



TUGAS AKHIR - EE 184801

PERENCANAAN SISTEM PROTEKSI LISTRIK PADA SUBSTATION TURSINA TIMUR PT KALTIM DAYA MANDIRI (KDM)

MUHAMMAD NABIL AFIF

NRP 07111840000202

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

NIP 1966 03 18 1990 10 1001

Vita Lystianingrum, B.P S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 1982 08 29 2006 04 2001

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE 184801

PERENCANAAN SISTEM PROTEKSI LISTRIK PADA SUBSTATION TURSINA TIMUR PT KALTIM DAYA MANDIRI (KDM)

MUHAMMAD NABIL AFIF

NRP 07111840000202

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

NIP 1966 03 18 1990 10 1001

Vita Lystianingrum, B.P S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 1982 08 29 2006 04 2001

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - EE184801

Electrical Protection System Planning at Tursina Timur Substation PT. Kaltim Daya Mandiri

MUHAMMAD NABIL AFIF

NRP 07111840000202

Advisor

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M. T.

NIP 196603181990101001

Vita Lystianingrum, B.P S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 198208292006042001

Electrical Engineering undergraduate Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN SISTEM PROTEKSI LISTRIK PADA SUBSTATION TURSINA TIMUR PT. KALTIM DAYA MANDIRI

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar Sarjana Teknik pada

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **MUHAMMAD NABIL AFIF**

NRP. 07111840000202

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Vita Lystianingrum, B.P S.T., M.Sc., Ph.D.
3. Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
4. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
5. Ir. Sjamsjul Anam, MT.
6. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.

 Pembimbing

 Ko-pembimbing

 Penguji

 Penguji

 Penguji

 Penguji

SURABAYA

Juni, 2022

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

APPROVAL SHEET

**Electrical Protection System Planning at Tursina Timur Substation PT. Kaltim Daya
Mandiri (KDM)**

FINAL PROJECT PROPOSAL

Submitted to fulfill one of the requirements

for obtaining a degree bachelor at

Electrical Engineering Undergraduate Study Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **MUHAMMAD NABIL AFIF**

NRP. 07111840000202

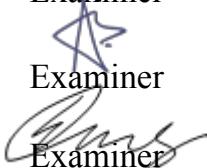
Approved by Final Project Proposal Examiner Team:

1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Vita Lystianingrum, B.P S.T., M.Sc., Ph.D.
3. Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
4. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
5. Ir. Sjamsjul Anam, MT.
6. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T.,M.T.


Advisor

Co-Advisor

Examiner

Examiner

Examiner

SURABAYA
June, 2022

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

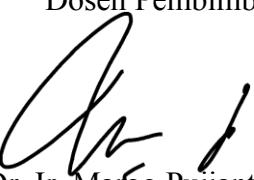
Nama mahasiswa / NRP : Muhammad Nabil Afif
Program studi : Teknik Sistem Tenaga
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. / 196603181990101001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Sistem Proteksi Listrik Pada Substation Tursina Timur PT Kaltim Daya Mandiri” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

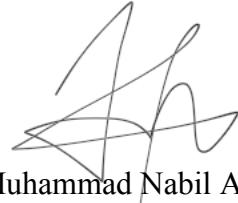
Surabaya, 10 Juni 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
NIP. 196603181990101001

Mahasiswa



Muhammad Nabil Afif
NRP.07111840000202

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

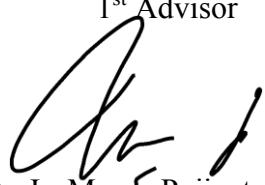
Name of student / NRP : Muhammad Nabil Afif / 07111840000202
Department : Electrical Engineering
1st Advisor / NIP : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. / 1966 03 18 1990 10 1001

hereby declare that the Final Project with the title of "**EVALUATION OF PROTECTION COORDINATOR SYSTEM BY CONSIDERING ARC FLASH ON EAST TURSINA SUBSTATION PT KALTIM DAYA MANDIRI (KDM)**" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 10 June 2022

Acknowledged
1st Advisor



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
NIP. 1966 03 18 1990 10 1001

Student



Muhammad Nabil Afif
NRP. 07111840000202

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

ABSTRAK

APERENCANAAN SISTEM PROTEKSI LISTRIK PADA SUBSTATION TURSINA TIMUR PT. KALTIM DAYA MANDIRI

Nama Mahasiswa / NRP : Muhammad Nabil Afif / 07111840000202
Departemen : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
Dosen Pembimbing : Vita Lystianingrum, N.P S.T., M. Sc., Ph. D.

Abstrak

PT. Kaltim Daya Mandiri merupakan anak perusahaan dari PT. Pupuk Indonesia Energi yang berdiri pada 14 september 1995. PT. Kaltim Daya Mandiri merupakan perusahaan penyedia ultilitas dan energi yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan suplai daya pada produksi dan perumahan di wilayah Kaltim Industri Estate (KIE). Terdapat rencana pengembangan pada daerah Tursina Timur dengan pembebanan sebesar 5 MW, maka diperlukan perencanaan sistem koordinasi proteksi yang matang dan baik untuk mengantisipasi kemungkinan kegagalan yang terjadi pada sistem kelistrikan tersebut.

Proteksi pada sistem kelistrikan memiliki tujuan mengurangi kerusakan dari peralatan akibat adanya gangguan. Proteksi yang terkoordinasi dengan baik dapat membatasi lama waktu terjadinya gangguan yang diakibatkan oleh kerusakan peralatan, kesalahan pengoperasian ataupun gangguan dari luar sistem. Sistem proteksi yg baik harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan, memiliki tingkat keandalan yang tinggi, dan memiliki sensitivitas yang baik agar peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan hingga nilai yang sekecil mungkin. Maka dalam sistem Proteksi ini akan melakukan *setting* rele arus lebih, dan ground fault yang sesuai dengan standard. Sehingga diharapkan koordinasi Proteksi pada substation tursina timur ini dalam batas aman dan dijadikan bahan pertimbangan oleh PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM).

Kata kunci: *PT. Kaltim Daya Mandiri, Gangguan Pada Sistem Kelistrikan, Sistem Proteksi, Rele Arus Lebih, Rele ground fault*

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

ABSTRACT

Electrical Protection System Planning at Tursina Timur Substation PT. Kaltim Daya Mandiri

Student Name / NRP	: Muhammad Nabil Afif / 07111840000202
Department	: Electrical Engineering FTEIC - ITS
Advisor	: Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
Advisor	: Vita Lystianingrum, N.P S.T ., M. Sc., Ph. D.

Abstract

PT. Kaltim Daya Mandiri is a subsidiary of PT. Pupuk Indonesia Energi which was established on September 14, 1995. PT. Kaltim Daya Mandiri is a utility and energy provider company that was established to meet the power supply needs for production and housing in the Kaltim Industrial Estate (KIE) area. There is a development plan in the East Tursina area with a loading of 5 MW, it is necessary to plan a careful and good protection coordination system to anticipate possible failures that occur in the electrical system.

Protection in the electrical system has the aim of reducing damage to equipment due to interference. Properly coordinated protection can limit the length of time the disturbance occurs due to equipment failure, operating error or interference from outside the system. A good protection system must work quickly and accurately to isolate interference, have a high level of reliability, and have good sensitivity so that the protection equipment can detect the occurrence of disturbances to the smallest possible value. So the protection system will set the overcurrent relay and ground fault according to the standard. So it is hoped that the coordination of protection on the Tursina Timur substation is within safe limits and is taken into consideration by PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM).

Keywords: *PT. Kaltim Daya Mandiri, System Protection, overcurrent relay, ground fault relay*

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Petunjuk dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul **“Perencanaan Sistem Proteksi Listrik Pada Substation Tursina Timur PT. KALTIM DAYA MANDIRI (KDM).”** Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada Program Studi S-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, tentunya tidak lepas dari dukungan dan bantuan banyak pihak yang telah banyak membimbing penulis. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih serta memberikan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiyantara, M.T. selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Vita Lystianingrum, B.P ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 yang selalu membimbing dan memberikan masukan dan arahan kepada penulis hingga tugas akhir ini selesai.
3. Almarhum Ayah saya semasa hidupnya memberi banyak pelajaran dan nasihat baik kepada saya
4. Ibu dan adik perempuan saya yang memberikan dukungan secara moral dan doa dan materil yang tak henti hentinya
5. Nada Nabila Khairunisa yang selalu memberi semangat dan doa
6. Teman-teman e58 yang telah berjuang bersama penulis sejak awal perkuliahan
7. Dan seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Penulis merasa telah berusaha maksimal dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan ingin mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran untuk perbaikan Tugas Akhir ini. Besar harapan Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2022



Muhammad Nabil Afif

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK...	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	1
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB 2KOORDINASI SISTEM PROTEKSI.....	3
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	3
2.2 Gangguan Pada Sistem Kelistrikan.....	3
2.3 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik	4
2.4 Rele Proteksi	5
2.4.1 Rele Proteksi Arus Lebih (Overcurrent Relay).....	5
2.5 Penyetelan Relay Overcurrent	8
2.5.1 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Inverse	8
2.5.2 <i>Setting</i> Rele Proteksi Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)	11
2.6 Koordinasi Rele Berdasarkan Interval Waktu	11
BAB 3METODOLOGI.....	13
3.1 Studi Literatur	13
3.2 Pengumpulan Data	13
3.2.1 Data pembangkitan dan Pembebanan Serta Sistem Distribusi PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM).....	13
3.2.2 Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)	15
3.2.3 Perencanaan pada Substation Tursina Timur	17
3.3 Simulasi Sistem Kelistrikan.....	17
3.4 Analisis Data Hasil Simulasi	17

3.5	Penulisan Buku Tugas Akhir	17
3.6	Urutan pelaksanaan penelitian	18
BAB 4Hasil dan Pembahasan	20	
4.1	Pemilihan Tipikal Koordinasi pada Substation Tursina Timur PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)	20
4.2	Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat.....	21
4.2.1	Arus Hubung Singkat Minimum.....	21
4.2.2	Arus Hubung Singkat Maksimum.....	23
4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	24
4.3.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	24
4.3.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	33
4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa pada tiap bus	38
4.4.1	Pada bus 0,4 kV	38
4.4.2	Pada Bus 11 kV.....	40
4.4.3	Pada Bus 20 kV.....	41
4.4.4	Pada Bus 30 KV	42
4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah	43
4.5.1	Setting Rele Arus Lebih Gangguan ke tanah pada terminal transformator shore connection 11kv	43
4.5.2	Setting Rele Arus Lebih Gangguan ke tanah pada Short Circuit L-G Gudang KCL 11 KV.....	46
4.5.3	Setting Rele Arus Lebih Gangguan ke tanah pada Short Circuit L-G 20 kV ...	48
BAB 5Kesimpulan dan Saran.....	51	
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53	
BIODATA PENULIS	55	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gangguan Simetri dan Asimetri	4
Gambar 2. 2 Cara Kerja Rele Proteksi	5
Gambar 2. 3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Invers [3].....	6
Gambar 2. 4 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	7
Gambar 2. 5 Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika (Instantaneous)	7
Gambar 2. 6 Kombinasi IDMT Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan.....	7
Gambar 2. 7 Daerah Pengaman Trafo	10
Gambar 3. 1 Single Line Diagram PT. Kaltim Daya Mandiri.....	16
Gambar 3. 2 Single Line Diagram Substation Tursina Timur.....	17
Gambar 3. 3 Diagram Alir Urutan Pelaksanaan Penelitian.....	18
Gambar 4. 1 Tipikal Koordinasi Rele Proteksi Gangguan Fasa pada Subsatation Tursina Timur	21
Gambar 4. 2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	24
Gambar 4. 3 Kurva TCC pada tipikal 1 saat terjadi gangguan	33
Gambar 4. 4 Kurva TCC pada tipikal 2 saat terjadi gangguan	38
Gambar 4. 5 Tipikal Line 0.4 kV	39
Gambar 4. 6 Kurva TCC Line 0.4 kV	39
Gambar 4. 7 Tipikal Line 11 kV	40
Gambar 4. 8 Kurva TCC Line 11 kV	41
Gambar 4. 9 Tipikal Line 20 kV	41
Gambar 4. 10 Kurva TCC Line 20 kV	42
Gambar 4. 11 Tipikal line 33KV	42
Gambar 4. 12 Kurva TCC Line 33 KV	43
Gambar 4. 13 TCC Ketika terjadi Short Circuit L-G pada Terminal Transformer Shore Connection (11 kV Side)	46
Gambar 4. 14 TCC ketika terjadi short circuit L-G di Gudang KCL 11 kV	48
Gambar 4. 15 TCC ketika terjadi short circuit L-G di 20 kV	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Kurva Rele Terbalik / Inverse standard IEC	9
Tabel 2. 2 CTI untuk Rele Elektromekanik dan Rele Statik	11
Tabel 3. 1 Kapasitas Pembangkitan Generator di PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM).....	13
Tabel 3. 2 Profil Pembebatan Substation di PT. Kaltim Dayam Mandiri (KDM)	14
Tabel 3. 3 Data Trafo di PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)	15
Tabel 3. 4 Data Beban di Substation Tursina Timur PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) .	15
Tabel 3. 5 Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle	21
Tabel 3. 6 Arus Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle	23
Tabel 3. 7 Arus Hubung Singkat Maksimum 1/2 Cycle	23

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Kaltim Daya Mandiri merupakan anak perusahaan dari PT. Pupuk Indonesia Energi berdiri pada 14 september 1995 yang berada di daerah Kalimantan Timur tepatnya pada wilayah Kaltim Industrial Estate (KIE). PT. Kaltim Daya Mandiri merupakan perusahaan penyedia utilitas dan energi yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan suplai daya listrik. Kebutuhan energi listrik di Indonesia setiap tahunnya meningkat hingga sebesar 3% seiring dengan meningkatnya populasi penduduk dan peningkatan aktivitas industri (RUPTL, 2017). Hal ini membuat PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) melakukan peningkatan kebutuhan listrik untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik, dalam melakukan pengembangan ini resiko gangguan pada sistem kelistrikan selalu ada dan manusia terus menyempurnakan atau merencanakan sistem kelistrikan yang minim gangguan.

