan pengaturan rele tanah terarah.

Penentuan tap pengaturan arus kerja dari rele tanah terarah dapat digunakan rumus:

Iset = 10 % x If Maksimum

2.9 Gangguan Simpatetik (*Sympathetic Trip)*

Kegagalan rele yang terjadi pada penyulang 20 kV ketika penyulang yang seharusnya tidak terganggu, ikut mengamankan peralatan bersama penyulang yang terganggu. Gangguan simpatetik ini perlu adanya solusi agar tidak terjadi perluasan gangguan terhadap peralatan inti. Biasanya gangguan ini terjadi apabila terdapat penggunaan dua sumber atau lebih. Hal ini perlu adanya tindakan khusus agar penyulang-penyulang tidak sering mengalami gangguan simpatetik, namun jika sudah terjadi beberapa kali, perlu dipastikan penyebab gangguan simpatetik tersebut apakah karena rele arus lebih (OCR) atau rele arah gangguan ke tanah (DGR).

BAB III
SISTEM KELISTRIKAN GARDU INDUK 150 KV BABADAN (SIDOARJO)

3.1 Sistem Kelistrikan Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)

Gardu Induk 150 KV Babadan (Sidoarjo) sebagai sumber tenaga listrik melayani beberapa penyulang dari PT PLN Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Sidoarjo dan PT PLN Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan Surabaya Barat, yaitu total 18 penyulang 20 kV yang di distribusikan oleh ketiga unit transformator daya. Pada transformator 1 terhubung dengan 6 (enam) buah penyulang, transformator 2 terhubung dengan 2 (dua) buah penyulang, transformator 3 terhubung dengan 10 (sepuluh) buah penyulang dan terdiri dari *grid* PLN. Dimana sistem kelistrikan Gardu Induk Babadan merupakan tipe radial. *Grid* PLN ini menyuplai daya sebesar 46238 KW.

Tabel 3.1 Menunjukkan penyulang yang di suplai oleh gardu induk Babadan yaitu trafo 1 dan trafo 3 yang di-suplai daya tiap trafo sebesar 50 MVA

Tabel 3.1 Penyulang ter-suplai oleh Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) dengan Daya 50 MVA

Trafo				**Penyulang**		**AP/APJ**
No Trf	Prim 150 (kV)	Sec 20 (kV)	Daya (MVA)			
1	150	20	50		**HITACHI**	
				1	Kelopo Sepuluh	SBB
				2	Jatisuma	SBB
				3	Jemundo	SBB
				4	Gilang	SBB
				5	Bringin bendo	SBB
				6	Garuda food	SBB
3	150	20	50		**GOLD STAR**	
				1	Anggaswangi	SBB
				2	Sambung Rejo	SBB
				3	Pondokjati	SBB
				4	Plumbungan	SBB

				5	Tawang Sari	SBB
				6	Iwatani	SBB
				7	Pakartiriken 2	SDA
				8	Pakartiriken 3	SDA
				9	Sidodadi	SBB
					EGA	
				10	Sambibulu	SBB

Tabel 3.2 Menunjukkan penyulang yang di suplai oleh gardu induk Babadan (Sidoarjo) yaitu trafo 2 yang di-suplai daya sebesar 60 MVA

Tabel 3.2 Penyulang ter-suplai oleh Gardu Induk Babadan (Sidoarjo) dengan Daya 60 MVA

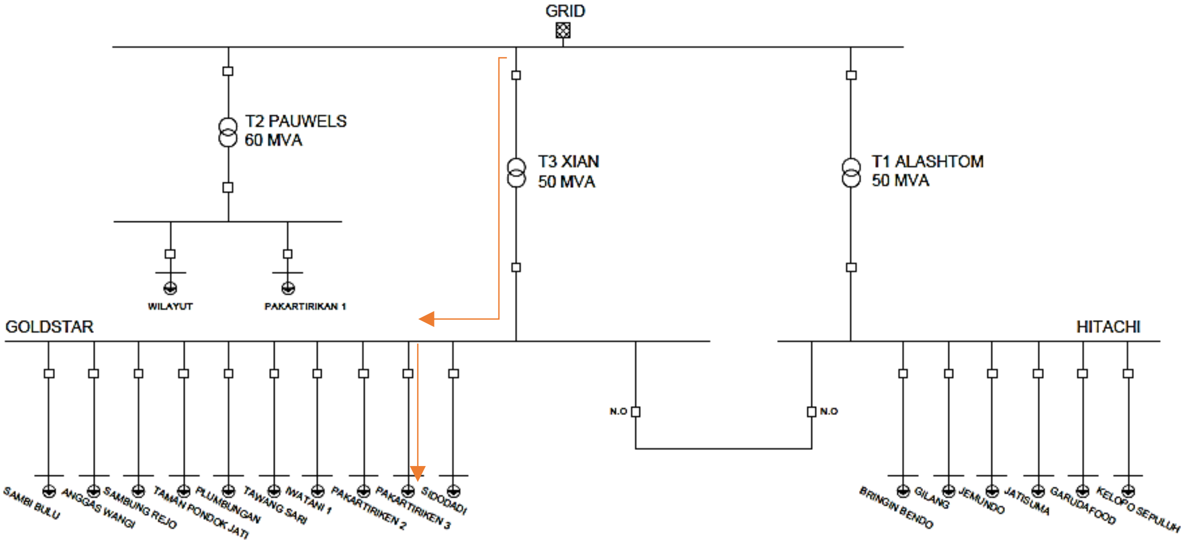
Trafo				**Penyulang**		**AP/APJ**
No Trf	Prim 150 (kV)	Sec 20 (kV)	Daya (MVA)			
					EGA	
2	150	20	60	1	Wilayut	SDA
				2	Pakartiriken 1	SDA

Tabel 3.3 Menunjukkan data-data apa saja yang diperlukan untuk pengaturan diagram satu garis

Tabel 3.3 Data Pengaturan Diagram Satu Garis

MV.Cell Penyulang		**CT**	**ZCT**	**Is> (A)**	**td> (det)**	**td>> (det)**	**Is>>> (A)**
	HITACHI						
1	Kelopo Sepuluh	400/5	400/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
2	Jatisuma	400/5	400/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
3	Jemundo	400/5	400/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
4	Gilang	400/5	400/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
5	Bringin bendo	400/5	400/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
6	Garuda food	400/5	400/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
	GOLD STAR						

1	Anggaswangi	800/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
2	Sambung Rejo	800/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
3	Pondokjati	800/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
4	Plumbungan	800/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
5	Tawang Sari	800/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
6	Iwatani	800/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
7	Pakartiriken 2	800/5	200/5	400	0,15 SI	instant	
8	Pakartiriken 3	400/5	200/5	400	0,15 SI	instant	
9	Sidodadi	400/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
	EGA						
10	Sambibulu	800/5	200/5	400	0,15 SI	0,3 DT	3600
	EGA						
1	Wilayut	800/5	100/5	400	0,15 SI	0,3 DT	4000
2	Pakartirikan 1	800/5	100/5	400	0,15 SI	0,3 DT	4000



Gambar 3.1 Diagram Satu Garis Gardu Induk Babadan (Sidoarjo)

BAB IV
STUDI KOORDINASI PENGAMAN ARUS LEBIH DI GARDU INDUK 150 KV BABADAN (SIDOARJO)

4.1 Pemodelan Kelistrikan Gardu Induk 150 kV Babadan (Sidoarjo)

Pemodelan sistem kelistrikan Gardu Induk Babadan (Sidoarjo). dilakukan dengan menggambarkan diagram satu garis pada perangkat lunak ETAP 12.6. Untuk pengerjaan tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6. Langkah awal untuk membuat diagram satu garis di perangkat lunak ETAP 12.6 dibutuhkan data-data peralatan yang meliputi data transformator, motor, kabel, dan bus.

Setelah pemodelan selesai, dilanjutkan dengan melakukan analisis hubungan singkat untuk menentukan untuk koordinasi pengaman sistem kelistrikan Gardu Induk Babadan terhadap arus lebih. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya koordinasi pengaman ini akan membahas rele pengaman yaitu rele arus lebih fasa dan rele pengaman gangguan ke tanah.

Pemodelan kelistrikan pada Gardu Induk Babadan digunakan untuk memudahkan dalam analisis dan perhitungan aliran daya maupun hubungan singkat. Simulasi hubungan singkat yang dilakukan adalah simulasi hubungan singkat maksimal (1,5-4 siklus) dan hubungan singkat minimum (30 siklus).

Sedangkan untuk pengerjaan koordinasi rele-rele pengaman digunakan kurva arus waktu. Kurva tersebut digambarkan menurut perhitungan yang dipakai untuk menetukan parameter-parameter pada rele.

4.2 Analisis Hubungan-singkat

Analisis hubungan singkat ini dilakukan untuk menentukan pengaturan rele arus lebih gangguan fasa. Untuk perhitungan arus hubungan singkat digunakan 2 parameter yaitu hubungan singkat maksimum dan hubungan singkat minimum. Hubungan singkat minimum adalah hubungan singkat 2 fasa pada saat 30 siklus. Sedangkan hubungan singkat maksimum adalah hubungan singkat 3 fasa pada saat 4 siklus. Dalam mencari hubungan singkat minimum dan maksimum diambil dari arus kontribusi yang menuju ke bus.

4.2.1 Hubungan Singkat Minimum

Hubungan singkat minimum terjadi saat sistem 3 fasa mengalami gangguan hubungan singkat antar 2 fasa saat 30 siklus atau dalam keadaan tunak . Hubungan singkat minimum digunakan sebagai batas pengaturan rele arus lebih instan. Diharapkan jika terjadi gangguan hubungan singkat pada arus gangguan minimum, rele tersebut dapat bekerja dengan instan atau sesuai dengan tunda yang telah ditentukan. Pada simulasi hubungan singkat minimum 30 siklus dilakukan pada bus yang telah ditentukan *case*-nya. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Arus Hubungan Singkat *Line-Line* 30 Siklus

No	ID Bus	Arus Hubungan Singkat L-L 30~ (A)
1	Pakartiriken 2	14140
2	Pakartiriken 3	14150
3	Sambibulu	14290
4	Anggaswangi	14170
5	Sambung Rejo	14140
6	Pondokjati	14070
7	Plumbungan	14480
8	Tawang Sari	14130
9	Iwatani	14120
10	Sidodadi	13920
11	T.3 Xian	11820
12	T.3 Xian	10040
13	T1 Alshtom	11910
14	T1 Alshtom	10050
13	T2 Pauwels	12090
14	T2 Pauwels	11820
15	Bringin Bendo	12650
16	Gilang	12660
17	Jemundo	12730
18	Jatisuma	12830

4.2.2 Hubungan Singkat Maksimum

Besar arus menjadi maksimum terjadi saat hubungan singkat tiga fasa 0,5 siklus, akan tetapi untuk pengaturan rele pengaman, yang digunakan yaitu hubungan singkat tiga fasa saat 4 siklus, karena CB bekerja saat transien, bukan saat *sub*-transien. Hubungan singkat maksimum 4 siklus digunakan untuk pengaturan rele dengan pengaturan kelambatan waktu 0.08 - 0.5 detik. Hubungan singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubungan singkat terbesar yang mungkin terjadi. Selain hubungan singkat 4 siklus, yang digunakan selanjutnya yaitu hubungan singkat tiga fasa saat 30 siklus, hubungan singkat 3 fasa 30 siklus dugunakan untuk pengaturan rele dengan waktu tunda lebih dari 0.5 detik. Tabel 4.2 menjelaskan tentang arus hubungan singkat tiga fasa saat 4 siklus dan 30 siklus.