Pada saat merencanakan suatu sistem terdapat gangguan yang menyebabkan tidak optimalnya kerja dari sistem kelistrikan dalam kondisi normal yang mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan yang berupa penurunan keandalan listrik, kerusakan pada peralatan, dan menyebabkan terjadi pemadaman total pada sistem kelistrikan. PT. Kaltim Daya Mandiri memiliki sistem kelistrikan yang terintegrasi menggunakan 5 pembangkit dengan daya mampu sebesar 130 MW untuk memenuhi kebutuhan pembebahan sebesar 83 MW dan terdapat rencana pengembangan pada daerah Tursina Timur dengan pembebahan sebesar 5 MW.

Dalam melakukan suatu perencanaan pengembangan, diperlukan suatu sistem proteksi yang harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan, selektif dalam mengisolasi gangguan, memiliki tingkat keandalan yang tinggi, serta memiliki sensitivitas yang baik sehingga peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan dengan nilai sekecil mungkin (Anderson et al., 1999). Maka dari itu, dalam pelaksanaannya dibutuhkan perencanaan sistem kelistrikan yang matang serta sistem pengamanan yang baik untuk mengantisipasi kemungkinan kegagalan yang mungkin terjadi pada sistem kelistrikan tersebut (Institute of Electrical and Electronics Engineers. et al., 2001).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan skema koordinasi proteksi di substation Tursina Timur
2. Bagaimana Koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah pada typical yang ditentukan di PT KDM dengan menggunakan nilai yang didapatkan dari perhitungan dan disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Simulasi serta analisa menggunakan software ETAP 12.6
2. Plant yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sistem kelistrikan PT. Kaltim Daya Mandiri di bagian Substation Tursina Timur.
3. Rele yang dianalisis pada koordinasi Proteksi tugas akhir ini adalah Over Current Relay (OCR) gangguan fasa dan gangguan ke tanah

1.4 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan dan mensimulasikan kerja sistem proteksi kelistrikan PT Kaltim Daya Mandiri (KDM) pada substation Tursina Timur
2. Menganalisis dan menentukan *setting* rele proteksi yang dibutuhkan pada koordinasi proteksi sistem eksisting PT Kaltim Daya Mandiri (KDM) pada substation Tursina Timur
3. Mendapatkan *setting* dari koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah yang tepat pada sistem kelistrikan Substation Tursina Timur

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat dipakai sebagai masukan bagi PT Kaltim Daya Mandiri dalam melakukan koordinasi proteksi arus lebih dan rele gangguan ketanah pada substation Tursina Timur
2. Dapat menjadi referensi mengenai Perencanaan sistem Proteksi Listrik bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir dengan permasalahan yang serupa.

BAB 2 KOORDINASI SISTEM PROTEKSI

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penulisan tugas akhir ini didasari dari sebuah penelitian terdahulu, mulai dari topik yang dibahas, jenis penelitian, teori penunjang, dan metode penelitian yang digunakan sebagai pembanding. Pertama yang diambil oleh penulis adalah berjudul “ Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih, Diferensial, dan Ground Fault pada PT. Linde Indonesia, Cilegon” pada Tahun 2015 lalu (Dewangga, 2015). Tugas akhir tersebut memiliki fokus masalah tentang *resetting* rele arus lebih, rele ground fault dan rele diferensial dikarenakan terdapat kesalahan dalam koordinasi Proteksi sebelumnya.

Kemudian tugas akhir ini juga mengambil dari penelitian terdahulu juga yang diambil oleh penulis berjudul “Evaluasi Koordinasi Proteksi Pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU II Dumai Akibat Integrasi Dengan Jaringan PT. PLN” (Pardede, 2016). Pada tugas akhir ini memiliki fokus tentang Integrasi dengan jaringan PT. PLN yang dimana harus melakukan lagi *setting* rele arus lebih dan gangguan fasa ke tanah serta dalam penggerjaannya sudah menggunakan ETAP 12.6.0.

Maka dari dua penelitian terdahulu penulis mengharapkan hasil yang optimal karena sesuai dengan keperluan dalam melakukan perencanaan sistem Proteksi listrik di substation tursina timur dalam batas yang aman dan dapat digunakan sebagai refensi untuk PT. Kaltim Daya Mandiri.

2.2 Gangguan Pada Sistem Kelistrikan

Gangguan pada sistem kelistrikan adalah sebuah keadaan tidak normal yang terjadi dalam sebuah sistem kelistrikan yang mengakibatkan sistem tidak bekerja dalam keadaan yang seharusnya. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan kedalam dua jenis yaitu gangguan permanen dan gangguan temporer. Gangguan permanen merupakan jenis gangguan yang dapat merusak peralatan pada sistem. Gangguan permanen dapat disebabkan oleh besarnya arus yang mengalir dalam rentang waktu yang singkat yang kemudian mengakibatkan kenaikan suhu. Kenaikan suhu ini memungkinkan untuk terjadi ledakan atau pelelehan peralatan. Gangguan temporer merupakan jenis gangguan yang masih dapat diatasi dengan mengisolasi peralatan yang terkena gangguan dari sistem sehingga jenis gangguan ini dapat dikatakan sebagai gangguan sementara. Gangguan temporer merupakan jenis gangguan yang lebih sering terjadi dibandingkan dengan gangguan permanen. Gangguan temporer dapat diatasi dengan mengisolasi bagian yang mengalami gangguan sehingga perlu adanya sistem koordinasi proteksi yang baik untuk mengatasinya(Gonen, 2013). Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan adalah gangguan arus lebih. Gangguan arus lebih dapat disebabkan oleh dua hal yaitu akibat beban lebih dan akibat hubung singkat.

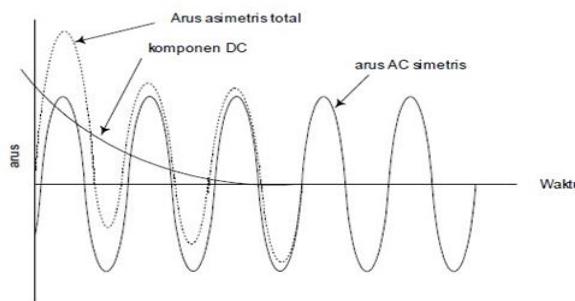
1. Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Gangguan beban lebih merupakan jenis gangguan ketika arus yang mengalir pada peralatan melebihi arus nominalnya sehingga dapat menyebabkan panas berlebih pada peralatan tersebut.

2. Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit)

Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti kerusakan isolasi peralatan akibat tegangan berlebih, kontaminasi pada isolasi yang dapat merusak isolasi ataupun gangguan mekanik yang dapat terjadi pada sistem. Gangguan hubung singkat menyebabkan nilai arus yang mengalir pada sistem menjadi sangat besar sehingga membahayakan peralatan. Nilai arus saat terjadi gangguan hubung singkat ditentukan oleh nilai tegangan internal dari mesin sinkron dan nilai impedansi peralatan pada sistem (Gonen, 2013).

Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu: gangguan hubung singkat simetri dan tidak simetri (asimetri). Gangguan asimetri merupakan gangguan yang dapat mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Sedangkan gangguan simetri merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan pada tiap fasa tetap seimbang setelah terjadi gangguan. Gangguan asimetri terdiri dari gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, dan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Sedangkan untuk gangguan simetri terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa, dan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah.



Gambar 2. 1 Gangguan Simetri dan Asimetri

Berdasarkan gelombang arus diatas, gangguan simetri memiliki gelombang arus yang seimbang diantara sumbu nol, contohnya yaitu gangguan hubungan singkat tiga fasa dan gangguan hubungan singkat tiga fasa ke tanah. Kemudian untuk gangguan asimetri memiliki gelombang arus yang tidak seimbang diantara sumbu nol, contohnya yaitu gangguan hubungan singkat fasa-fasa, fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah (Glover et al., 2012). Gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik yaitu gangguan asimetri.

2.3 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik

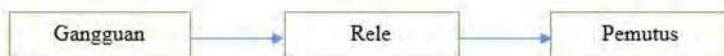
Kelistrikan dalam suatu sistem kelistrikan dalam dunia industri merupakan salah satu hal terpenting untuk menjaga kelangsungan proses produksi dan menjaga keamanan pekerja. Suatu sistem kelistrikan dikatakan stabil apabila memenuhi aspek keandalan dan kontinuitas, untuk mencapai aspek-aspek tersebut dibutuhkan suatu koordinasi proteksi yang dapat mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan pada aspek tersebut. Koordinasi proteksi dapat dilakukan dengan cara melakukan *setting* pada rele proteksi agar mengisolir arus gangguan dengan menggerakkan pemutus tenaga (Circuit Breaker) untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan mengejek arus daya agar tidak terputus.

Pemilihan rele proteksi juga memperhatikan beberapa aspek, yaitu: proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal (Institute of Electrical and Electronics Engineers. et al., 2001). Pada umumnya digunakan rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah untuk mengatasi gangguan yang terjadi di industri.

Koordinasi proteksi juga dibagi dalam beberapa area proteksi dengan peralatan yang tepat agar dapat mengatasi gangguan yang mungkin terjadi pada peralatan dan generator (Mozina, 2014). Koordinasi proteksi dapat diklasifikasikan menjadi dua zona, yaitu: zona primer dan zona backup. Zona primer merupakan sistem pengaman utama terhadap gangguan dan beroperasi pertama untuk mengisolasi gangguan. Zona primer umumnya didominasi oleh rele berkecepatan tinggi dengan waktu operasi 1 hingga 3 cycle. Jika sesaat setelah gangguan, arus gangguan masih mengalir, maka zona backup akan bekerja dengan melakukan trip circuit breaker terdekat dari zona primer.

2.4 Rele Proteksi

Rele Proteksi merupakan alat yang dapat menerima input (berupa nilai elektris, mekanis atau termal) dan setelah nilai input dibandingkan dengan kondisi yang telah ditetapkan dapat menyebabkan kontak pemutus dari circuit breaker dapat beroperasi sehingga dapat mempengaruhi sistem kelistrikan (Lewis Blackburn Bothell, 1997) . Untuk dapat bekerja dengan mengukur arus masukan, sebuah rele proteksi elektris dipasang trafo arus atau current transformer yang dalam hal ini berfungsi untuk pengukuran arus serta trafo tegangan atau potential transformer untuk pengukuran tegangan. Diagram blok urutan kerja rele proteksi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Cara Kerja Rele Proteksi

Secara umum fungsi rele proteksi adalah sebagai berikut:

- a. Membunyikan alarm, menutup rangkaian trip dari pemutus rangkaian untuk membebaskan peralatan dari gangguan
- b. Membebaskan bagian yang bekerja tidak normal
- c. Membebaskan dengan segera bagian yang terganggu
- d. Melokalisir akibat gangguan
- e. Memberikan petunjuk atas lokasi serta jenis gangguan.

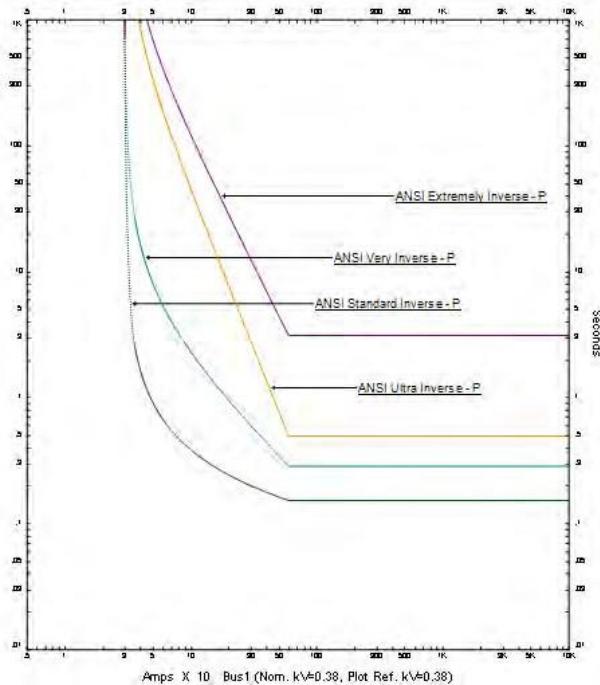
2.4.1 Rele Proteksi Arus Lebih (Overcurrent Relay)

Rele proteksi arus lebih merupakan rele yang dapat bekerja ketika nilai arus yang terbaca oleh rele telah melewati nilai arus yang diatur pada rele. Rele proteksi arus lebih dapat berupa rele dengan waktu *inverse* dan rele dengan waktu tertentu(Anderson et al., 1999). Merupakan salah satu jenis rele pengaman yang sering digunakan dalam proteksi sistem kelistrikan. Rele ini beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi nilai yang ditentukan dengan memberikan sinyal kepada pemutus untuk bekerja (Mozina, 2014).

Berdasarkan standar IEEE 242 mengenai koordinasi proteksi waktu kerja rele berkisar antara 0. – 0.4 detik untuk rele analog dan 0.2– 0.4 detik untuk rele digital. Hal ini bertujuan untuk memastikan zona backup dapat bekerja ketika zona primer gagal dan menghindari terjadinya trip secara bersamaan. Rele ini melindungi hampi semua bagian dalam sistem kelistrikn seperti jaringan distribusi dan peralatan listrik seperti transformator, generator, dan motor.

2.4.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Inverse

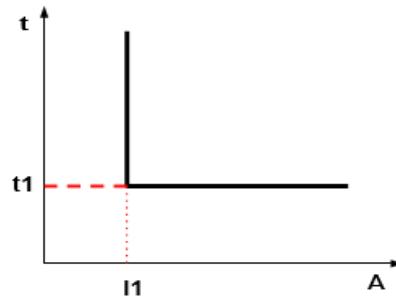
Rele arus lebih waktu inverse memiliki karakteristik yakni semakin besar nilai arus maka semakin cepat waktu operasi dari rele. Pada rele arus lebih waktu inverse terdapat beberapa jenis kurva yaitu long time inverse, standard inverse, short time inverse, very inverse dan extremely inverse. Pada rele arus lebih waktu inverse, parameter yang perlu diatur yaitu jenis kurva, nilai arus pickup dan Time Dial Setting (TDS). Nilai arus pickup merupakan nilai minimum rele untuk beroperasi sedangkan nilai TDS menunjukkan waktu operasi yang dibutuhkan oleh rele (Lewis Blackburn Bothell, 1997).



Gambar 2. 3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Invers [3]

2.4.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite Time)

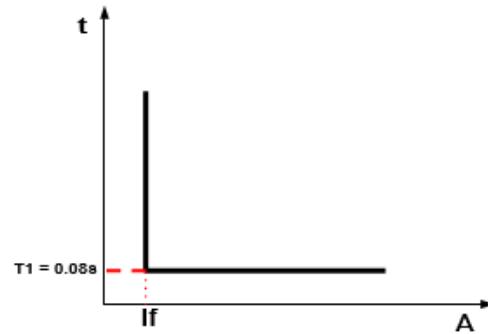
Rele arus lebih waktu tertentu merupakan jenis *relay* yang mempunyai karakteristik waktu tertentu yang di *setting* pada rele yang hanya berdasarkan waktu kerjanya rele tersebut, dan tidak melihat besarnya arus gangguan. Jadi semua level arus yang melebihi *pickup point* nya akan diputus pada waktu yang sama. Rele arus lebih waktu tertentu dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2. 4 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

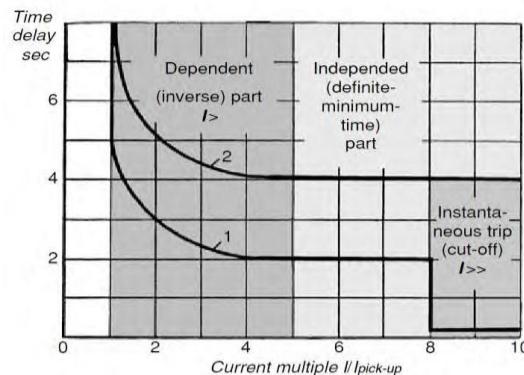
2.4.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (Instantaneous Time Overcurrent Relay)

Rele arus lebih seketika merupakan rele arus yang paling sederhana dimana waktu kerja rele saat rele mengalami pick up sampai selesai kerja rele itu sangat singkat, tanpa waktu penundaan. Rele ini jarang berdiri sendiri, tetapi pada umumnya dikombinasikan dengan rele dengan karakteristik lain.



Gambar 2. 5 Karakteristik Rele Arus Lebih Seketika (Instantaneous)

Rele ini bekerja berdasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat dan membuka pemutus tenaga dalam waktu yang sangat cepat sekitar 80 ms. **Gambar 2.9** dibawah merupakan contoh kombinasi rele waktu seketika dengan IDMT.



Gambar 2. 6 Kombinasi IDMT Dengan Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.5 Penyetelan Relay Overcurrent

Penyetelan rele arus lebih didasari pada hasil dari studi aliran daya dimana studi aliran daya merupakan tulang punggung untuk melakukan perencanaan, pengoperasian, penjadwalan yang ekonomis, dan perpindahan daya antar peralatan pada suatu analisis dan desain sistem tenaga (Saadat, 1999). Rele arus lebih adalah rele yang tidak akan bekerja pada saat beban maksimum, sehingga arus beban maksimum harus lebih kecil dari *setting* arus pada rele arus lebih. Rele arus lebih memiliki dua macam *setting*, yaitu: penyetelan time dial dan penyetelan arus pick up sekunder maupun arus pick up primer (Singh et al., 2012). Pemilihan tap ditentukan oleh besarnya arus pickup pada penyetelan rele arus lebih. Nilai tap dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$Tap = \frac{Iset}{Primer\ CT} \quad (2.1)$$

Nilai Iset adalah nilai arus pickup dalam satuan Ampere. Menurut standar British BS-142, batas penyetelan rele arus lebih berkisar antara 1.05 - 1.3 Iset.

2.5.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Rele arus lebih waktu inverse memiliki karakteristik yakni semakin besar nilai arus maka semakin cepat waktu operasi dari rele 51. Pada rele arus lebih waktu inverse terdapat beberapa jenis kurva yaitu *long time inverse*, *standard inverse*, *short time inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Pada rele arus lebih waktu *inverse*, parameter yang perlu diatur yaitu jenis kurva, nilai arus pickup dan *Time Dial Setting* (TDS). Nilai arus pickup merupakan nilai minimum rele untuk beroperasi sedangkan nilai TDS menunjukkan waktu operasi yang dibutuhkan oleh rele (Lewis Blackburn Bothell, 1997). Berdasarkan British Standard BS 142, nilai arus pickup dapat ditentukan dari:

$$1,05\ FLA \leq Iset \leq 1,4\ FLA \quad (2.2)$$

Keterangan :

FLA = Arus beban penuh (Full Load Ampere)

Iset = Arus Pick up

Pengaturan arus *pickup* pada rele ditentukan berdasarkan pemilihan *tap* yang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Tap = \frac{Iset}{Primer\ CT} \quad (2.3)$$

atau

$$Tap = \frac{Iset \times Sekunder\ CT}{Primer\ CT} \quad (2.4)$$

Keterangan

Iset : arus *pickup* rele (Ampere)

Primer CT : rasio belitan primer transformator arus

Sekunder CT : rasio belitan sekunder transformator arus

Kemudian untuk pengaturan waktu kerja (*time-dial*) berfungsi untuk menentukan waktu operasi rele, jika nilai time dial semakin kecil maka rele akan bekerja semakin cepat . Berikut ini persamaan untuk menentukan pengaturan *time-dial* (Sepam 80, 2021).

$$top = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.5)$$

Keterangan

top : waktu operasi rele (detik)

TDS : *Time Dial Setting*

I : arus gangguan yang mengalir melalui rele (Ampere)

Iset : arus *pickup* rele (Ampere)

k, α , β : koefisien kurva inverse

Tabel 2. 1 Koefisien Kurva Rele Terbalik / Inverse standard IEC

Jenis Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
<i>Long Time Inverse</i>	120	1	13,33
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0,808
<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5	1

2.5.1.1 *Setting Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite Time)*

Karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu adalah rele dapat bekerja sesuai dengan waktu yang telah ditentukan berapapun nilai arusnya. Pada rele arus lebih waktu tertentu, parameter yang perlu diatur yaitu nilai arus *pickup* dan *time delay*. Berdasarkan *British Standard 142*, nilai arus *pickup* dapat ditentukan dari:

$$1,6 FLA \leq Iset \leq 0,8 I_{SC \min} \quad (2.6)$$

Keterangan:

FLA = Arus beban penuh (*Full Load Ampere*)

Iset = Arus *pickup*

Iscmin = Arus hubung singkat minimum

Nilai arus hubung singkat minimum dapat dicari dengan menghitung arus hubung singkat antar fasa pada 30 *cycle*. Nilai arus pickup yang telah didapat lalu dibagi dengan belitan primer dari CT untuk menentukan tap.

2.5.1.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu Seketika (Instantaneous Time Overcurrent Relay)

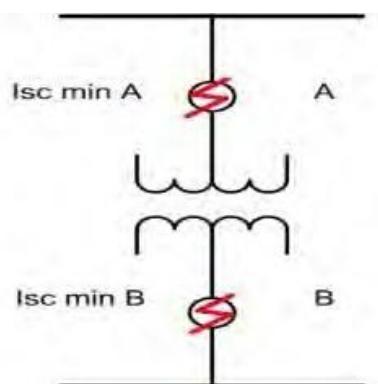
Pengaturan rele arus lebih waktu instan bekerja ketika arus gangguan pada Current Transformer (CT) melewati batas yang diizinkan oleh arus pick up. Dalam penentuan arus pickup dibutuhkan nilai arus hubung singkat minimum ($I_{sc min}$), yaitu arus hubung singkat dua fasa pada waktu 30 cycle pada pembangkitan minimum. Nilai $I_{sc min}$ dapat dicari dengan cara persamaan berikut :

$$I_{scmin} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \times I_{scmax} \quad (2.7)$$

Nilai I_{sc} maksimum ($I_{sc max}$) didapatkan dari nilai arus hubungan singkat maksimum 3 fasa. Kemudian, setelah didapatkan nilai $I_{sc min}$ maka pengaturan rele arus lebih instan ditetapkan sebagai berikut :

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{scmin} \quad (2.8)$$

Pada sistem kelistrikan yang terdapat trafo diantara penyulang, maka pengaturan yang dilakukan harus memperhatikan koordinasi pengaman berdasarkan daerah low voltage dan *high voltage*. Dua daerah tersebut ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 2.7 Daerah Pengaman Trafo

Persamaan untuk pengaturan arus *pickup* rele arus lebih instan pada tipe koordinasi diatas adalah sebagai berikut :

$$I_{scmax} bus B \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{scmin} bus A \quad (2.9)$$

Keterangan

$I_{sc max}$ bus B : arus hubung singkat tiga phasa maksimum pada titik B (Ampere)

$I_{sc min}$ A : arus hubung singkat minimum pada titik A (Ampere)

2.5.2 Setting Rele Proteksi Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)

Gangguan satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang paling sering terjadi di sistem kelistrikan. Gangguan satu fasa ke tanah dapat dideteksi menggunakan rele yang berbeda dibandingkan dengan saat gangguan fasa lainnya. Rele yang dapat dipakai untuk gangguan satu fasa ke tanah adalah rele proteksi gangguan tanah (Anderson et al., 1999). Pada rele arus lebih gangguan tanah, parameter yang perlu diatur yaitu nilai arus pickup dan time delay. Perhitungan nilai arus pickup dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$5 - 10\% \times ISC L - G \leq Iset \leq 50 \% ISC L - G \quad (2. 10)$$

Keterangan:

$Isc L-G$ = Arus hubung singkat satu fasa ke tanah

$Iset$ = Arus Pickup

Jika pada suatu sistem kelistrikan menggunakan *Neutral Grounding Resistor* (NGR), maka arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat diasumsikan menjadi arus maksimum NGR. Oleh karena itu, perhitungan nilai arus *pickup* pada sistem yang menggunakan NGR dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$5 - 10\% \times INGR \leq Iset \leq 50 \% INGR \quad (2. 11)$$

Keterangan:

$INGR$ = Arus maksimum dari NGR

$Iset$ = Arus *pickup*

2.6 Koordinasi Rele Berdasarkan Interval Waktu

Rele dikatakan memiliki keandalan yang baik ketika rele tersebut memiliki *backup*. Saat rele utama gagal berfungsi maka masih ada rele yang berfungsi sebagai *backup*. Jarak waktu antara rele utama dengan rele *backup* perlu mempertimbangkan *Coordination Time Interval* (CTI). Berdasarkan IEEE Std. 242-2001, nilai CTI minimum yang direkomendasikan untuk rele elektromekanik dan rele statik dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 CTI untuk Rele Elektromekanik dan Rele Statik

Komponen	Waktu (Detik)	
	Elektromekanik	Statik
Waktu <i>Circuit Breaker</i> membuka	0,08	0,08
<i>Overtravel</i> pada rele	0,1	0
Toleransi rele dan <i>error setting</i>	0,12	0,12
Total CTI	0,3	0,2

Interval waktu ini sangat berguna untuk digunakan sebagai pertimbangan dalam koordinasi antar rele. Pada rele pengaman yang sudah berbasis *microprocessor*, waktu *overtravel relay* dapat diabaikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa CTI minimum antara rele utama dan rele *back up* yaitu 0,2-0,4 s

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Studi Literatur

Melakukan studi literatur dengan mengumpulkan serta mempelajari referensi buku, diktat, paper dan jurnal yang berhubungan dengan evaluasi koordinasi proteksi sebagai teori penunjang dalam mengetahui permasalahan yang ada pada sistem kelistrikan PT Kaltim Daya Mandiri (KDM) dan memahami gambaran besar mengenai analisis busur api, perhitungan arus gangguanClick or tap here to enter text. yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

3.2 Pengumpulan Data

Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk tugas akhir yang diajukan. Data-data yang diperlukan antara lain :

3.2.1 Data pembangkitan dan Pembebanan Serta Sistem Distribusi PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)

PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) merupakan perusahaan penyedia utilitas dan energi untuk memenuhi kebutuhan suplai daya pada fasilitas produksi dan perumahan PT. Pupuk Kaltim serta perusahaan yang berada pada wilayah Kaltim Industrial Estate (KIE). Pada saat ini, PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) memiliki sistem kelistrikan dengan konfigurasi sistem closed loop dengan 3 level tegangan yang berbeda yakni 33 kV, 11kV, dan 6.6 kV. PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) memiliki enam sumber utama dengan spesifikasi kapasitas pembangkitan enam generator sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Kapasitas Pembangkitan Generator di PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)

No	Island	ID	Type	Available Power (MW)
1	Kaltim 2	GTG K-2	Gas Turbine	28
2	Kaltim 3	GTG K-3	Gas Turbine	26
3	Kaltim 4	GTG K-4	Gas Turbine	20
4	KDM	Alsthom KDM	Gas Turbine	26
5	Kanibungan	STG K5	Steam Turbine	30
6	Tanjung harapan	STG2 K5	Steam Turbine	30
Total				160

Dengan demikian, secara teoritis kapasitas maksimum suplai listrik yang tersedia mencapai 160 MW (setara 200 MVA, 0.8 PF). Secara sederhana sistem operasi eksisting pada kilang Kaltim Daya Mandiri dapat ditinjau pada single line diagram (SLD) yang ditunjukkan pada Gambar 1. Keenam generator tersebut terhubung melalui sistem dengan tegangan 11 kV yang kemudian di step up untuk proses sinkron pada bus 33 kV. Dalam keadaan normal pola operasi normal yang digunakan adalah 4 buah GTG dan 2 STG running secara bersamaan. Sehingga total suplai listrik yang mampu di suplai oleh keenam pembangkit ini sesuai dengan kapasitas yang tersedia. Sistem operasi pada pembangkit dilakukan dengan pembagian beban secara merata sesuai dengan kebutuhan tiap island

Tabel 3. 2 Profil Pembebanan Substation di PT. Kaltim Dayam Mandiri (KDM)

ID	Nominal kV	Voltage (%)	MW Flow	MVAR Flow	Amp Flow	% Loading
00-SG-01	33	95,7	12,518	9,419	286,4	22,9
00-SG-02	33	95,7	8,959	6,038	197,5	15,8
00-SG-3	33	95,68	2,702	2,428	66,42	5,3
00-SG-03	33	95,7	14,431	9,025	311,2	24,9
00-SG-04	33	95,7	9,358	5,506	198,5	15,9
00-SG-05	33	95,7	26,37	16,574	569,4	45,6
00-SG-101	11	100,62	18,3	11,341	1123	56,1
03-SG-101	11	100,96	10,1	6,259	617,8	24,7
52-SG-101	11	100,61	20,5	12,705	1258	62,9
KALTIM 1 B	6,6	98,18	6,169	3,187	618,7	38,7
KALTIM 1A	6,6	96,29	6,158	3	634	39,6
KDM 11 KV	11	100	23,704	15,938	1499	75
SG-00-K5	11	97,28	15,1	10,067	979,1	49
SS4 RING COS	11	100,5	2,87	1,484	168,8	13,5
SWGR-1	11	99,93	22,84	14,155	1411	70,6
TH-SG-01	33	100	8,856	5,972	187,4	15
TT-SG-01	11	96,77	3,966	2,556	255,9	20,5
TU-SG-02	20	99,02	4,107	2,767	144,4	12
TUS-SG_01	33	95,42	26,316	16,706	571,5	0