Tabel 4.2 Arus Hubungan Singkat 3 Fasa Saat 4 Siklus dan 30 Siklus.

No	ID Bus	Arus Hubungan Singkat 3 fasa 4~ (A)
1	Pakartiriken 2	16320
2	Pakartiriken 3	16340
3	Sambibulu	16500
4	Anggaswangi	16360
5	Sambung Rejo	16330
6	Pondokjati	16250
7	Plumbungan	16720
8	Tawang Sari	16320
9	Iwatani	16300
10	Sidodadi	16080
11	T.3 Xian	13650
12	T.3 Xian	11590
13	T1 Alshtom	13750
14	T1 Alshtom	11600
13	T2 Pauwels	13960
14	T2 Pauwels	13640
15	Bringin Bendo	14610
16	Gilang	14620
17	Jemundo	14700
18	Jatisuma	14810

4.3 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada Gardu Induk Babadan

Dalam melakukan koordinasi pengaman rele arus lebih diperlukan pemilihan tipikal, pemilihan tipikal ini bertujuan untuk mempermudah menganalisis tentang koordinasi pengaman pada sistem kelistrikan Gardu Induk Babadan. Pada koordinasi pengaman arus lebih pada Gardu Induk Babadan dipilih 1 (satu) buah tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal – tipikal tersebut dipilih berdasarkan saluran terpanjang, saluran terpendek, dan beban terbesar pada sistem kelistrikan.
Tipikal 1 : Dipilih berdasarkan gangguan yang terjadi dimana dalam kasus ini yaitu simpatetik trip pada Pakartiriken 3 dan Pakartiriken 2.

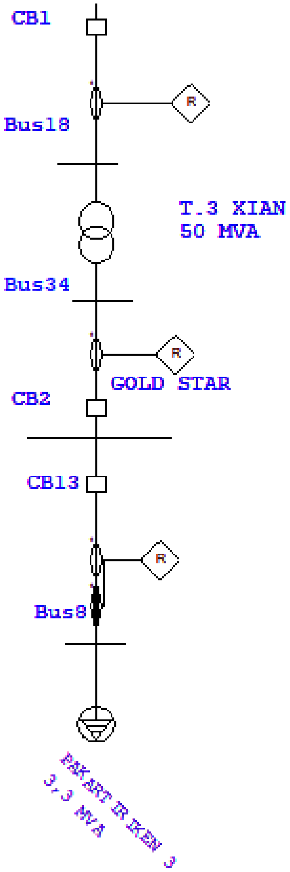
Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada gambar 4.1 untuk penentuan tipikal 1 ini dimulai dari rele untuk mengamankan Pakartiriken 3 hingga sisi primer trafo T3. Xian.

4.4 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan Fasa

Rele arus lebih ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan arus lebih fasa yang berupa gangguan beban lebih dan gangguan hubungan singkat untuk koordinasi rele pengaman arus lebih gangguan fasa dilakukan pengaturan arus dan waktu pada masing - masing rele agar setiap rele dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Koordinasi ini selain bertujuan untuk mencegah kerusakan pada peralatan listrik, juga berfungsi mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Sehingga hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi tumpang tindih antara rele yang satu dengan rele yang lain. Karena hal itu pengaturan rele arus lebih ini harus memperhitungkan nilai pengaturan batas bawah, pengaturan batas atas, waktu kerja dan waktu tunda harus sesuai standar IEEE 242, waktu jeda untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 detik. Pada tugas akhir ini yang dipilih dengan waktu jeda 0,2 detik. Setelah dilakukan perhitungan untuk nilai pengaturan batas bawah, pengaturan batas atas, waktu kerja dan waktu tunda, selanjutnya tipikal diplot pada *Star Protective Device Coordination* sehingga kurva masing - masing rele dapat terlihat dimana pada kurva tersebut dapat dilihat koordinasinya apakah sudah betul atau tidak.

4.4.1 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1

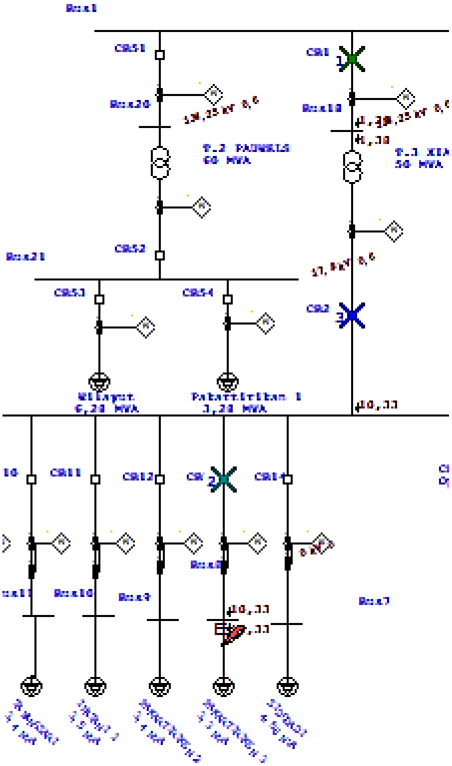
Koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 1 dipilih berdasarkan gangguan simpatetik yang terjadi. Dalam kasus ini Pakartiriken 3 dipilih, dan Rele 16 sebagai pengaman untuk membuka CB 13. Rele 2 untuk membuka CB 13 dimana rele tersebut merupakan cadangan pada rele 16, jika rele 16 gagal beroperasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 diagram satu garis tipikal 1.



Gambar 4.1 Diagram Satu Garis Tipikal 1

Tabel 4.3 Data Pengaturan Awal dan Pengaturan Ulang Pada Rele

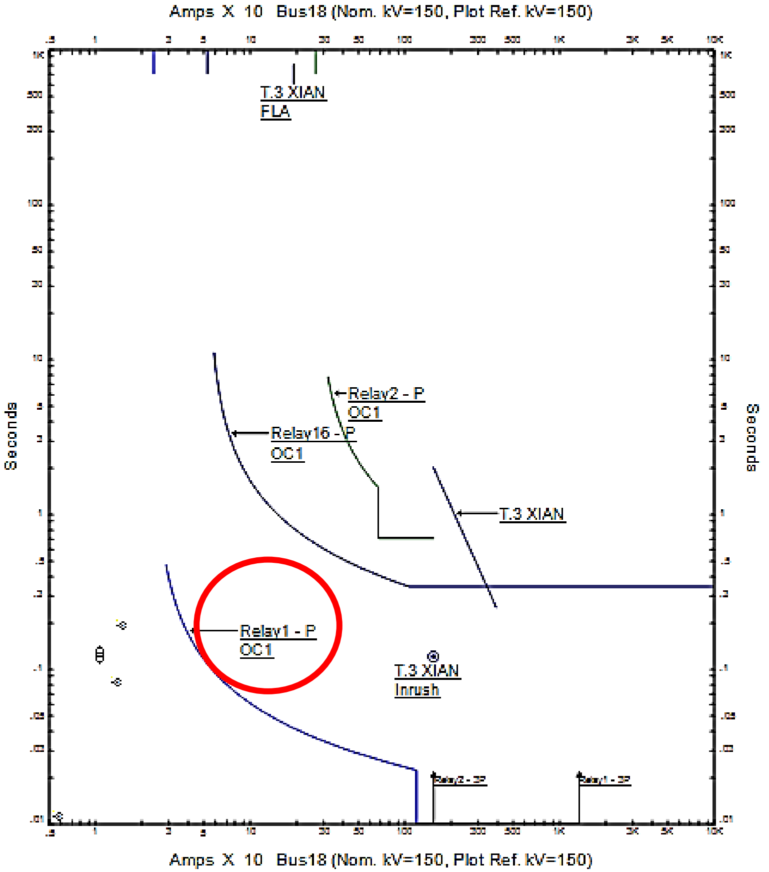
Rele	Pengaturan Awal		Pengaturan Ulang	
Relay16	Areva Micom P127		Areva Micom P127	
	CT 400/5		CT 400/5	
	Current Low Set	400	Current Low Set	400
	Time Dial	0,2	Time Dial	0,2
	Current High Set	3600	Current High Set	800
	Time Delay	0,3	Time Delay	0,3
Relay2	Areva Micom P141		Areva Micom P141	
	CT 2000/5		CT 2000/5	
	Current Low Set	2000	Current Low Set	2000
	Time Dial	0,2	Time Dial	0,14
	Current High Set	5100	Current High Set	2600
	Time Delay	0,7	Time Delay	0,5
Relay1	Areva Micom P127		Areva Micom P127	
	CT 300/5		CT 300/5	
	Current Low Set	300	Current Low Set	300
	Time Dial	0,08	Time Dial	0,43
	Current High Set	1200	Current High Set	2376
	Time Delay	0,01	Time Delay	0,1



Gambar 4.2 *Running* Data Eksisting Menggunakan *Software* ETAP 12.6

Menggunakan *software* ETAP 12.6 disimulasikan sesuai dari data eksisting, diberikan gangguan pada penyulang Pakartiriken 3 didapatkan respon bahwa urutan kerja rele berturut-turut yaitu *Relay1*, *Relay16*, *Relay2*

Setelah mengetahui alur kerja rele pengaman, akan didapatkan kurva dengan cara klik *coordination protection* lalu pilih saluran yang ingin di analisis dan klik *create star view*.



Gambar 4.3 Data Pengaturan Awal pada Tipikal 1

Kurva pada Gambar 4.2. dapat dilihat masih terjadi kesalahan koordinasi antar pengaman yang mengakibatkan sistem tersebut kurang handal. Berikut penjelasan mengenai hal apa saja yang mempengaruhi koordinasi pengaman tersebut belum dapat dibilang benar.