Tabel 3. 3 Data Trafo di PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)

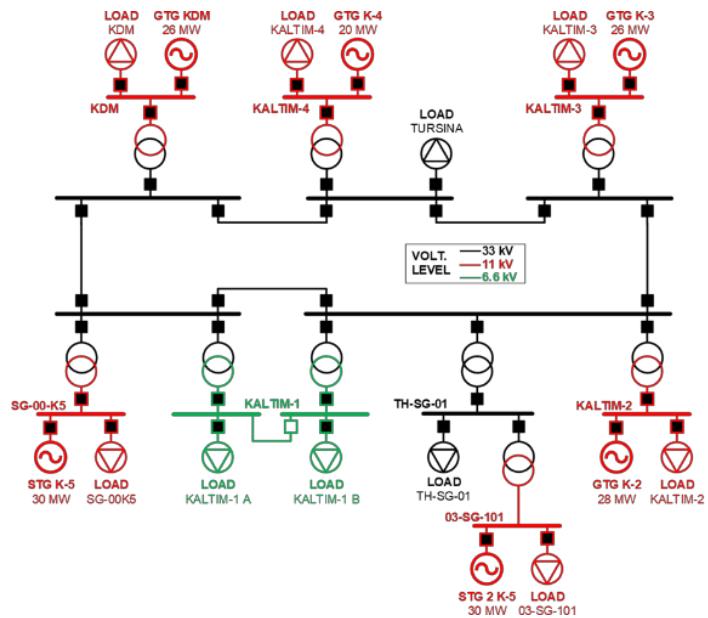
Trafo ID	MVA	Tegangan (kV)		%Z	X/R
		Primer	Sekunder		
TU-TR-03	15	33	20	8,35	14,23
T1	7,5	20	11	8,35	13
TR-01	0,8	11	0,4	5	3,5
TR-02	0,8	11	0,4	5	3,5

Tabel 3. 4 Data Beban di Substation Tursina Timur PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)

ID Beban	Rating Tegangan (kV)	Rating (kVA)	Kapasitas (KW)
Gudang KCL	11	4108	1728
<i>Green Port</i>	11	1770	744
<i>Lighting Trafo</i>	11	200	84.113
<i>SHORE 1.1</i>	0,4	250	96.096
<i>SHORE 1.2</i>	0,4	250	96.096
<i>LV Utility</i>	0,4	100	38.438
<i>SHORE 2.1</i>	0,4	250	96.148
<i>SHORE 2.2</i>	0,4	250	96.148

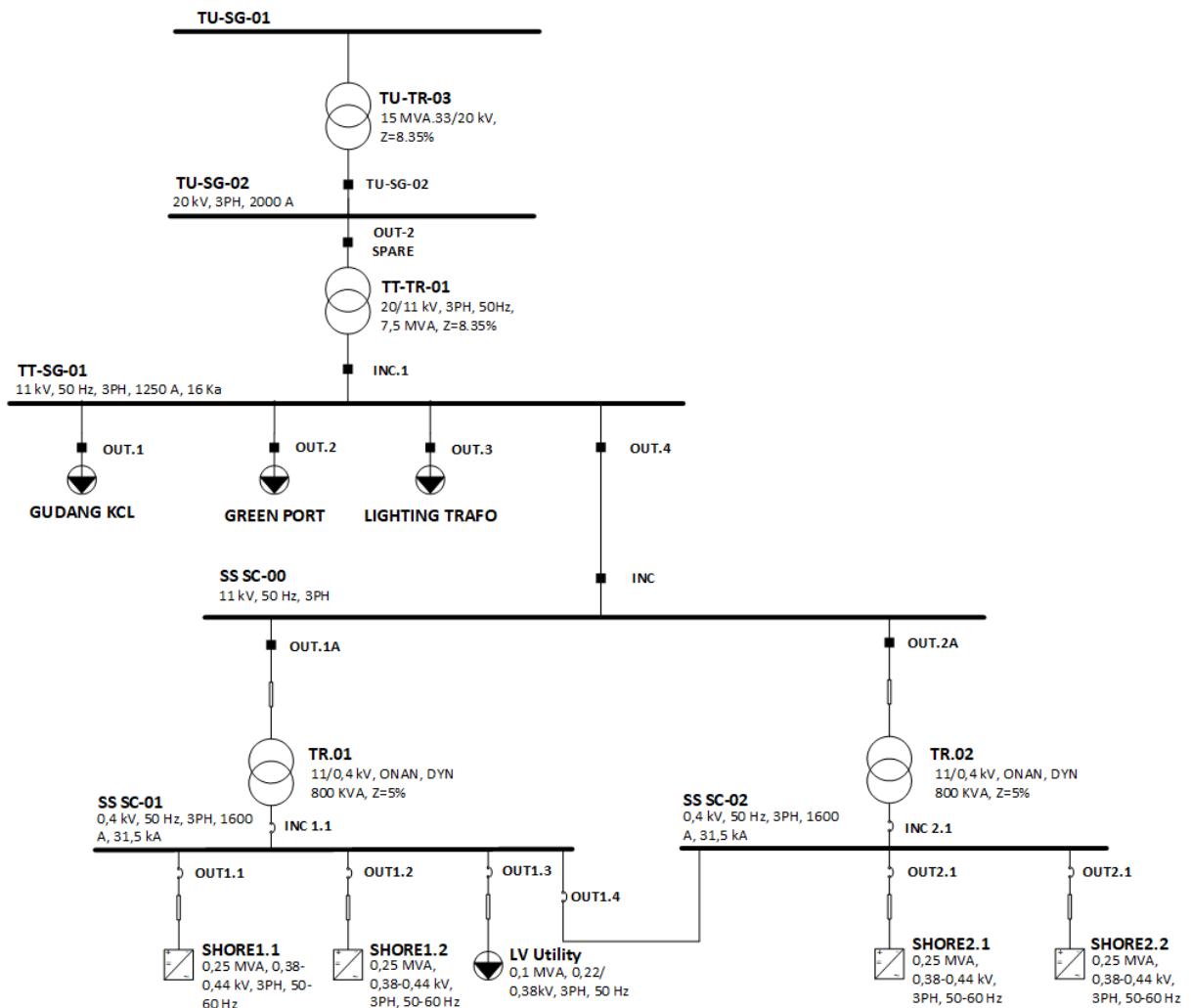
3.2.2 Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)

Pemodelan sistem kelistrikan pada PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dengan menggambarkan *single line diagram* berdasarkan data-data kelistrikan PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) yang telah diperoleh. Pemodelan sistem kelistrikan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi eksisting kelistrikan perusahaan. Sistem kelistrikan PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) dapat dilihat pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2** berikut :



Gambar 3. 1 Single Line Diagram PT. Kaltim Daya Mandiri

3.2.3 Perencanaan pada Substation Tursina Timur



Gambar 3. 2 Single Line Diagram Substation Tursina Timur

3.3 Simulasi Sistem Kelistrikan

Dilakukan simulasi *power system analysis* mulai dari simulasi *load flow*, *short circuit* dan koordinasi proteksi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Simulasi *load flow* digunakan untuk mengecek aliran daya pada seluruh sistem kelistrikan. Simulasi *short circuit* untuk melakukan simulasi hubung singkat tiga fasa (hubung singkat maksimum) dan hubung singkat antar fasa (hubung singkat minimum) yang bertujuan untuk mengetahui besar arus yang melewati tiap bus

3.4 Analisis Data Hasil Simulasi

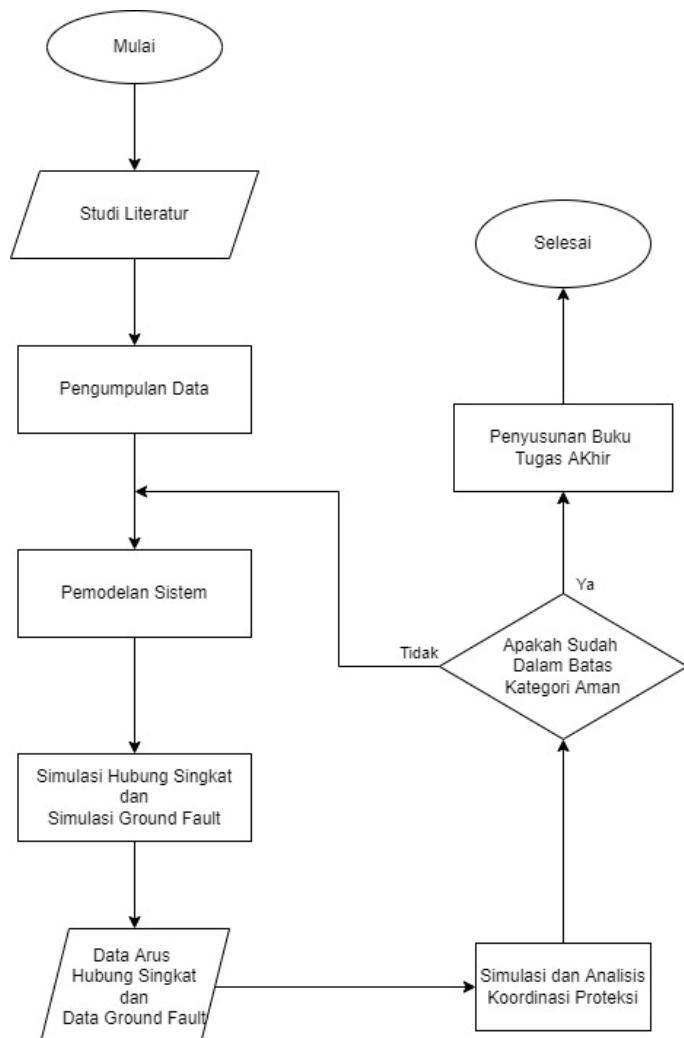
Berdasarkan hasil simulasi pada sistem kelistrikan PT Kaltim Daya Mandiri (KDM), maka dapat diketahui hasil dari setting relay dll

3.5 Penulisan Buku Tugas Akhir

Tahapan terakhir berupa pembuatan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya yang dibuat dalam bentuk laporan buku Tugas Akhir berdasarkan simulasi dan analisis data yang telah didapatkan.

3.6 Urutan pelaksanaan penelitian

Urutan pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 3 Diagram Alir Urutan Pelaksanaan Penelitian

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

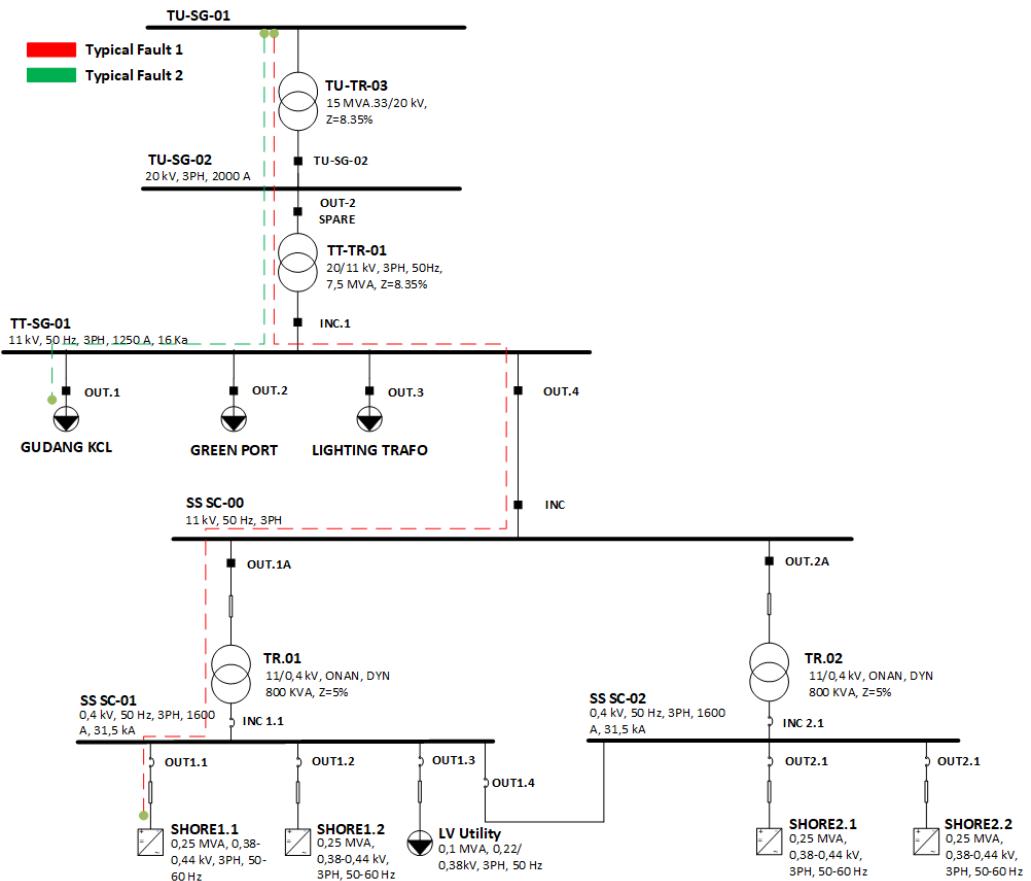
BAB 4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada Substation Tursina Timur PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM)

Pemilihan tipikal koordinasi dilakukan untuk mempermudah evaluasi koordinasi proteksi di PT. Pertamina RU II Dumai. Tipikal koordinasi yang dipilih pada rele arus lebih gangguan fasa meliputi tipikal yang mewakili beban listrik hingga sumber listrik, sedangkan tipikal koordinasi yang dipilih pada rele arus lebih gangguan tanah mengacu pada peralatan yang memiliki NGR. Berikut merupakan tipikal yang dianalisa pada tugas akhir ini:

1. Tipikal 1 : Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) dari LVCB SHORE 1.1 menuju Rele TU-SG-01. Relay yang termasuk pada tipikal ini meliputi LVCB SHORE 1.1, LVCB INC 1.1, Rele OUT 1, Rele INC SS SC, Rele OUT 4, Relay INC 1, Relay OUT 2 SPARE , Relay TU-SG-02, Relay TUS-SG-01
2. Tipikal 2 : Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) dari R Gudang KCL menuju Relay TUS-SG-01. Relay yang termasuk pada tipikal ini meliputi R Gudang KCL, Relay TU-SG-02, Relay TUS-SG-01

Diagram alir satu garis sistem kelistrikan Substation Tursina Timur akan digambarkan pemilihan tipikalnya pada gambar dibawah :



Gambar 4. 1 Tipikal Koordinasi Rele Proteksi Gangguan Fasa pada Subsatation Tursina Timur

4.2 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis ini dilakukan di setiap bus yang berbeda pada 2 tipikal terpilih untuk menentukan nilai besar arus saat terjadinya gangguan sebagai pertimbangan saat melakukan pegaturan rele pengaman pada sistem kelistrikan. Gangguan hubung singkat yang digunakan adalah gangguan hubung singkat minimum dan maksimum. Arus gangguan hubung singkat minimum terjadi Ketika gangguan 3 fasa pada saat 1,6-4 cycle dan $\frac{1}{2}$ cycle. Sedangkan hubung singkat minimum terjadi Ketika gangguan antar fasa (line to line fault) yaitu pada saat 30 cycle.

4.2.1 Arus Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum digunakan untuk membatasi *setting* arus sebagai batasan pickup rele arus lebih instan, yang mana rele langsung bekerja sesuai *time delay* yang telah ditentukan saat terjadi gangguan hubung singkat minimum maupun maksimum. Berikut merupakan data dari hasil simulasi hubung singkat minimum dalam sistem kelistrikan substation Tursina Timur PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 5 Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle

Bus	

ID	kV	Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle (kA)
SS SC-01	0,4	20,07
SS SC-02	0,4	20,07
SS SC-00	11	4,15
TT-SG-01	11	3,08
TU-SG-02	20	4,48
TU-SG-01	33	14,41

4.2.2 Arus Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum digunakan untuk membatasi arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Berikut merupakan data dari hasil simulasi hubung singkat minimum dalam sistem kelistrikan substation Tursina Timur PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 6 Arus Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle

Bus		Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle (kA)
ID	kV	
SS SC-01	0,4	20,07
SS SC-02	0,4	20,07
SS SC-00	11	4,15
TT-SG-01	11	3,08
TU-SG-02	20	4,48
TU-SG-01	33	14,41

Tabel 3. 7 Arus Hubung Singkat Maksimum 1/2 Cycle

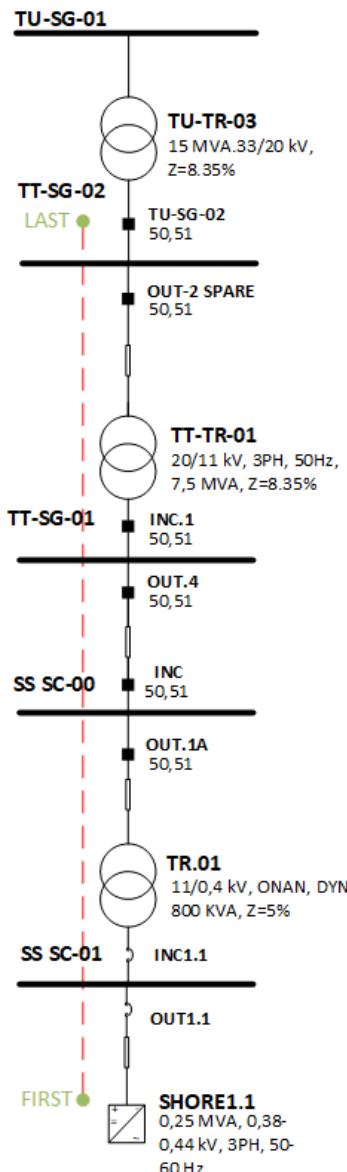
Bus		Arus Hubung Singkat Maksimum $\frac{1}{2}$ cycle (kA)
ID	kV	
SS SC-01	0,4	20,5
SS SC-02	0,4	20,51
SS SC-00	11	4,7
TT-SG-01	11	3,1
TU-SG-02	20	4,56
TU-SG-01	33	15,73

4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan koordinasi rele saat terjadi gangguan arus lebih berupa gangguan beban lebih ataupun gangguan hubung singkat. Parameter yang perlu diatur pada setting rele arus lebih yaitu time overcurrent pickup, time dial, instantaneous overcurrent pickup dan time delay.

4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) dari LVCB SHORE 1.1 menuju Rele TU-SG-01. Relay yang termasuk pada tipikal ini meliputi LVCB SHORE 1.1, LVCB INC 1.1, Rele OUT 1, Rele INC SS SC, Rele OUT 4, Relay INC 1, Relay OUT 2 SPARE , Relay TU-SG-02.



Gambar 4. 2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

4.3.1.1 LVCB SHORE 1.1

Manufacturer : Square-D

Model : DL 400

Tipe Kurva : Long-Time dan Short Time

Sensor : 400

Long-Time

LT Pick Up

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

$$1,05 \times 274,9 < Iset < 1,4 \times 274,9$$

$$288,645 < Iset < 384,86$$

Dipilih $Iset$ 350 A

$$\frac{288,645}{300} < Tap < \frac{384,86}{300}$$

$$0,96215 < Tap < 1,282867$$

Dipilih Tap 1

Maka, $LT Band$: 2

Short-Time

ST Pick Up

$$1,6 \times FLA Sek Trafo < Iset < 0,8 \times Isc min$$

$$1,6 \times 274,9 < Iset < 0,8 \times 16270$$

$$439,84 < Iset < 13016$$

Dipilih $Iset$ 1600 A

$$\frac{439,84}{300} < Tap < \frac{13016}{300}$$

$$1,4661 < Tap < 43,3866$$

Dipilih Tap 4

Maka, $ST Band$: 0,1

4.3.1.2 LVCB INC1.1

Manufaktur : Square-D
 Model : MICROLOGIC 5.0
 Tipe Kurva : Long Time dan Short time
 Sensor ID : 1200
 FLA Sek TrafoTR.01 : 1155

Long-Time

LT Pick Up

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

$$1,05 \times 1155 < Iset < 1,4 \times 1155$$

$$1212,75 < Iset < 1617$$

Dipilih $Iset$ 1213 A

$$\frac{1212,75}{1200} < Tap < \frac{1617}{1200}$$

$$1,0106 < Tap < 1,3475$$

Dipilih Tap 1

Maka, LT Band : 2

Short-Time

ST Pick Up

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

$$1,6 \times 1155 < Iset < 0,8 \times 1155$$

$$1848 < Iset < 13016$$

Dipilih $Iset$ 5000 A

$$\frac{1848}{300} < Tap < \frac{13016}{300}$$

$$1,54 < Tap < 10,8467$$

Dipilih Tap 4

Maka, ST Band : 0,3

4.3.1.3 Rele OUT 01 Very Invers

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Tipe Kurva : IEC – Very Inverse

Rasio CT : 100:5

FLA : 41,99 A

ISC min : 2590

ISC max : 4170

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 41,9 < Iset < 1,4 \times 41,9$$

$$43,995 < Iset < 58,66$$

Dipilih $Iset$ 50 A

$$\frac{43,995}{100} < Tap < \frac{58,66}{100}$$

$$0,43995 < Tap < 0,5866$$

Dipilih Tap 0,5

Time Dial Setting

Waktu operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t \times \beta \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$TDS = \frac{0,1 \times 1,5 \left(\left(\frac{4170}{50} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TDS = 0,19 \text{ (Time Dial Minimum)}$$

Time Dial dipilih 0,8 detik

Instantaneous Overcurrent Pickup

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

$$1,6 \times 41,9 < Iset < 0,8 \times 2590$$

$$67,04 < Iset < 2072$$

Dipilih $Iset$ 1000 A

$$\frac{67,04}{100} < Tap < \frac{2072}{100}$$

$$0,6704 < Tap < 20,72$$

Dipilih Tap 10

Time Delay

Dipilih *time delay* pada rele ini sebesar 0,1 detik karena sebagai Proteksi utama Transformator TR-01.

4.3.1.4 Rele INC SS SC

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Tipe Kurva : IEC – Standart Inverse

Rasio CT : 100:5

FLA : 83,8 A

Isc min : 2590

Isc max : 4150

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 83,8 < Iset < 1,4 \times 83,8$$

$$87,99 < Iset < 117,32$$

Dipilih $Iset$ 95 A

$$\frac{87,99}{100} < Tap < \frac{117,32}{100}$$

$$0,879 < Tap < 1,173$$

Dipilih Tap 0,95

Time Dial Setting

Waktu operasi : 0,3 detik

$$t = \frac{k \times TDS}{\beta x \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t x \beta \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$TDS = \frac{0,3x 2,97 \left(\left(\frac{4150}{95} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$TDS = 0,49 \text{ (Time Dial Minimum)}$$

Time Dial dipilih 0,49 detik.

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 x FLA < Iset < 0,8 x Isc min$$

$$1,6 x 83,8 < Iset < 0,8 x 2590$$

$$134,08 < Iset < 2072$$

Dipilih $Iset$ 525 A

$$\frac{134,08}{100} < Tap < \frac{2072}{100}$$

$$1,340 < Tap < 20,72$$

Dipilih Tap 5,35

Time Delay

Dipilih *time delay* pada rele ini sebesar 0.3 detik mempertimbangkan pengaturan rele dibawahnya

4.3.1.5 Rele OUT.4

Rele OUT4 dan INC SS SC bertindak sebagai proteksi primer pada Bus SS SC-00. Sehingga, koordinasi pengaturan proteksi akan sama dengan bagian **4.3.1.4**

4.3.1.6 Rele INC.1

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Tipe Kurva : IEC – Very Inverse

Rasio CT : 400:5

FLA : 393,6 A

Isc min : 2590 A

Isc max : 3080 A

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 393,6 < Iset < 1,4 \times 393,6$$

$$413,28 < Iset < 551,4$$

Dipilih $Iset$ 420 A

$$\frac{413,28}{400} < Tap < \frac{551,4}{400}$$

$$1,0332 < Tap < 1,3776$$

Dipilih Tap 1,05

Time Dial Setting

Waktu operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t \times \beta \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$TDS = \frac{0,5 \times 1,5 \left(\left(\frac{3080}{420} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TDS = 0,39 \text{ (Time Dial Minimum)}$$

Time Dial dipilih 0,4 detik

Instantaneous Overcurrent Pickup

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

$$1,6 \times 393,6 < Iset < 0,8 \times 2590$$

$$629,76 < Iset < 2072$$

Dipilih $Iset$ 2030 A

$$\frac{629,76}{400} < Tap < \frac{2072}{400}$$

$$1,5744 < Tap < 5,18$$

Dipilih *Tap* 5,1

Time Delay

Dipilih *time delay* pada rele ini sebesar 0,5 detik karena mempertimbangkan pengaturan rele dibawahnya

4.3.1.7 Rele OUT-2 SPARE

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Tipe Kurva : IEC – Extremely Inverse

Rasio CT : 300:5

FLA : 216,5

Isc min: 3580

Isc max : 4480

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 216,5 < Iset < 1,4 \times 216,5$$

$$227,325 < Iset < 303,1$$

Dipilih *Iset* 300 A

$$\frac{227,325}{300} < Tap < \frac{303,1}{300}$$

$$0,75775 < Tap < 1,0103$$

Dipilih *Tap* 0,75

Time Dial Setting

Waktu operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t \times \beta \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$TDS = \frac{0,7 \times 0,808 \left(\left(\frac{4480}{300} \right)^2 - 1 \right)}{80}$$

$$TDS = 0,22 \text{ (Time Dial Minimum)}$$

Time Dial dipilih 0,23 detik

Instantaneous Overcurrent Pickup

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

$$1,6 \times 216,5 < Iset < 0,8 \times 3580$$

$$346,4 < Iset < 2864$$

Dipilih $Iset$ 2000 A

$$\frac{346,4}{300} < Tap < \frac{2864}{300}$$

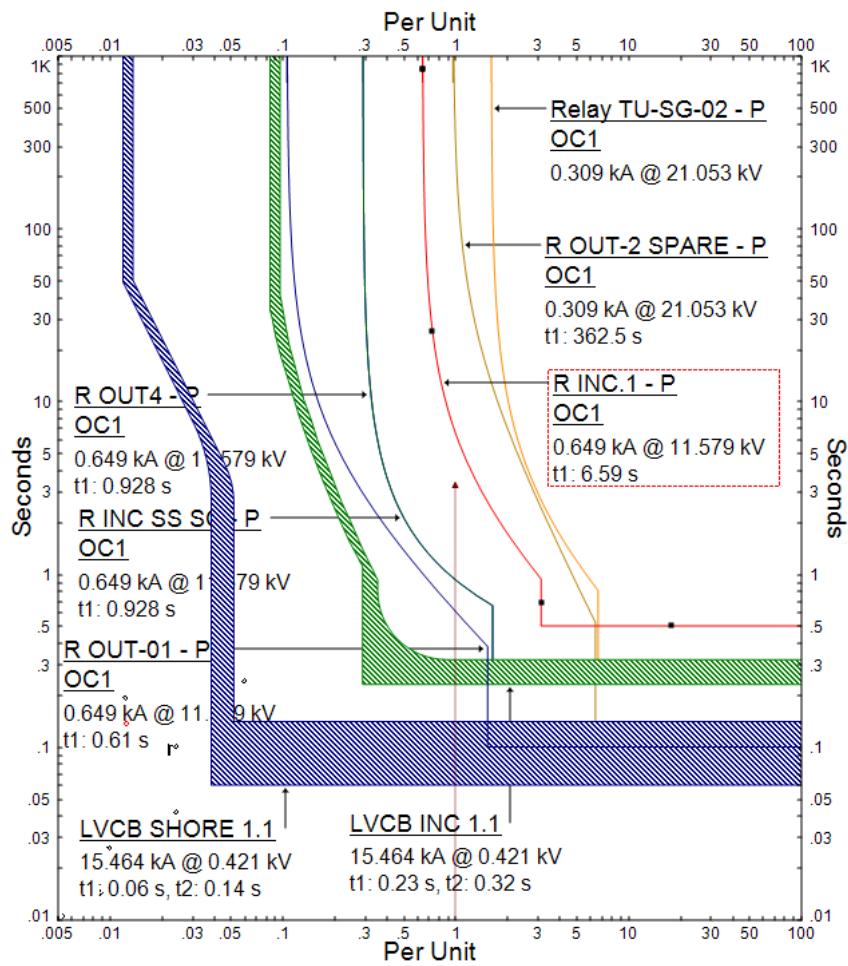
$$1,1546 < Tap < 9,546$$

Dipilih Tap 5

Time Delay

Dipilih $time delay$ pada rele ini sebesar 0.1 detik

Setelah hasil data perhitungan manual telah didapat dan dilakukan pada rele pengaman yang ada pada tipikal 1, maka data rele pengaman dapat di plot kurva TCC (*Time Current Characteristic*) dengan koordinasi pengamanan bintang (*Star protective device coordination*) untuk mengetahui apakah sistem telah terkoordinasi dengan baik dan *grading time* sudah sesuai dengan standar CTI rele digital. Hasil plot kurva TCC antar rele pengaman pada kondisi terlihat pada



Gambar 4.3 Kurva TCC pada tipikal 1 saat terjadi gangguan

Dapat dilihat pada hasil kurva telah terkoordinasi dengan baik dan *grading time* sistem telah memenuhi standar CTI rele digital, yaitu antara 0,2-0,4 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada, sehingga sistem sudah aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja secepat mungkin.