1. *Relay*1 merupakan pengaman trafo utama maka dari itu sebaik mungkin tidak boleh memotong rele yang mengamankan trafo, dalam kasus ini *relay*1 berada pada daerah kerja *inrush* trafo.

2. *Instant Relay*1 kecepatan merasakan pada waktu 0,01 detik, untuk rele digital saat ini dan kemampuan CB untuk membuka tidak bisa memadai.
3. Jeda waktu antar pengaman rele terlalu lama yaitu 0,4 detik, standar koordinasi pengaman di rekomendasikan waktu jeda sebesar 0,2 – 0,3 detik

Tidak hanya melihat dari sisi kurva saja, melainkan harus dilihat waktu jeda antar rele. Dalam kasus ini sistem kelistrikan pengaturan awal dapat disimulasikan waktu operasi kerja rele dengan diberi gangguan pada saluran Pakartiriken 3 dan dilihat melalui *sequence viewer*. Untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.4 Waktu Operasi Kerja Rele Pengaturan Awal Tipikal 1

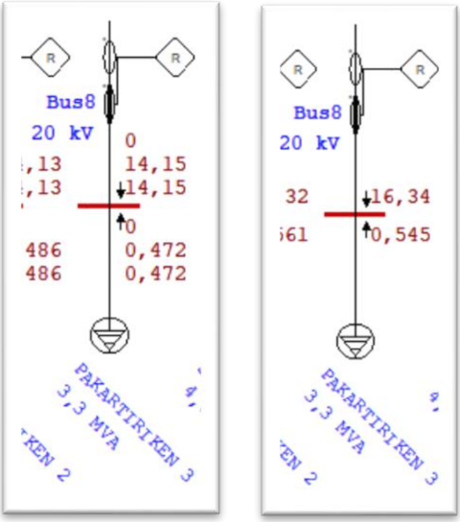
Waktu (ms)	ID	Kondisi
10	Relay1	Fasa-OC1-50
70	CB1	Trip oleh Relay1 Fasa-OC1-50
300	Relay16	Fasa-OC1-50
365	CB13	Trip oleh Relay 16 Fasa-OC1-50
700	Relay2	Fasa-OC1-50
755	CB2	Trip oleh Relay1 Fasa-OC1-50

Dari hasil *sequence viewer*, dapat di analisis bahwa pengaman antar rele masih belum benar, karena *Relay*1 yang mengamankan sisi primer trafo waktu tunda diatur 0,01 detik yang mengakibatkan rele tersebut akan trip terlebih dahulu jika diberi gangguan pada saluran pakartiriken. Maka dari itu dibutuhkan pengaturan ulang pada saluran tersebut agar rele antar pengaman dapat terkoordinasi dengan baik.

➢ Rele Relay16

Merk	: AREVA
Tipe	: P127
FLA	: 95,26 A
Isc min 30~ Bus 8	: 14,15 kA
Isc max 4~ Bus 8	: 16,34 kA
CT	: 400/5

Pengaturan pada Diagram Satu Garis ETAP 12.6



Gambar 4.4 Nilai Isc min dan max Bus 8

Pengaturan *Overcurrent*

Batas Waktu Arus Lebih :

$$1{,}05x\ FLA < Iset < 1{,}4x\ FLA$$
$$1{,}05x\ 95{,}26 < Iset < 1{,}4x\ 95{,}26$$
$$100 < Iset < 133{,}4$$
$$\frac{100}{400} < Tap < \frac{133{,}4}{400}$$
$$0{,}25 < Tap < 0{,}33$$

Dipilih Tap : 0,3

Time Dial
Jenis Kurva : *Standart Inverse*
Dipilih t operasi : 0,3 detik

$$TD = \frac{Td \times \left(\left(\frac{Iscmax}{Ipp}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{16340}{120}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$TD = 0,2$$

Dipilih TD : 0,2

Pengaturan *Instantaneous*
Menentukan *Pickup*

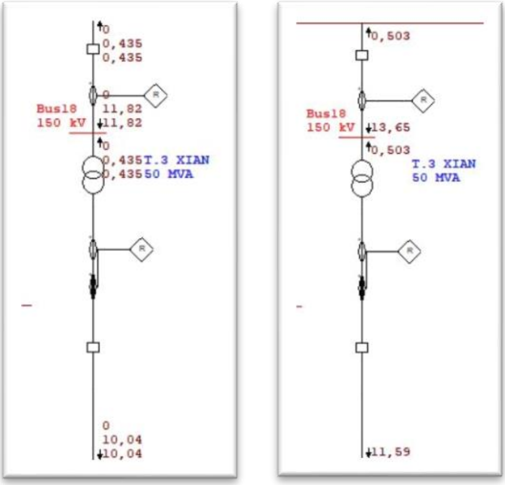
$$1,6x\ FLA\ < I_{\gg}\ <\ 0.8 \times Isc8$$
$$1,6x\ 95,26A\ <\ I_{\gg} <\ 0.8 \times 14150\ A$$
$$152,42\ A\ <\ I_{\gg} < 11320\ \ A$$
$$\frac{152,42\ A}{400}\ <\ Tap < \frac{11320\ \ A}{400}$$
$$0,38\ <\ Tap <\ 28,3$$

Dipilih Tap : 2
Time Delay : 0,3 detik

➢ Rele Relay2

Merk	: AREVA
Tipe	: P141
FLA	: 1443 A
Isc min 30~ Bus GOLDSTAR	: 10,04 kA
Isc max 4~ Bus GOLDSTAR	: 11,59 kA
CT	: 2000/5

Pengaturan pada Diagram Satu Garis ETAP 12.6



Gambar 4.5 Nilai Isc min dan max Bus GOLD STAR

Pengaturan *Overcurrent*

Batas Waktu Arus Lebih :

$$1{,}05x\ FLA < Iset < 1{,}4x\ FLA$$

$$1{,}05x\ 1443 < Iset < 1{,}4x\ 1443$$

$$1515{,}54 < Iset < 2020{,}7$$

$$\frac{1515{,}54}{2000} < Tap < \frac{2020{,}7}{2000}$$

$$0{,}75 < Tap < 1{,}01$$

Dipilih Tap : 0,87

Time Dial
Jenis Kurva : *Standart Inverse*
Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$TD = \frac{Td \times \left(\left(\frac{Iscmax}{Ipp}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,5 \times \left(\left(\frac{11590}{1690}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

$$TD = 0,14$$

Dipilih TD : 0,14

Pengturan *Instantaneous*
Menentukan *Pickup*

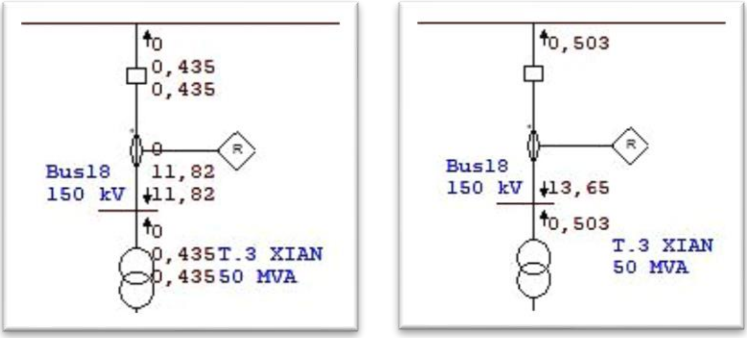
$$1,6x\ FLA < I_{»} < 0.8 \times Isc \min GOLDSTAR$$
$$1,6x\ 1443\ A < I_{»} < 0.8 \times 10040\ A$$
$$2309,4\ A < I_{»} < 8024\ A$$
$$\frac{2309,4\ A}{2000} < Tap < \frac{8024\ A}{2000}$$
$$1,15 < Tap < 4$$

Dipilih Tap : 1,3
Time Delay : 0,5 detik

➢ Rele Relay 1

Merk	: AREVA
Tipe	: P122
FLA	: 192,5 A
Isc min 30~ Bus 18	: 11,82 kA
Isc max 4~ Bus 18	: 13,65 kA
CT *ratio*	: 300/5

Pengaturan pada Diagram Satu Garis ETAP 12.6



Gambar 4.6 Nilai Isc min dan max Bus 18

Pengaturan *Overcurrent*

Batas Waktu Arus Lebih :

$$1{,}05x\ FLA < Iset < 1{,}4x\ FLA$$

$$1{,}05x\ 192{,}5 < Iset < 1{,}4x\ 192{,}5$$

$$202{,}07 < Iset < 269{,}43$$

$$\frac{202{,}07}{300} < Tap < \frac{269{,}43}{300}$$

$$0{,}67 < Tap < 0{,}89$$

Dipilih Tap : 0,77

Time Dial
Jenis Kurva : *Very Inverse*
Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$TD = \frac{Td \times \left(\left(\frac{Iscmax}{Ipp}\right)^{1} - 1\right)}{13,5}$$

$$TD = \frac{0,1 \times \left(\left(\frac{13650}{230,94}\right)^{1} - 1\right)}{13,5}$$

$$TD = 0,36$$

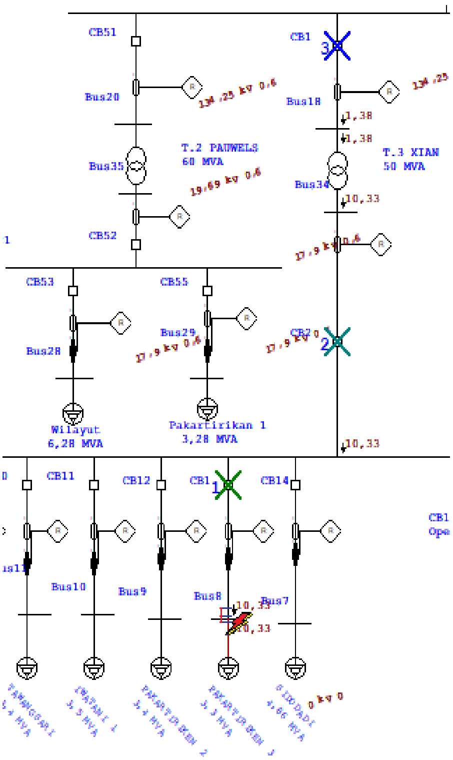
Dipilih TD : 0,4

Pengturan *Instantaneous*
Menentukan *Pickup*

$$1,6x\ FLA < I_{»} < 0.8 \times Isc \min Bus\ 18$$
$$1,6x\ 192,5\ A < I_{»} < 0.8 \times 11820\ A$$
$$307,92\ A < I_{»} < 9384\ A$$
$$\frac{307,92\ A}{300} < Tap < \frac{9384\ A}{300}$$
$$1,03 < Tap < 31,28$$