4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa (50/51) dari Rele Gudang KCL, Rele TU-SG-01, Rele TU-SG-02

4.3.2.1 Rele Gudang KCL

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Tipe Kurva : IEC – Very Inverse

Rasio CT : 300:5

FLA 215 A

Isc min 2590

Isc max 3470 A

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 215 < Iset < 1,4 \times 215$$

$$226,38 < Iset < 301,84$$

Dipilih $Iset$ 275 A

$$\frac{226,38}{300} < Tap < \frac{301,84}{300}$$

$$0,7546 < Tap < 1,0061$$

Dipilih Tap 0,91

Time Dial Setting

Waktu operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t \times \beta \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$TDS = \frac{0,1 \times 1,5 \left(\left(\frac{3470}{300} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TDS = 0,12 \text{ (Time Dial Minimum)}$$

Time Dial dipilih 0,2 detik

Instantaneous Overcurrent Pickup

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

$$1,6 \times 215,6 < Iset < 0,8 \times 2590$$

$$344,96 < Iset < 2072$$

Dipilih $Iset$ 1000 A

$$\frac{344,96}{300} < Tap < \frac{2072}{300}$$

$$1,149 < Tap < 6,90$$

Dipilih Tap 3,3

Time Delay

Dipilih $time\ delay$ pada rele ini sebesar 0,1 detik

4.3.2.2 Rele TU-SG-02

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Tipe Kurva : IEC – Very Inverse

Rasio CT : 500:5

FLA : 433

Isc min : 3580

Isc max : 4480

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 433 < Iset < 1,4 \times 433$$

$$454,65 < Iset < 606,2$$

Dipilih $Iset$ 500 A

$$\frac{454,65}{500} < Tap < \frac{606,2}{500}$$

$$0,909 < Tap < 1,212$$

Dipilih Tap 1

Time Dial Setting

Waktu operasi : 0,3 detik

$$t = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t \times \beta \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$TDS = \frac{0,3 \times 1,5 \left(\left(\frac{4480}{500} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TDS = 0,265 \text{ (Time Dial Minimum)}$$

Time Dial dipilih 0,3 detik

Instantaneous Overcurrent Pickup

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

$$1,6 \times 433 < Iset < 0,8 \times 3580$$

$$692,8 < Iset < 2864$$

Dipilih $Iset$ 2000 A

$$\frac{692,8}{500} < Tap < \frac{2864}{500}$$

$$1,3856 < Tap < 5,728$$

Dipilih Tap 4

Time Delay

Dipilih *time delay* pada rele ini sebesar 0.3 detik dengan mempertimbangkan setting rele dibawahnya.

4.3.2.3 Rele TU-SG-01

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Tipe Kurva : IEC – Standart Inverse

Rasio CT : 400:5

FLA 262,4 A

Isc min 9030

Isc max 15340

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 262 < Iset < 1,4 \times 262$$

$$275,1 < Iset < 366,8$$

Dipilih $Iset$ 300 A

$$\frac{275,1}{300} < Tap < \frac{366,8}{300}$$

$$0,917 < Tap < 1,2226$$

Dipilih $Tap = 1$

Time Dial Setting

Waktu operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{k \times TDS}{\beta x \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t x \beta \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$TDS = \frac{0,1 \times 2,97 \left(\left(\frac{14410}{300} \right)^1 - 1 \right)}{0,14}$$

$$TDS = 0,40 \text{ (Time Dial Minimum)}$$

Time Dial dipilih 0,43 detik

Instantaneous Overcurrent Pickup

$$1,6 x FLA < Iset < 0,8 x Isc min$$

$$1,6 x 433 < Iset < 0,8 x 9030$$

$$419,2 < Iset < 7224$$

Dipilih $Iset = 4000 \text{ A}$

$$\frac{692,8}{300} < Tap < \frac{2864}{300}$$

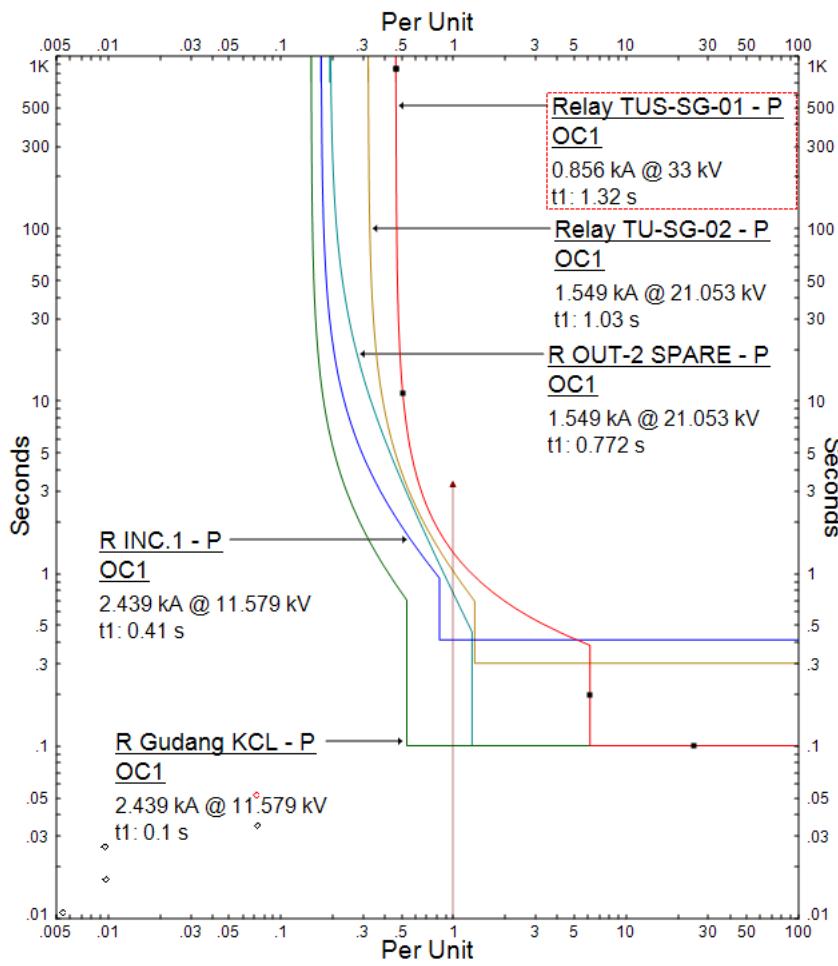
$$1,3973 < Tap < 24,08$$

Dipilih $Tap = 13,35$

Time Delay

Dipilih time delay pada rele ini sebesar 0.1 detik

Setelah hasil data perhitungan manual telah didapat dan dilakukan pada rele pengaman yang ada pada tipikal 1, maka data rele pengaman dapat di plot kurva TCC (*Time Current Characteristic*) dengan koordinasi pengamanan bintang (*Star protective device coordination*) untuk mengetahui apakah sistem telah terkoordinasi dengan baik dan *grading time* sudah sesuai dengan standar CTI rele digital. Hasil plot kurva TCC antar rele pengaman



Gambar 4. 4 Kurva TCC pada tipikal 2 saat terjadi gangguan

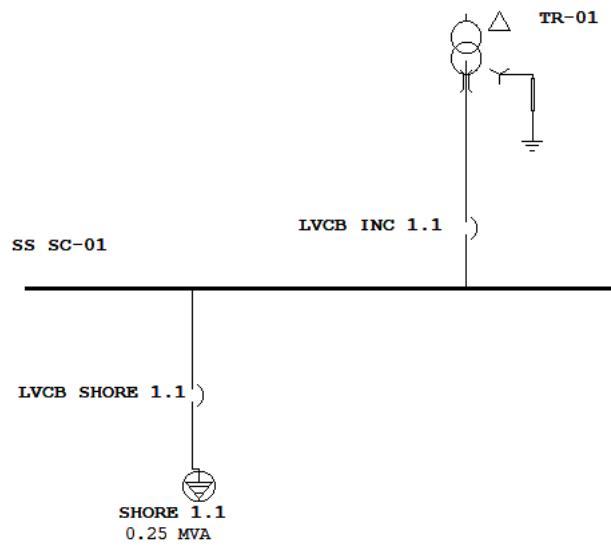
Dapat dilihat pada hasil kurva telah terkoordinasi dengan baik dan *grading time* sistem telah memenuhi standar CTI rele digital, yaitu antara 0,2-0,4 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada, sehingga sistem sudah aman untuk mengatasi gangguan dan dapat bekerja secepat mungkin.

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa pada tiap bus

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa pada tipikal 1 ini akan dibagi di karenakan terlalu panjang dan melewati beda fasa mulai dari 0,4 KV, 11 KV, 20 KV, 33 KV

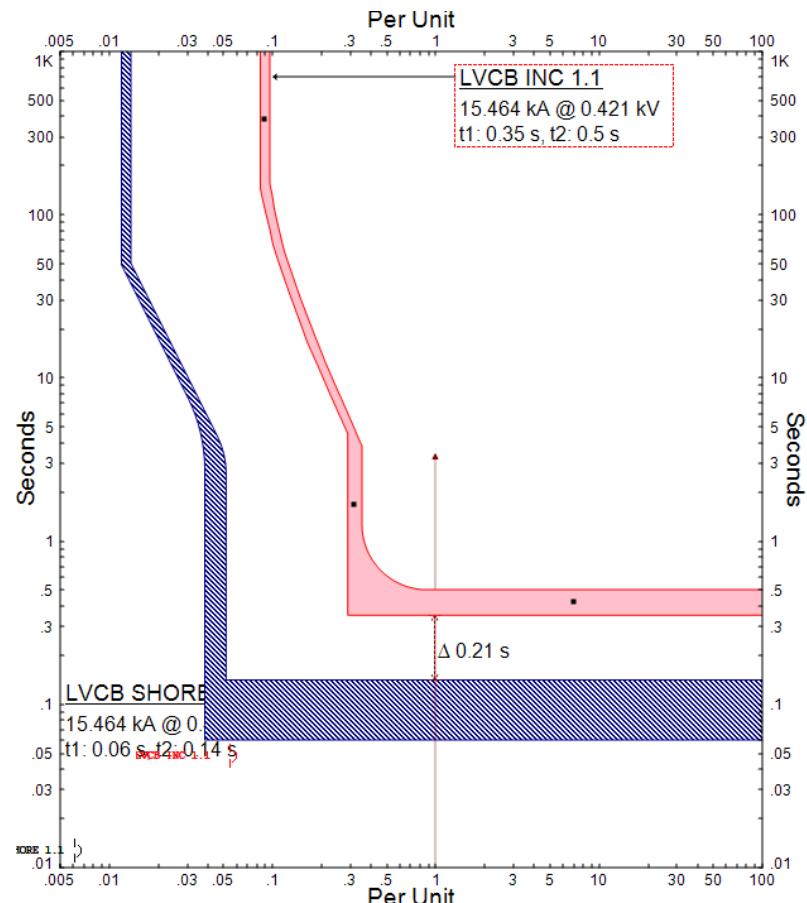
4.4.1 Pada bus 0,4 kV

Berikut merupakan gambaran line yang dilewati pada bus 0,4 KV :



Gambar 4. 5 Tipikal Line 0.4 kV

Pada bus 0,4 KV ini ada 2 LVCB yang di setting yaitu shore 1.1 dan lvcb inc 1.1, settingnya di sesuaikan pada **4.2.1.1** dan **4.2.1.2** dan dapat dilihat dibawah curva grading time telah memenuhi standart CTI Rele digital.