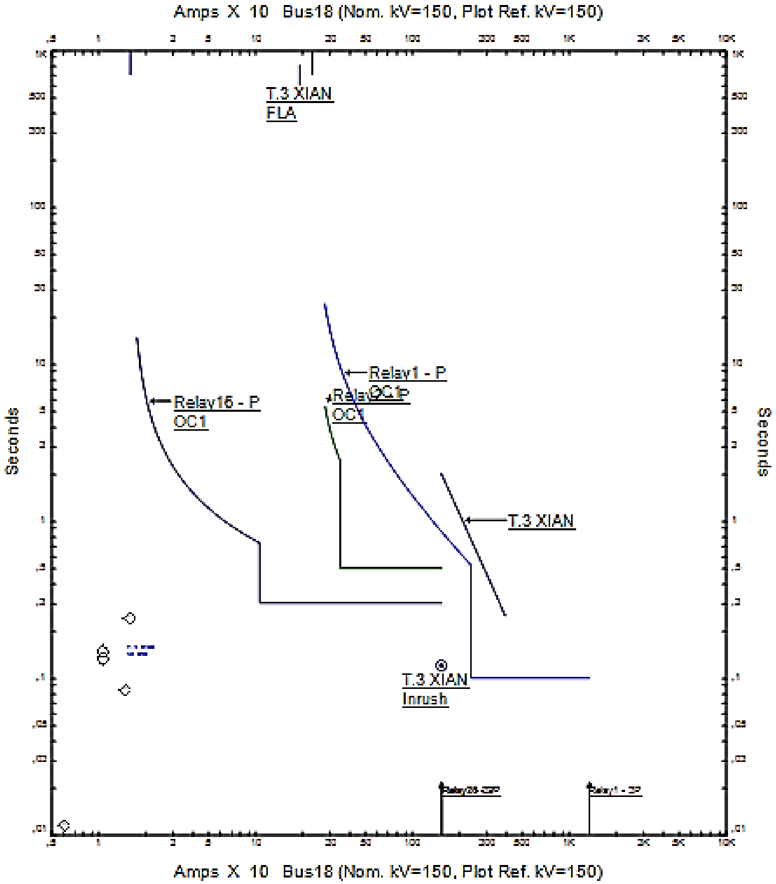
Dipilih Tap : 7,92
Time Delay : 0,1 detik

Dari hasil perhitungan manual dapat di plot lagi dengan *time current curve* untuk melihat apakah hasil pengaturan berdasarkan perhitungan manual berdasarkan standar IEEE242-2001 sudah benar yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.7 *Running* Data *Resetting* Menggunakan *Software* ETAP 12.6

Menggunakan *software* ETAP 12.6 disimulasikan sesuai dari hasil *resetting*, diberikan gangguan pada penyulang Pakartiriken 3 didapatkan respon bahwa urutan kerja rele berturut-turut yaitu *Relay16*, *Relay2*, *Relay1*.



Gambar 4.8 Kurva Pengaturan Ulang Fasa Tipikal 1

Pada kurva Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa saluran tersebut sudah terkoordinasi dengan baik. Rele antar pengaman mempunyai jeda waktu antar rele 0,2 detik dan adanya perubahan karakteristik kurva *inverse* pada *Relay1* agar tidak terjadi perpotongan kurva antara *Relay2* dan *Relay1*. Untuk *sequence viewer* dapat dilihat pada tabel 4.4 pada kondisi pengaturan ulang jika diberi gangguan pada saluran Pakartiriken 3.

Tabel 4.5 Hasil *Sequence Viewer* Pengaturan Ulang Tipikal 1 Setelah Dijalankan

Waktu (ms)	ID	Kondisi
300	Relay16	Fasa-OC1-50
365	CB13	Trip oleh Relay16 Fasa-OC1-50
500	Relay2	Fasa-OC1-50
555	CB2	Trip oleh Relay2 Fasa-OC1-50
979	Relay1	Fasa-OC1-51
1039	CB1	Trip oleh Relay1 Fasa-OC1-51

Dapat dilihat dari tabel 4.4, jika saluran Pakartiriken 3 diberi gangguan koordinasi rele antar pengaman mempunyai jeda waktu sesuai standar yang ada yaitu 0,2-0,3 detik. Hal ini juga diperlukan untuk meminimalisirkan adanya gangguan simpatetik.

4.5 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Rele arus lebih gangguan ke tanah digunakan untuk mengamankan jika terjadi hubungan singkat fasa ke tanah. Hubungan singkat ini sangat sering terjadi di dunia kelistrikan. Peralatan seperti trafo dan pembangkit sangat diperhatikan sistem pentanahannya. Dimana nilai NGR yang dipakai merupakan besar gangguan fasa ke tanah yang terjadi. Untuk wilayah jatim NGR yang dipakai sebesar 500 ohm dimana arus gangguan yang terjadi berkisar 23 ampere. Berikut merupakan peralatan yang digunakan beserta sistem pentanahannya yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.6 Pentanahan yang digunakan di Peralatan Gardu Induk Babadan

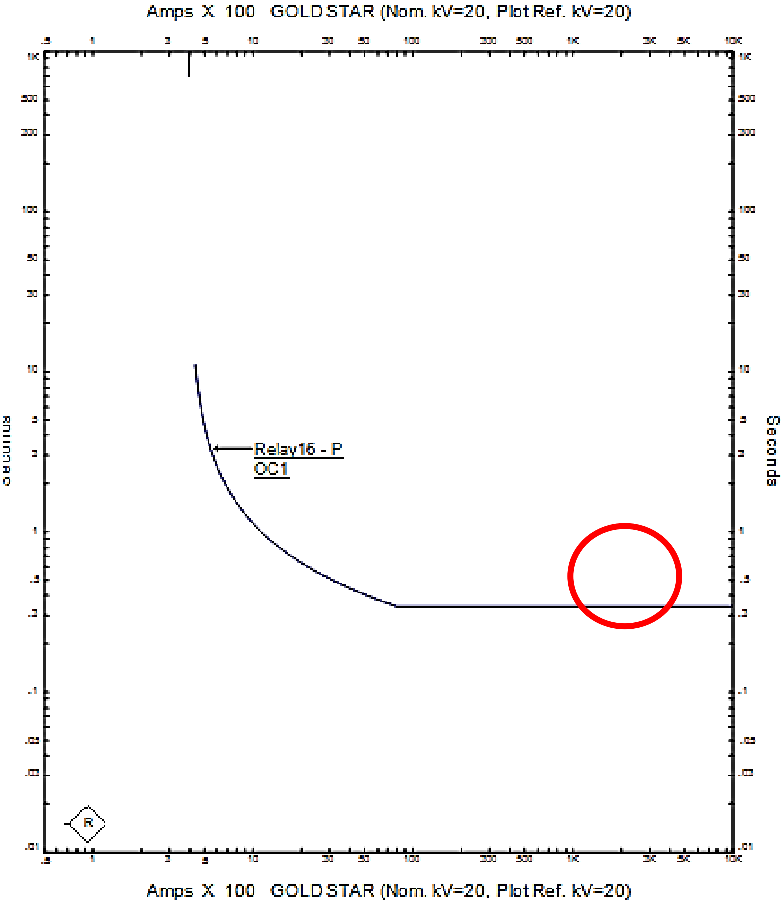
No.	ID Transformator	Jenis pentanahan
1	T.1 Alsthom	Y-NGR 23.09 A
2	T.2 Pauwels	Y-NGR 23.09 A
3	T.3 Xian	Y-NGR 23.09 A

4.5.1 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke TanahTipikal 1

Koordinasi arus lebih gangguan ke tanah tipikal 1 ini dipilih mulai saluran Pakartiriken 2 hingga sekunder trafo T.3 Xian. Yang dapat dilihat pada gambar 4.16

Dari data yang terdapat pada rele di-plot menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6. Untuk data pengaturan awal pada tipikal 1 dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.7

Dari hasil plot kurva pengaturan awal fasa tipikal 1 dapat kita lihat terjadi koordinasi pengaman yang kurang baik, karena ketika terjadi hubungan singkat ke tanah selisih waktu trip antar rele yaitu 0,02 detik sehingga sanggat rentan terjadinya rele yang lain ikut trip . Maka dari itu perlu adanya dilakukan pengaturan ulang untuk pengaman gangguan ke tanah pada Tipikal1 ini.



Gambar 4.9 Kurva Pengaturan Awal Gangguan ke Tanah Tipikal 1

Untuk melakukan pengaturan ulang pada tipikal 1 gangguan ke tanah harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

- **Rele Relay16**

Merk : AREVA
Tipe : P127
Isc L-G : 25 A
CT : 200/5

Pengaturan *Grounding*

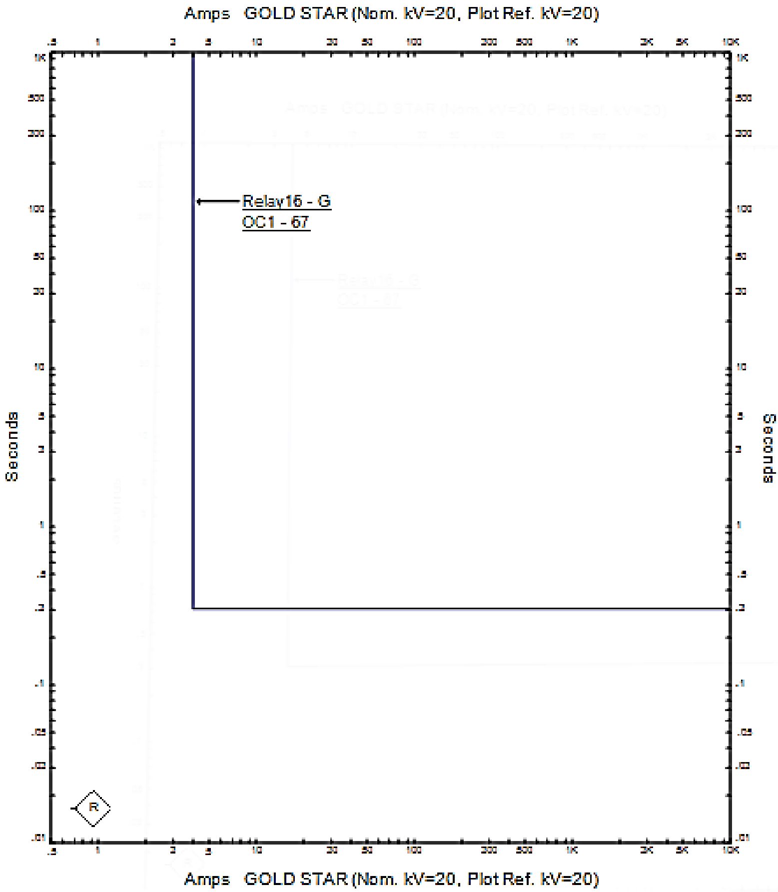
Menentukan *Instantaneous Pickup*

$$10\%\ IscL\text{-}G \leq Iset \leq 50\%\ IscL\text{-}G$$
$$10\%\ 25\ A \leq Iset \leq 50\%\ 25$$
$$2.5A \leq Iset \leq 12.5\ A$$
$$\frac{2.5}{200} \leq tap \leq \frac{12.5A}{200}$$
$$0.012 \leq tap \leq 0.062$$

Dipilih tap : 0,02
Time Delay : 0,3 detik

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, dapat ditampilkan kurva Arus Waktu untuk pengaturan ulang rele arus lebih gangguan fasa menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6 sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8.

Setelah dilakukan pengaturan ulang dari tipikal 1 dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.8 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah di pengaturan ulang, sehingga untuk koordinasi pengaman arus lebih gangguan ke tanah dapat terkoordinasi dengan baik, hal ini dapat dilihat setelah diuji melalui *sequence viewer* pada perangkat lunak ETAP 12.6. Untuk hasil operasi urutan rele dapat dilihat pada Tabel 4.6.



Gambar 4.10 Kurva Pengaturan Ulang Gangguan ke Tanah Tipikal 1

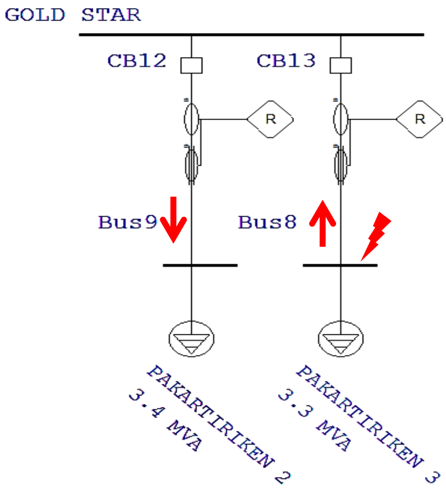
Dari tabel 4.6 Koordinasi antar rele pengaman sudah lebih baik. Dikarenakan waktu jeda antar rele berkisar 0,2 detik.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan pada Saluran Pakartiriken 3

Waktu (ms)	ID	Kondisi
300	Relay16	Ground-OC1-50-Forward
365	CB13	Trip oleh Relay16 Ground-OC1-50-Forward
500	Relay2	Ground-OC1-50
555	CB2	Trip oleh Relay2 Ground-OC1-50

4.6 Analisis Gangguan Simpatetik (*Sympathetic Trip)*

Berdasarkan kemungkinan yang ada untuk *Sympathetic Trip* dikarenakan DGR terjadi karena adanya kesalahan *setting* arah, kemungkinan *setting* arah pada Pakartiriken 3 *reverse bias*. Pada kondisi Hubungan singkat, arus menuju impedansi yang paling rendah. Karena adanya *setting* DGR kondisi *reverse bias*, otomatis DGR tidak bekerja. Karena adanya pantulan dari *blocking* arus, terjadi adanya aliran arus pada saluran Pakartiriken 3 menuju Pakartiriken 2 yang *setting* DGR dalam kondisi *forward bias*.



Gambar 4.11 Analisis Gangguan Simpatetik Akibat Pengaturan Arah DGR

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan analisis sebagaimana yang telah dijelaskan pada BAB IV maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Tipikal 1 telah dilakukan pengaturan ulang untuk mendapatkan urutan kerja rele yang benar yaitu relay16, relay2, relay1. untuk rele 1 nilai waktu tunda di pengaturan ulang menjadi 0,1 detik.
2. Pengaturan DGR dari kondisi *inverse* menjadi *definite,* hal ini untuk mempercepat kerja rele apabila terjadi gangguan sudut fasa ke tanah
3. Gangguan simpatetik pada Pakartiriken 3, pengaturan DGR diubah arahnya agar tidak terjadi gangguan simpatetik terhadap Pakartiriken 2.

5.2 Saran

Pada penelitian tugas akhir ini, sangat direkomendasikan untuk melihat jeda waktu antar rele. Karena berdasarkan judul penelitian ini yang mengulas masalah simpatetik trip jeda waktu antar rele merupakan kasus yang paling rawan pada sistem pengaman gangguan ke tanah. Dan dapat dilakukan koordinasi ulang ketika terjadi penggantian trafo maupun peralatan lain.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

[1] **Anupreyaa K. 2016.** *Relay Coordination for Distribution System.* India : St. Joseph's college of engineering, pp.1-4, 2016.

[2] **Calmara, Ekka Sheilla; Pujiantara, Margo; Sjamsjul, Anam. 2016.** *Koordinasi Pengaman Sebagai Upaya Pencegahan Terjadinya Sympathetic Trip di Kawasan Tursina, PT. Pupuk Kaltim.* Surabaya : Jurnal ITS Vol. 5, 2016.

[3] **IEEE Std 242-2001. 2001.** *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.* New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001.

[4] **Jones, Ray A. 2014.** *Safety Basic 93^TM Handbook for Electrical Safety Edition 2.* USA : Cooper Bussman, Inc, 2014.

[5] **Mitro Sihombing. 2012.** *Evaluasi Koordinasi Rele Pengaman Pada Penyulang Distribusi 20 kV Terhadap Kemungkinan Gangguan Sympathetic Tripping Sewaktu Gangguan Satu Fasa ke Tanah* . Medan : Jurusan Teknik Elektro Universitas Sumatra Utara, 2012.

[6] **Sarimun, Wahyudi. 2016.** *Pengaman Sistem Distribusi Tenaga Listrik.* Depok : s.n., 2016.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

RIWAYAT HIDUP

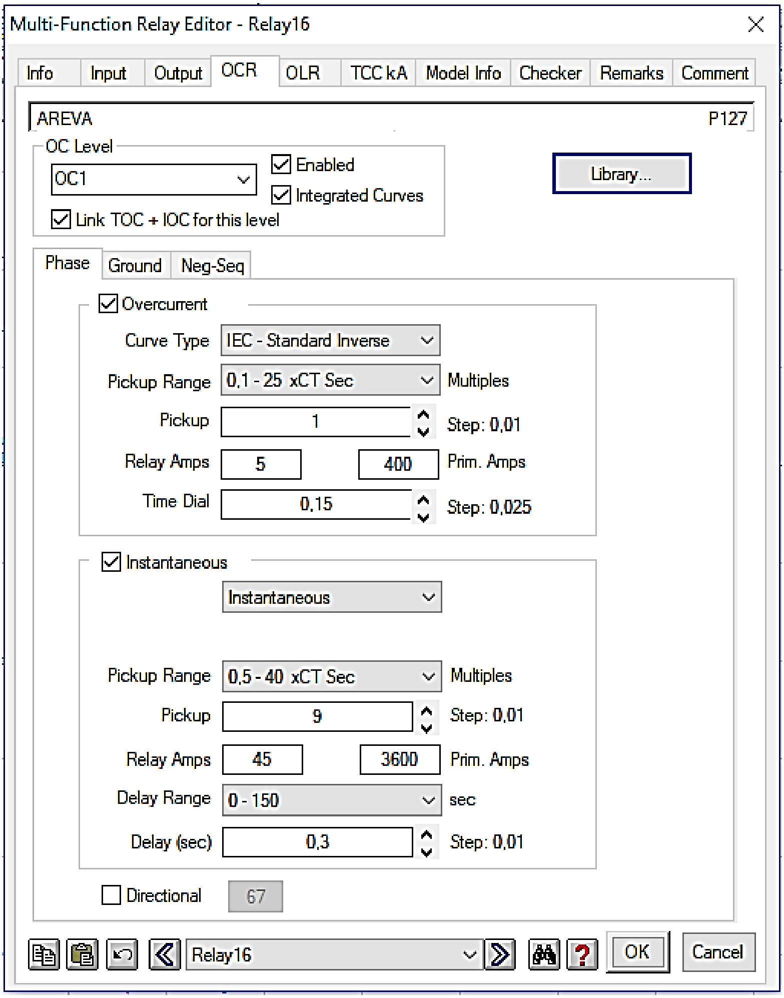
Evi Siska Safarina, Lahir pada tanggal 12 Juli 1994, di Malang Provinsi Jawa Timur. Penulis merupakan Anak ke 3 dari 3 bersaudara, dari pasangan bapak Siswaji dan Ibu Sunarti. Penulis pertama kali masuk pendidikan Formal di SDN Gondowangi 1 Wagir Malang pada tahun 2001 dan tamat pada tahun 2007. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 1 Wagir Malang dan tamat pada tahun 2010. Setelah tamat di SMP, penulis melanjutkan ke Madrasah Aliyah Negeri 3 Malang (MAN 3 Malang) dan tamat pada tahun 2013, kemudian melanjutkan pendidikan di Diploma 3 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS Surabaya) dan mengambil bidang studi komputer kontrol. Setelah lulus pada tahun 2016, di tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan program strata–1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS Surabaya) dengan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Pengalaman ketika menempuh pendidikan strata-1 penulis melaksanakan kerja praktek selama satu bulan di PT. PJB Unit Pembangkit Gresik bagian pemeliharaan, juga penulis mengikuti Program Magang Mahasiswa Bersertifikat Batch 1 dengan bidang okupasi Pemeliharaan Gardu Distribusi di PT. PLN (Persero) selama 6 bulan yang mendapat penempatan di PT. PLN Unit Layanan Pelanggan Porong Sidoarjo.