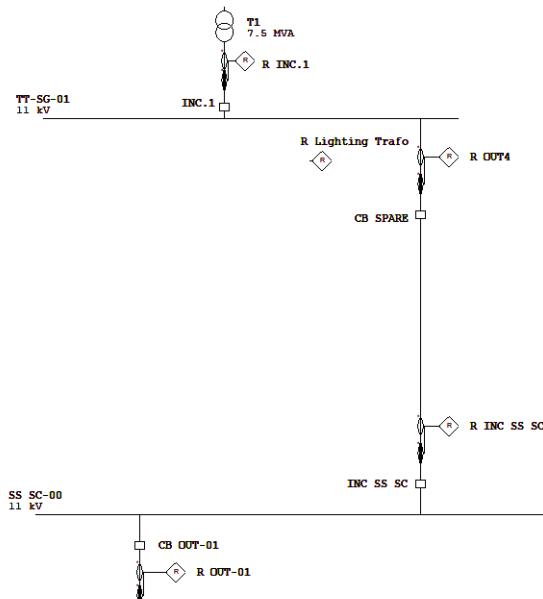


Gambar 4. 6 Kurva TCC Line 0.4 kV

Bisa dilihat waktu tripnya 0,21 sesuai dengan standartnya yaitu antara 0,2-0,4 second

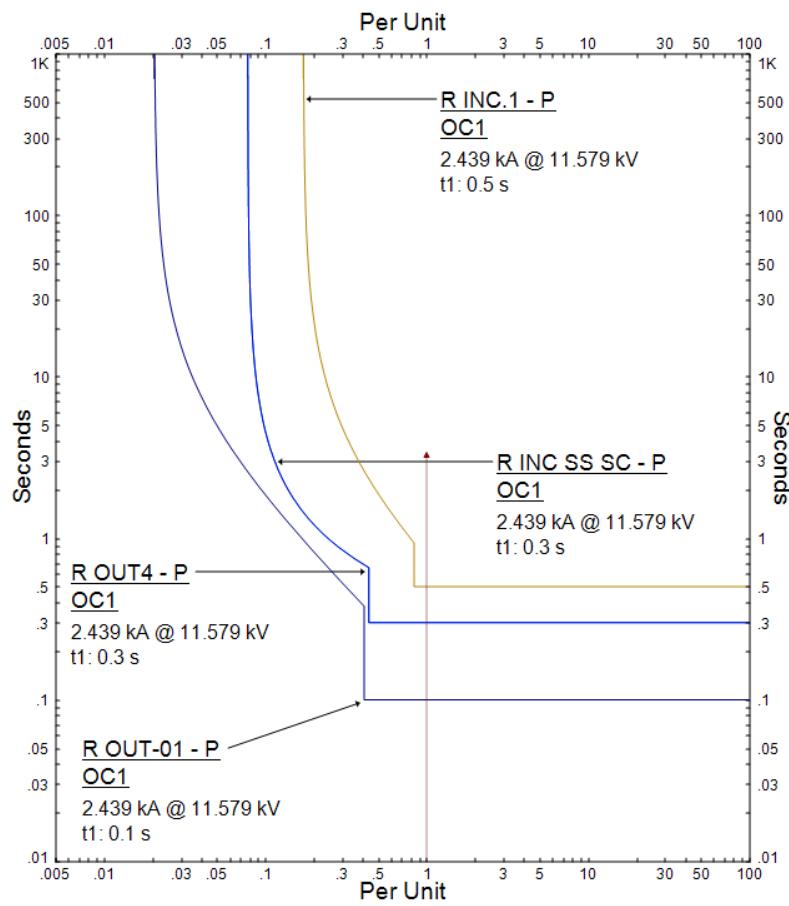
4.4.2 Pada Bus 11 kV

Berikut merupakan gambaran line yang dilewati pada bus 11 KV :



Gambar 4. 7 Tipikal Line 11 kV

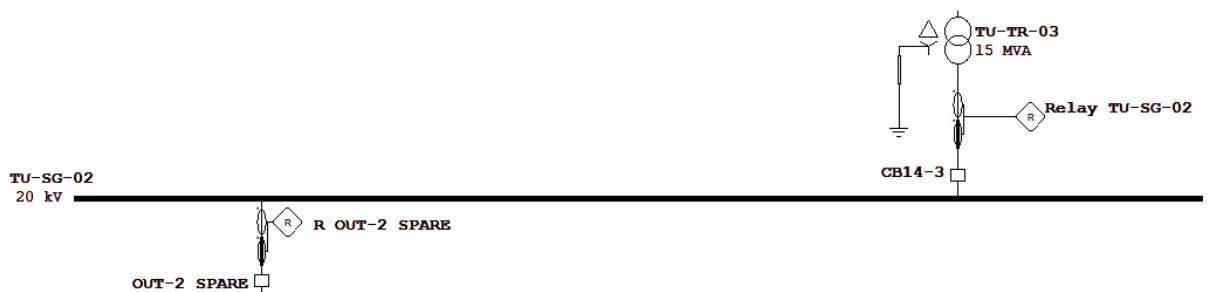
Pada bus 11 KV ini terdapat 4 relay yang di setting yaitu R OUT-01, R INC SC, R OUT 4 dan R INC .1, settingnya di sesuaikan pada **4.2.1.3, 4.2.1.4, 4.2.1.5** dan **4.2.1.6** dan dapat dilihat dibawah curva sesuai standar CTI rele digital.



Gambar 4. 8 Kurva TCC Line 11 kV

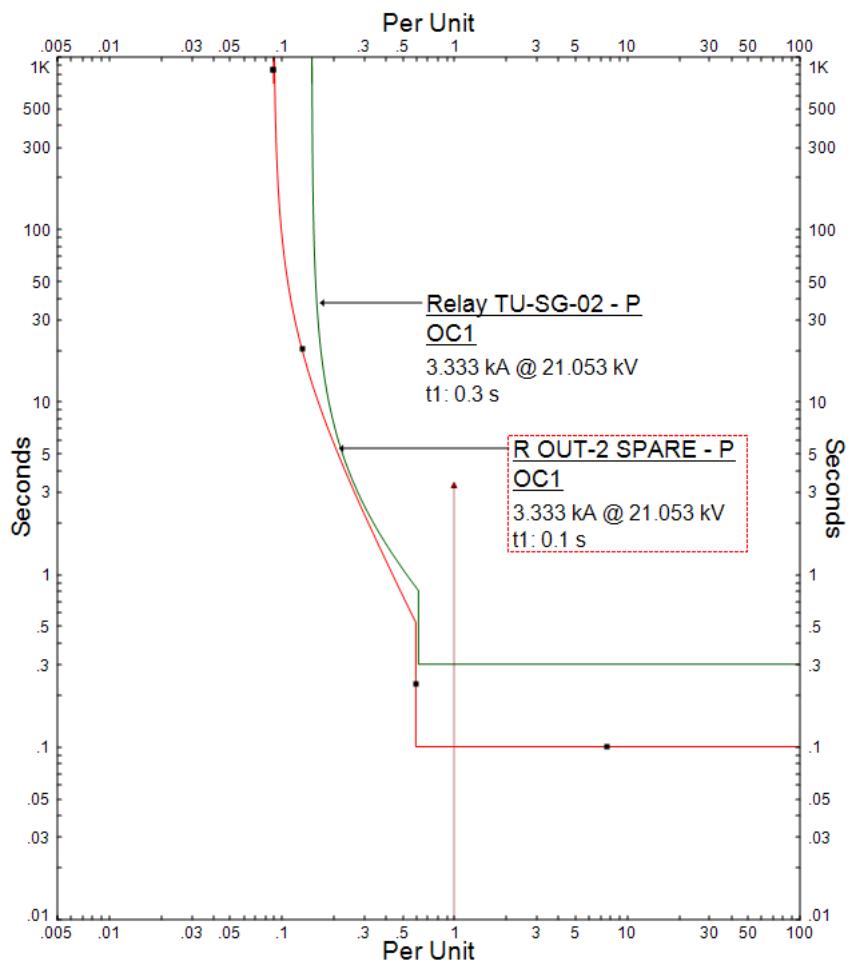
Bisa dilihat waktu tripnya 0,2 sesuai dengan standartnya yaitu antara 0,2-0,4 second

4.4.3 Pada Bus 20 kV



Gambar 4. 9 Tipikal Line 20 kV

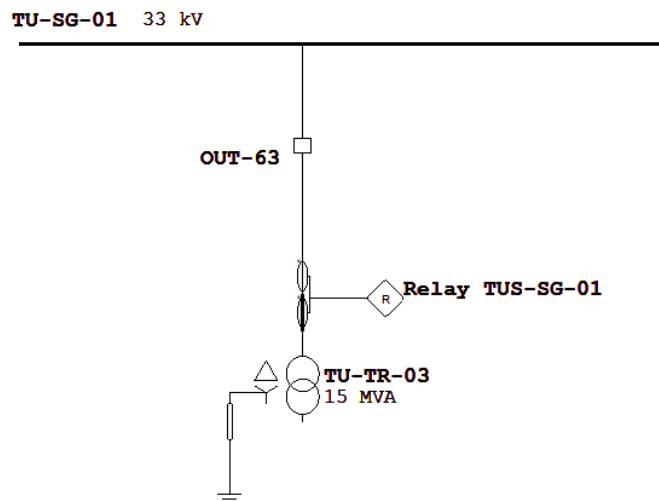
Pada bus 20 KV ini terdapat 4 relay yang di setting yaitu R OUT-01, R INC SC, R OUT 4 dan R INC .1, settingnya di sesuaikan pada **4.2.1.7** dan **4.2.1.8** dan dapat dilihat dibawah curva sesuai standar CTI rele digital



Gambar 4. 10 Kurva TCC Line 20 kV

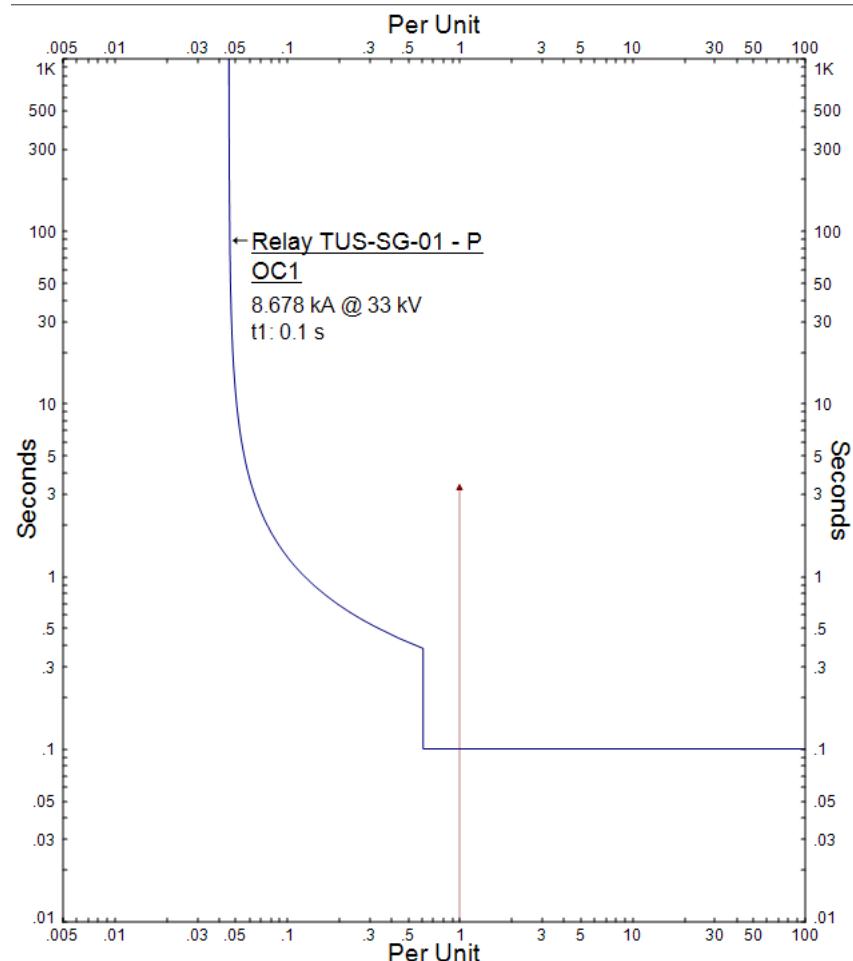
Bisa dilihat waktu tripnya 0,2 sesuai dengan standartnya yaitu antara 0,2-0,4 second

4.4.4 Pada Bus 30 KV



Gambar 4. 11 Tipikal line 33KV

Pada bus 33 KV ini terdapat 1 Rele yang di setting dan dapat dilihat dibawah curva standard CTI rele digital



Gambar 4. 12 Kurva TCC Line 33 KV

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Pada koordinasi Rele Arus Lebih gangguan ke tanah ini hanya akan rele R OUT-01, R INC SS SC, R OUT 4, R Gudang KCL, R INC.1 R OUT-2 SPARE, Relay TU-SG-02. LVCB SHORE 1.1 dan LVCB INC1.1 merupakan jenis relay dengan asumsi manufaktur Merlin Gerin Sepam 80. Kedua relay tersebut bekerja pada tegangan rendah dan dengan sistem solid grounded sehingga besarnya arus short circuit line to ground fault akan bernilai sama dengan phase fault. Dengan demikian setting relay ground pada LVCB SHORE 1.1 dan LVCB INC1.1 dapat di non-aktifkan.

4.5.1 Setting Rele Arus Lebih Gangguan ke tanah pada terminal transformator shore connection 11kv

Rele yang berada pada shore connection 11 kV adalah OUT-01, R INC SS SC, R OUT 4, R INC.1

4.5.1.1 Rele 50/51 R OUT-1

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 400 :5

I_{SC} L-G : 413 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times ISC L - G \leq Iset \leq 50 \% ISC L - G$$

$$5 - 10\% \times 413 \leq Iset \leq 50 \% 413$$

$$\frac{0,1}{413}In < Iset < \frac{0,5}{413}In$$

$$41,3 < Iset < 206,5$$

Dipilih $Iset$ adalah 100

Sehingga dipilih Tap = 0,25 A

Time Delay dipilih 0,1

4.5.1.2 Rele 50/51 R INC SS SC

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 400 :5

I_{SC} L-G : 415 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times ISC L - G \leq Iset \leq 50 \% ISC L - G$$

$$5 - 10\% \times 413 \leq Iset \leq 50 \% 413$$

$$\frac{0,1}{415}In < Iset < \frac{0,5}{415}In$$

$$41,5 < Iset < 207,5$$

Dipilih $Iset$ adalah 100

Sehingga dipilih Tap = 0,25 A

Time Delay dipilih 0,3

4.5.1.3 Rele 50/51 R OUT 4

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 400 :5

I_{SC} L-G : 415 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times ISC\ L - G \leq Iset \leq 50\% \times ISC\ L - G$$

$$5 - 10\% \times 413 \leq Iset \leq 50\% \times 413$$

$$\frac{0,1}{415} In < Iset < \frac{0,5}{415} In$$

$$41,5 < Iset < 207,5$$

Dipilih $Iset$ adalah 100

Sehingga dipilih Tap = 0,25 A

Time Delay dipilih 0,3

4.5.1.4 Rele 50/51 R INC .1

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 400 :5

I_{SC} L-G : 415 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times ISC\ L - G \leq Iset \leq 50\% \times ISC\ L - G$$