email : evi.safarina@gmail.com
phone/(wa) : 08563332903

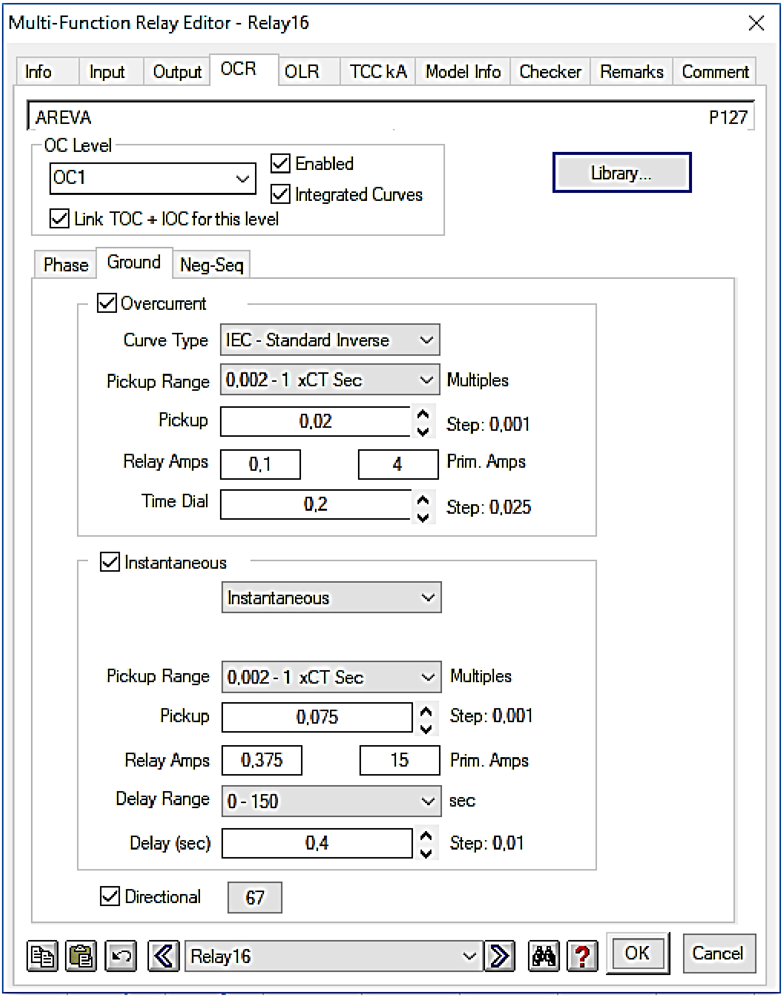
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

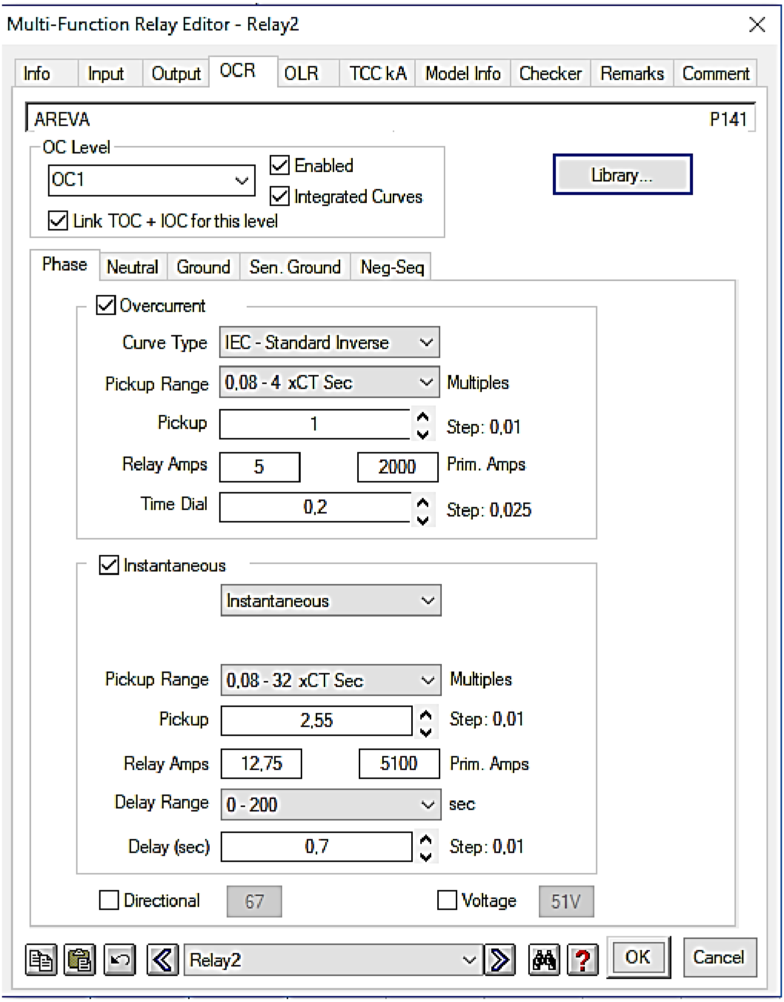
Data Pengaturan Awal *Relay16* Fasa



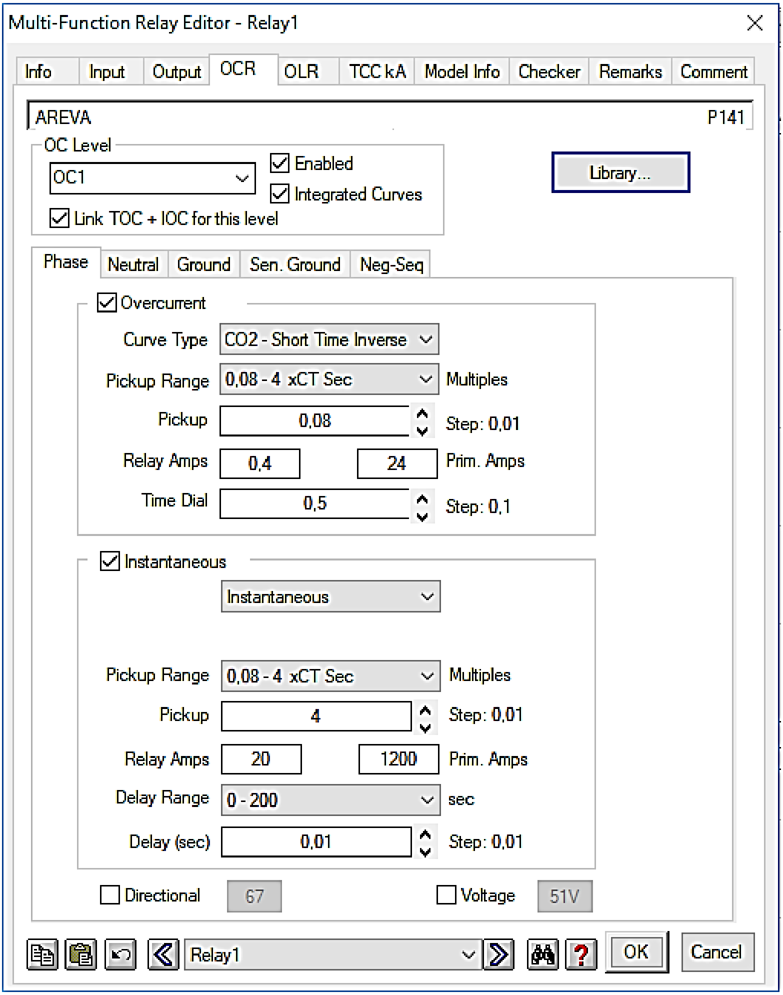
Data Pengaturan Awal *Relay16 Ground*



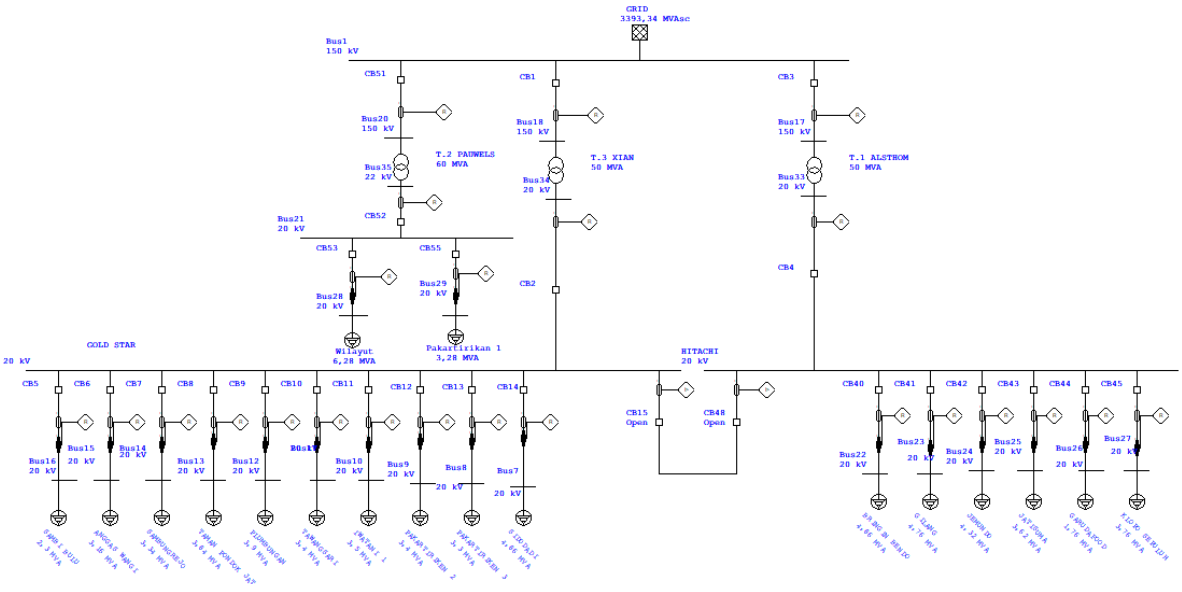
Data Pengaturan Awal *Relay2*



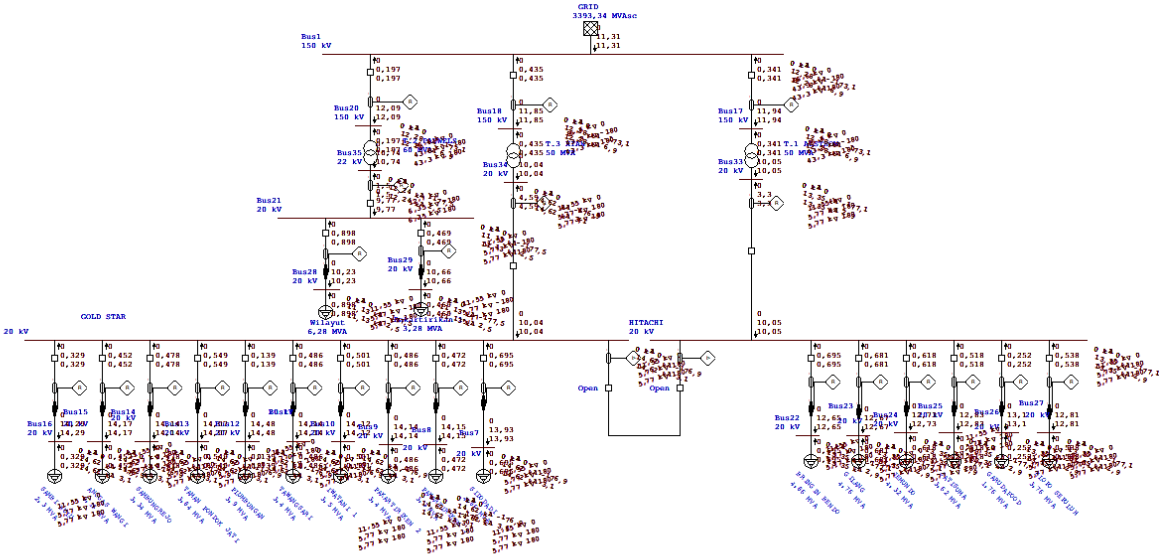
Data Pengaturan Awal *Relay1*



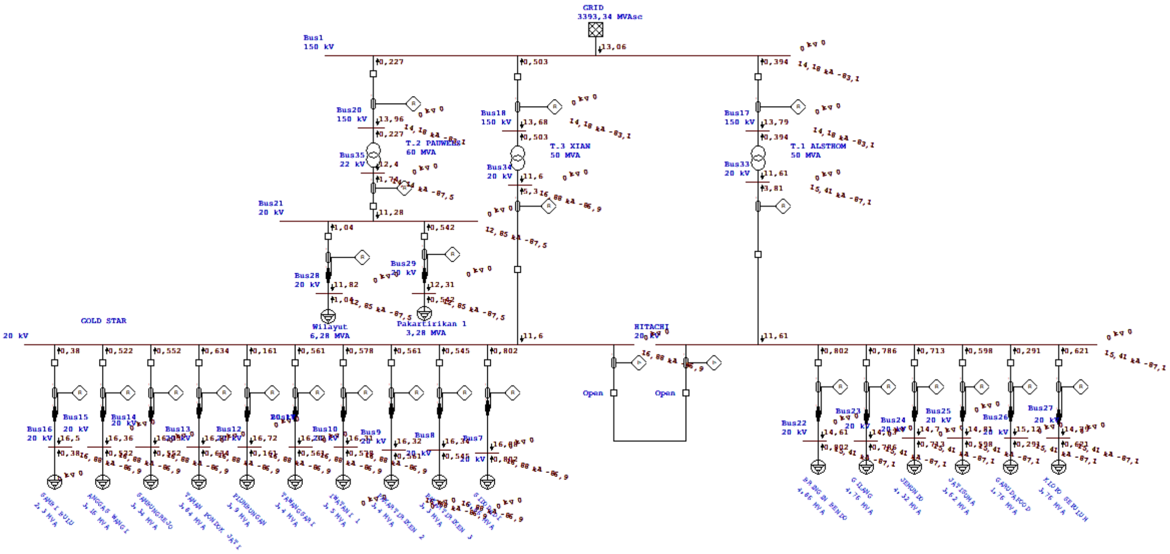
Single Line Diagram



Nilai Isc min



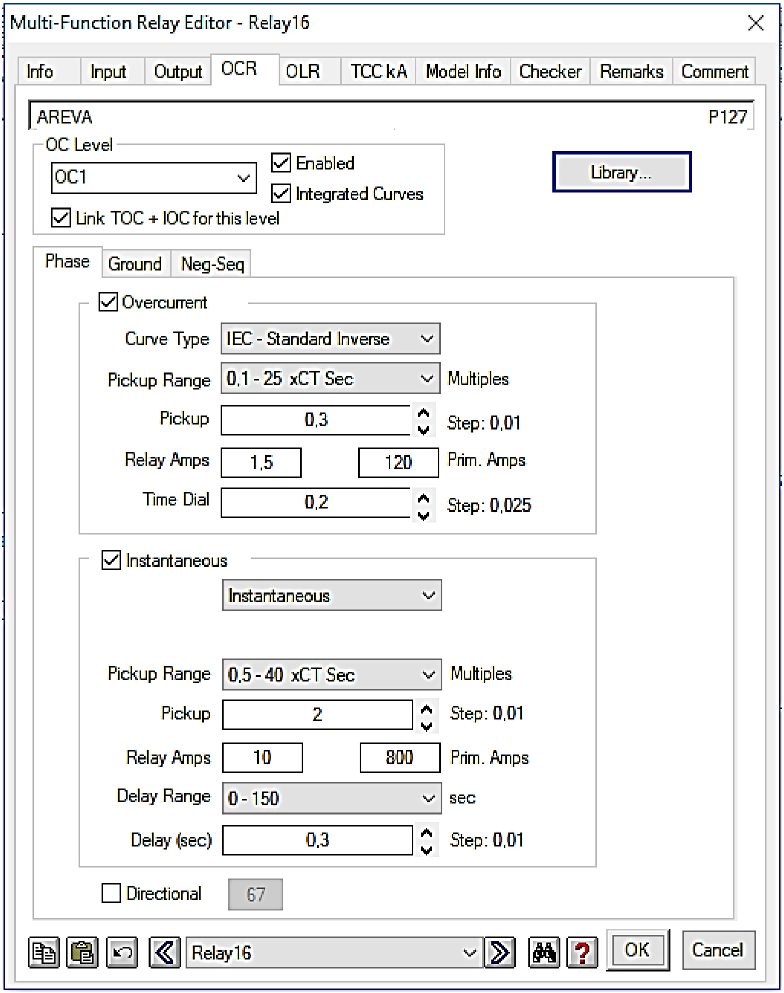
Nilai Isc max



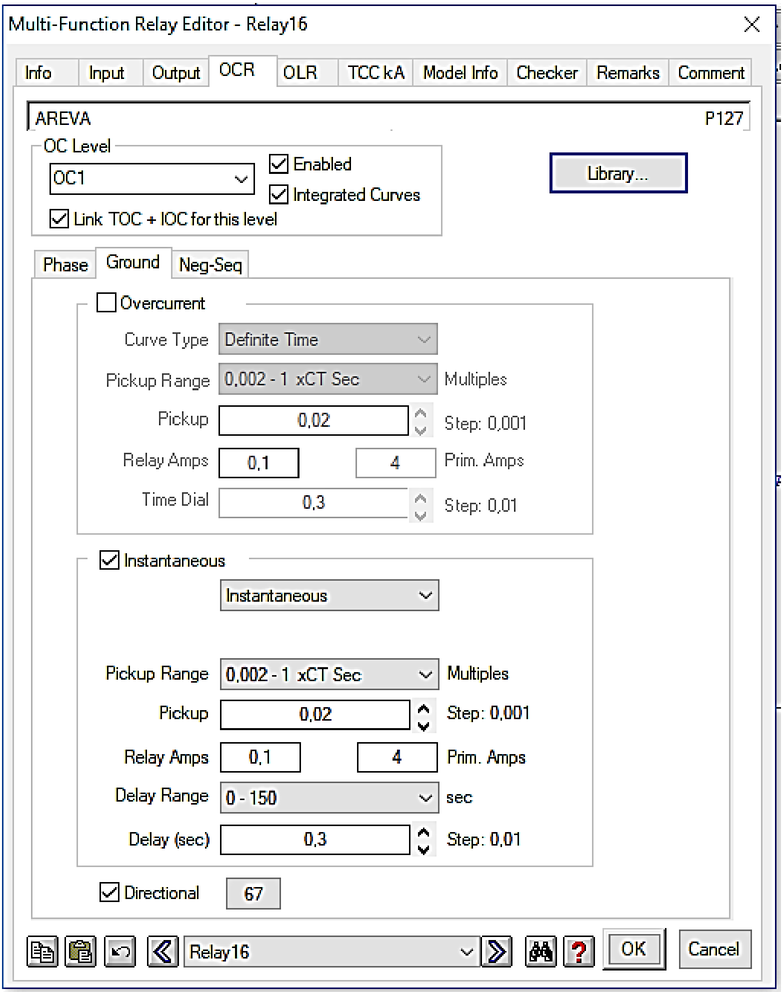
Setting Rele Koordinasi Proteksi

No	Panel	ID Relay	ID CB	ID Bus	kV	kVA	CT	FLA	Tap/pickup	1,05	Iset	1,4	Time Dial	Delay	1,6	I>>	Tap/pickup	0,8
1	Sambibulu	Relay8	CB5	Bus16	20	2300	800	66,40	0,10	69,72	79,67	92,95	0,24	0,3	106,23	2814,20	3,5	11432
2	Anggaswangi	Relay9	CB6	Bus15	20	3160	800	91,22	0,14	95,78	109,47	127,71	0,23	0,3	145,95	2800,48	3,5	11336
3	Sambung Rejo	Relay10	CB7	Bus14	20	3340	800	96,42	0,14	101,24	115,70	134,98	0,22	0,3	154,27	2796,65	3,5	11312
4	Pondokjati	Relay11	CB8	Bus13	20	3840	800	110,85	0,17	116,39	133,02	155,19	0,22	0,3	177,36	2788,62	3,5	11256
5	Plumbungan	Relay12	CB9	Bus12	20	3900	800	112,58	0,17	118,21	135,10	157,62	0,22	0,3	180,13	2869,30	3,6	11584
6	Tawang Sari	Relay13	CB10	Bus11	20	3400	800	98,15	0,15	103,06	117,78	137,41	0,22	0,3	157,04	2797,33	3,5	11312
7	Iwatani	Relay14	CB11	Bus10	20	3500	800	101,04	0,15	106,09	121,24	141,45	0,22	0,3	161,66	2794,55	3,5	11296
8	Pakartiriken 2	Relay15	CB12	Bus9	20	3400	800	98,15	0,15	103,06	117,78	137,41	0,22	0,3	157,04	2797,33	3,5	11312
9	Pakartiriken 3	Relay16	CB13	Bus8	20	3300	400	95,26	0,29	100,03	114,32	133,37	0,22	0,3	152,42	2798,15	7,0	11320
10	Sidodadi	Relay45	CB14	Bus7	20	4860	400	140,30	0,42	147,31	168,36	196,41	0,20	0,3	224,47	2772,80	6,9	11144
11	T.3 Xian	Relay1	CB1	Bus18	150	50000	300	192,45	0,77	202,07	230,94	269,43	0,43	0,1	307,92	2387,30	8,0	9480
12	T.3 Xian	Relay2	CB2		20	50000	2000	1443,38	0,87	1515,54	1732,05	2020,73	0,14	0,5	2309,40	2522,29	1,3	8032
13	T1 Alshtom	Relay5	CB3	Bus17	150	50000	300	192,45	0,77	202,07	230,94	269,43	0,33	0,1	307,92	2404,86	8,0	9552
14	T1 Alshtom	Relay4	CB4		20	50000	2000	1443,38	0,87	1515,54	1732,05	2020,73	0,14	0,5	2309,40	2524,24	1,3	8040
13	T2 Pauwels	Relay39	CB51	Bus20	150	60000	300	230,94	0,92	242,49	277,13	323,32	0,29	0,5	369,50	1115,72	3,7	9672
14	T2 Pauwels	Relay40	CB52		22	60000	2000	1574,59	0,94	1653,32	1889,51	2204,43	0,08	0,3	2519,35	2710,08	1,4	8592
15	Bringin Bendo	Relay30	CB40	Bus22	20	4860	400	140,30	0,42	147,31	168,36	196,41	0,20	0,3	224,47	2523,04	6,3	10120
16	Gilang	Relay31	CB41	Bus23	20	4760	400	137,41	0,41	144,28	164,89	192,37	0,20	0,3	219,85	2525,82	6,3	10136
17	Jemundo	Relay32	CB42	Bus24	20	4320	400	124,71	0,37	130,94	149,65	174,59	0,21	0,3	199,53	2532,57	6,3	10184
18	Jatisuma	Relay33	CB43	Bus25	20	3620	400	104,50	0,31	109,73	125,40	146,30	0,21	0,3	167,20	2544,20	6,4	10264
19	Garuda Food	Relay34	CB44	Bus26	20	1760	400	50,81	0,15	53,35	60,97	71,13	0,25	0,3	81,29	2575,92	6,4	10480
20	Kelopo Sepuluh	Relay35	CB45	Bus27	20	3760	400	108,54	0,33	113,97	130,25	151,96	0,21	0,3	173,67	2541,87	6,4	10248
21	Wilayut	Relay41	CB53	Bus28	20	6280	800	181,29	0,27	190,35	217,55	253,80	0,18	0,3	290,06	2824,69	3,5	8184
22	Pakartiriken1	Relay42	CB55	Bus29	20	3280	800	94,69	0,14	99,42	113,62	132,56	0,21	0,3	151,50	2116,95	2,6	8528