$$5 - 10\% \times 413 \leq Iset \leq 50\% \times 413$$

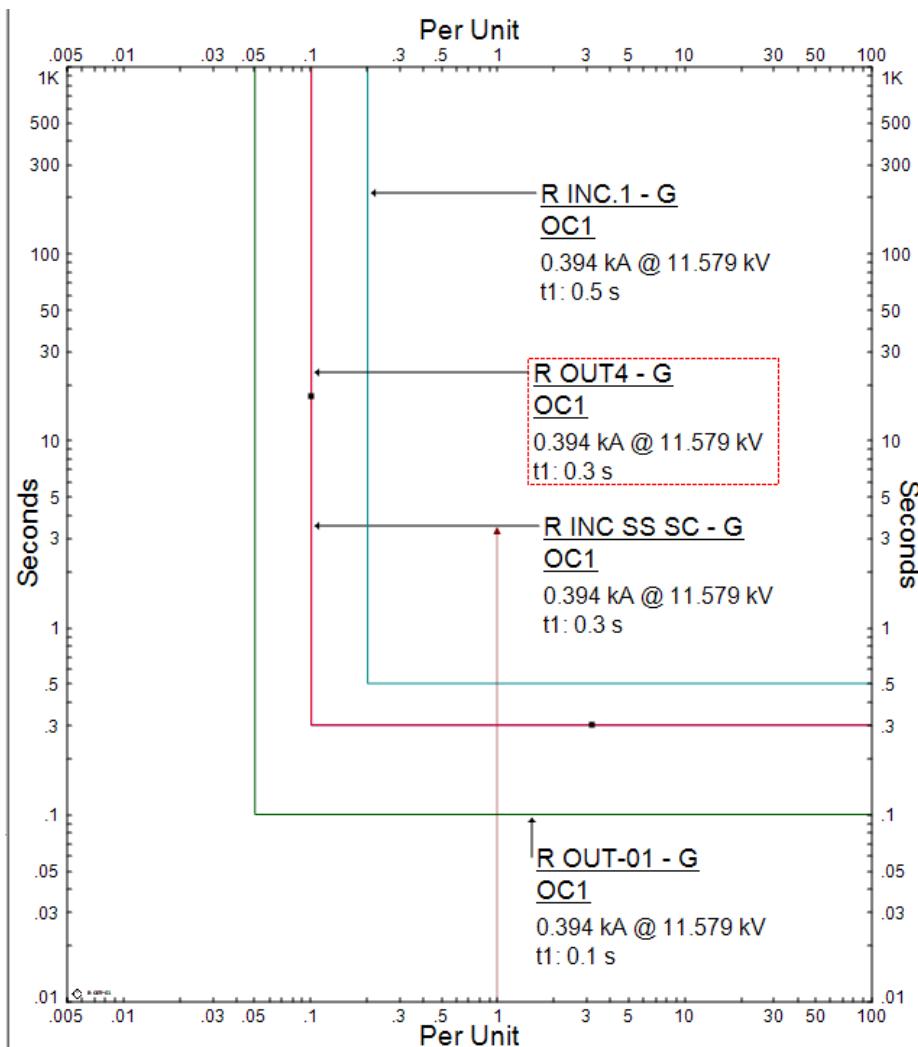
$$\frac{0,1}{415} In < Iset < \frac{0,5}{415} In$$

$$41,5 < Iset < 207,5$$

Dipilih $Iset$ adalah 100

Sehingga dipilih Tap = 0,25 A

Time Delay dipilih 0,3



Gambar 4. 13 TCC Ketika terjadi Short Circuit L-G pada Terminal Transformer Shore Connection (11 kV Side)

4.5.2 Setting Rele Arus Lebih Gangguan ke tanah pada Short Circuit L-G Gudang KCL 11 KV

Rele yang berada pada Shore Circuit L-G Gudang KCL 11 kV adalah R Gudang KCL, Relay TU-SG-02

4.5.2.1 Rele 50/51 R GUDANG KCL

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 400 :5

I_{SC} L-G : 400 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times ISC \text{ L-G} \leq Iset \leq 50 \% ISC \text{ L-G}$$

$$5 - 10\% \times 400 \leq Iset \leq 50 \% 400$$

$$\frac{0,1}{400} In < Iset < \frac{0,5}{400} In$$

$$40 < Iset < 200$$

Dipilih $Iset$ adalah 80

Sehingga dipilih Tap = 0,2 A

Time Delay dipilih 0,1

4.5.2.2 Rele 50/51 R TU-SG-02

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 500 :5

I_{SC} L-G : 301 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times ISC L - G \leq Iset \leq 50 \% ISC L - G$$

$$5 - 10\% \times 301 \leq Iset \leq 50 \% 301$$

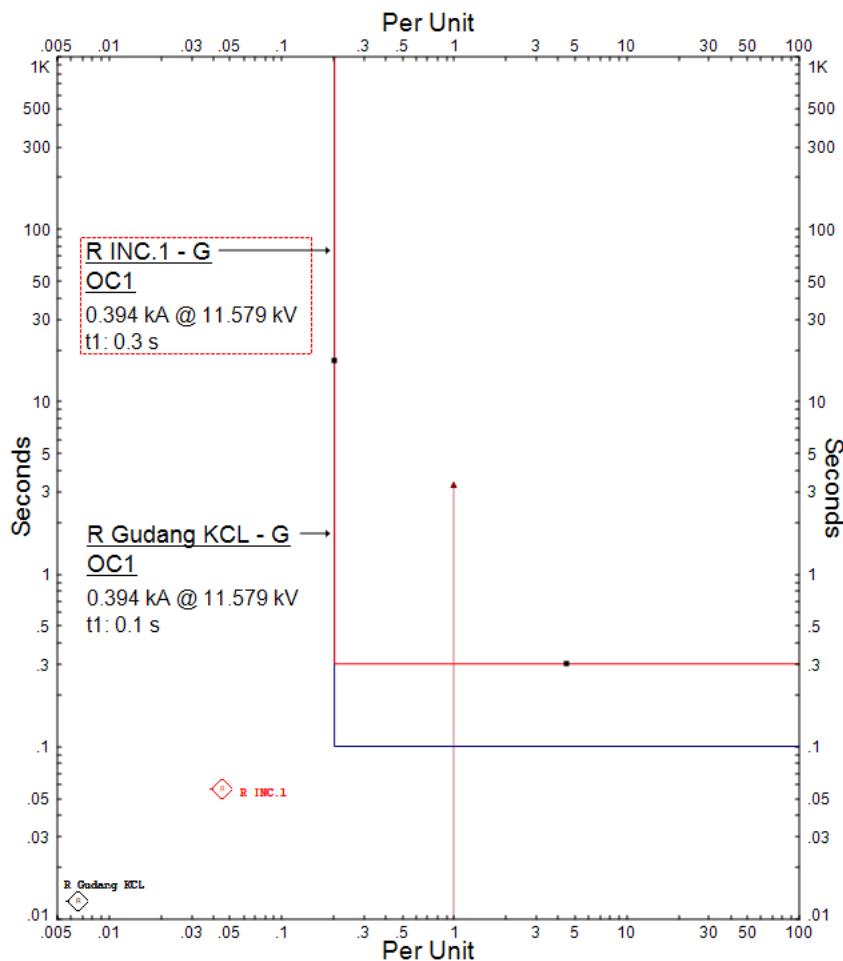
$$\frac{0,1}{301} In < Iset < \frac{0,5}{301} In$$

$$30,1 < Iset < 150,5$$

Dipilih $Iset$ adalah 80

Sehingga dipilih Tap = 0,2 A

Time Delay dipilih 0,3



Gambar 4. 14 TCC ketika terjadi short circuit L-G di Gudang KCL 11 kV

4.5.3 Setting Rele Arus Lebih Gangguan ke tanah pada Short Circuit L-G 20 kV

Rele yang berada pada shore connection 20 kV adalah R OUT-2 SPARE, Relay TU-SG-02

4.5.3.1 Rele 50/51 R OUT-2 SPARE

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 400 :5

I_{SC} L-G : 301 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times ISC \text{ L-G} \leq Iset \leq 50 \% ISC \text{ L-G}$$

$$5 - 10\% \times 301 \leq Iset \leq 50 \% 301$$

$$\frac{0.1}{301} In < Iset < \frac{0.5}{301} In$$

$30,1 < Iset < 150,5$

Dipilih $Iset$ adalah 80

Sehingga dipilih Tap = 0,2 A

Time Delay dipilih 0,1

4.5.3.2 Rele 50/51 R TU-SG-02

Manufaktur : Merlin Gerin Sepam 80

Curve Type : Definite Time

CT Ratio : 500 :5

I_{SC} L-G : 301 A

Instantaneous Pickup

$5 - 10\% \times ISC\ L - G \leq Iset \leq 50 \% ISC\ L - G$

$5 - 10\% \times 301 \leq Iset \leq 50 \% 301$

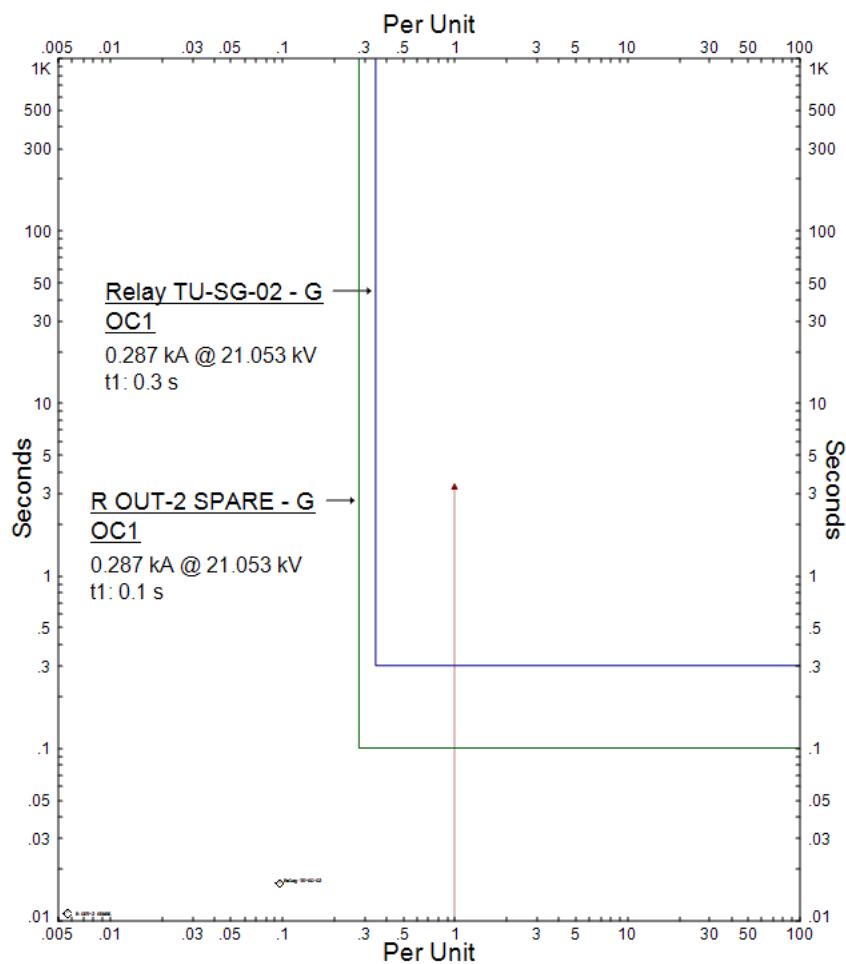
$$\frac{0,1}{301} In < Iset < \frac{0,5}{301} In$$

$30,1 < Iset < 150,5$

Dipilih $Iset$ adalah 80

Sehingga dipilih Tap = 0,2 A

Time Delay dipilih 0,3



Gambar 4. 15 TCC ketika terjadi short circuit L-G di 20 kV

Dengan begitu melihat TCC dari semua bus sudah terlihat bahwa sudah sesuai dengan standard

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Perencanaan koordinasi proteksi dan ground fault setting yang diperoleh dari simulasi dan analisis data perhitungan yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :.

1. Setting relay overcurrent sudah sesuai dengan perhitungan dan hasilnya sesuai dengan standard IEEE 242 *grading time* 0,2 – 0,4 second
2. Setting relay ground fault sudah sesuai dan koordinasi dari relay tersebut sudah sesuai dengan standard IEEE 242 *grading time* 0,2 – 0,4 second juga
3. Maka data setting koordinasi Proteksi sudah dalam batas aman dan bisa digunakan

5.2 Saran

Mengacu pada hasil tugas akhir ini, maka saran yang dapat diberikan penulis antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pencarian nilai TDS menggunakan metode *Artificial Intelligence*.
2. Pengaturan koordinasi Proteksi relé pengaman yang didapatkan dari perhitungan dan hasil simulasi dapat direkomendasikan dan dijadikan pertimbangan bagi PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM).

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. B., Anderson, M., Eden, M., El-Hawary, M. E., Furui, S., Haddad, A. H., Herrick, R., Kartalopoulos, S., Kirk, D., Laplante, P., Padgett, M., Reeve, W. D., Zobrist, G., Moore, K., Larsen, S. L., Wollenberg, B. F., Zocholl, S. E., Fellow, I., Billington, R., ... Stump, K. B. (1999). *POWER SYSTEM PROTECTION*.
- Dewangga, A. S. (2015). *COORDINATION PROTECTION STUDIES OF OVERCURRENT RELAY, DIFFERENTIAL, AND GROUND FAULT AT PT. LINDE INDONESIA, CILEGON.*
- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2008). 4. power system analysis and design-J DUNCAN. *POWER SYSTEM ANALYSIS AND DESIGN FIFTH EDITION*.
- Gonen, T. (2013). *MODERN POWER SYSTEM ANALYSIS*.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers., IEEE Industry Applications Society. Industrial and Commercial Power Systems Department., IEEE Standards Board., & American National Standards Institute. (2001). *IEEE recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Lewis Blackburn Bothell, J. (1997). *Protective relay Principles and Application Second Edition Introduction and General Philosophies*.
- Mozina, C. J. (2014). Why upgrade the protection and grounding of generators at petroleum and chemical plants? *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(1), 155–162. <https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2288456>
- Pardede, V. B. (2016). *07111640000064-Undergraduate_Thesis*.
- RUPTL, P. (2017). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN PT PLN (Persero)*. www.pln.co.id
- Saadat, H. (1999). *Power_system_analysis_Hadi_Saadat. Power System Analysis*.
- Sepam 80, M. G. (2021). *General Content Sepam series 60 Sepam series 20 and Sepam series 40*.
- Singh, M., Panigrahi, B. K., & Abhyankar, A. R. (2012). Combined optimal distance to overcurrent relay coordination. *PEDES 2012 - IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems*. <https://doi.org/10.1109/PEDES.2012.6484300>

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 21 Agustus 1999, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SMP 26 Surabaya dan SMAN 6 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis diterima di Departemen Teknik Elektro FTEIC - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 07111840000202.

Di Departemen Teknik Elektro Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan organisasi di ITS maupun departemen seperti Gerigi ITS dan ELECTRA. Penulis juga pernah menjabat sebagai ketua Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATEKTRO) tahun 2020-2021.