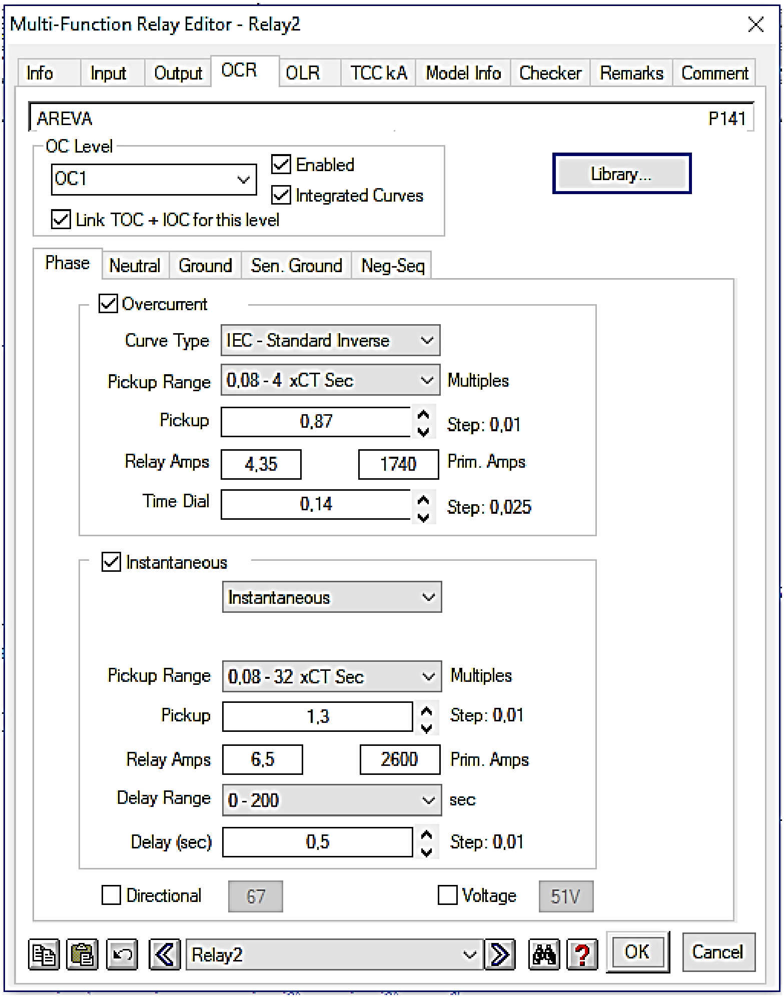
Data Pengaturan ulang *Relay16 F*asa



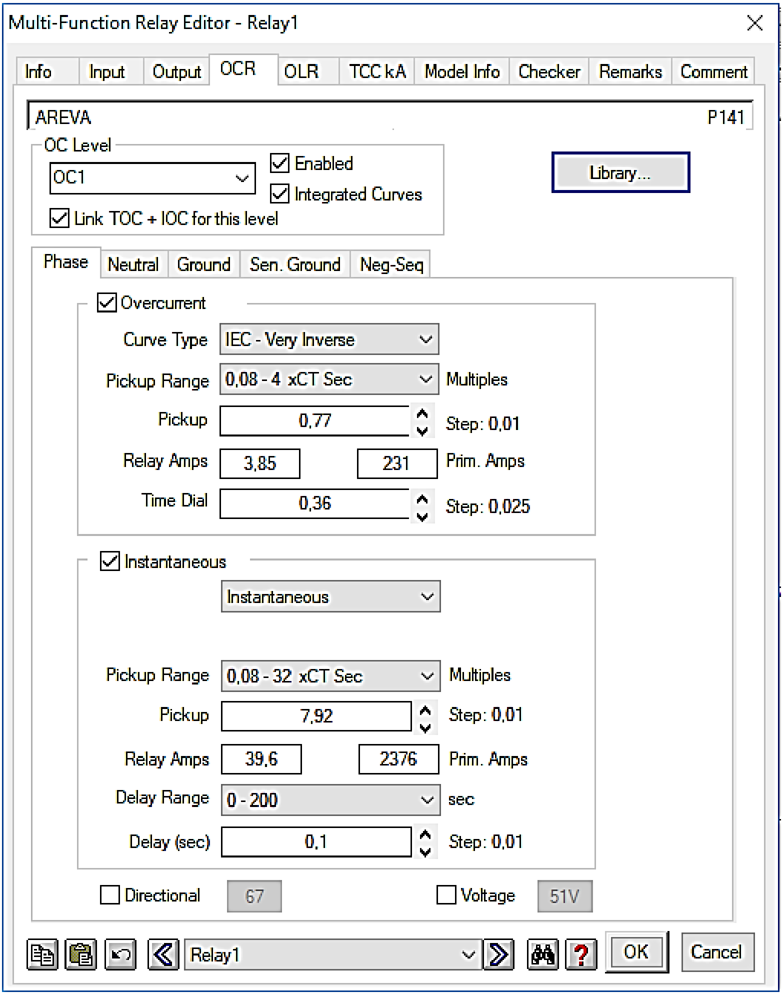
Data Pengaturan ulang *Relay16 Ground*



Data Pengaturan Ulang *Relay2*



Data Pengaturan ulang *Relay1*



INDEKS

A

analisis, 4, 5, 8, 18, 27, 34, 49
arus, ix, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 42, 43, 45, 47

B

busbar, 1

C

cycle, 27, 28, 29

D

daya, 9, 15, 16, 23, 24, 27
Definite inverse, 14
DGR, ix, 1, 2, 22, 47, 49
directional ground relay (DGR), 1
distribusi, 7

E

Eksisting, 32, 33, 34, 44, 55, 56, 57, 58
ETAP 12.6, ix, xi, 1, 2, 4, 27, 35, 37, 39, 43, 45
Extremely inverse, 14, 17

F

fasa ke fasa, 1, 14, 16
forward bias, 47
Fuse, 13

G

gangguan simpatetik, ix, 1, 4, 22, 31, 42, 47
Gardu Induk Babadan (Sidoarjo), ix, 1, 2, 4, 5, 23, 26, 27
grid, 23

H

high set, 30
hubung singkat, ix, 1, 2, 5, 7, 8, 13, 16, 18, 19, 20, 22, 27, 28, 29, 30, 42, 43, 47

I

Impedansi, 10, 11, 12, 20
Instantaneous, 18, 36, 38, 40, 45
Isc, 21, 22, 35, 37, 39, 45
isolasi, 7, 19

K

koordinasi, ix, 1, 2, 4, 5, 18, 27, 30, 33, 34, 42, 43, 45, 49
kurva, 17, 27, 33, 34, 41, 43, 45

L

low set, 30

N

Normal inverse, 14

O

OCR, 1, 2, 16, 19, 22
overcurrent relay (OCR), 1

P

Pakartiriken 2, 1, 24, 25, 28, 29, 31, 41, 43, 47, 49
Pakartiriken 3, 1, 2, 24, 25, 28, 29, 47, 49
Pemodelan, 2, 4, 27
pengaman, ix, 1, 4, 5, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 22, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 41, 42, 43, 45, 46, 49
penyulang, ix, 1, 2, 22, 23, 24
plot kurva, 2, 4, 32, 43
PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Gardu Induk Babadan (Sidoarjo), 5

R

radial, 23
rele, ix, 1, 2, 4, 5, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 41, 42, 43, 45, 46, 49
Resetting, 32, 41, 42, 46, 59, 60, 61, 62
reverse bias, 47

S

saluran, 7, 8, 9, 12, 30, 32, 34, 41, 42, 43, 47
satu fasa ke tanah, ix, 1, 8, 10, 22
sequence viewer, 34, 41, 45
setting, ix, xi, 1, 5, 13, 18, 20, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 30, 36, 38, 40, 45, 47, 49
short circuit, xi
simetri, 8
Simulasi, 4, 27, 47
Single Line Diagram, 24, 26, 31
suplai, 23
*sympathetic tri*p, ix, 1, 4, 22

T

tap, 20, 22, 45
time delay, 16, 29, 30, 34, 49
time dial, 20, 21
Tipikal, 30, 31, 33, 34, 41, 42, 44, 46, 49
Trafo Arus, 14
trip, xi, 1, 16, 22, 30, 34, 43, 49

U

Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3), 4

V

Very inverse, 14, 17