



TUGAS AKHIR - EE 184801

EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK WARU TERMASUK TRAFU 150 kV/20 kV

Muhammad Zaqi Mubarok
NRP 0711154000024

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

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



TUGAS AKHIR - EE 184801

EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK WARU TERMASUK TRAF0 150 kV/20 kV

Muhammad Zaqi Mubarak
NRP 0711154000024

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

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



FINAL PROJECT - EE 184801

Evaluation of the Protection Coordination System at Waru Substations Including 150 kV/ 20 kV Transformator

Muhammad Zaqi Mubarok
NRP 0711154000024

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

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

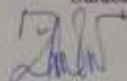
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Evaluasi Sistem Koordinasi Proteksi Gardu Induk Waru Termasuk Trafo 150 kV/20 kV**" adalah benar – benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan – bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

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

Surabaya, 2019



Muhammad Zaqi Mubarak
071115400024



**EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI Gardu Induk
WARU TERMASUK TRAF0 150 KV/20 KV**

TUGAS AKHIR

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

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
NIP. 19660318 199010 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.
NIP. 19650901 199103 2 002



PENGGUNAAN KURVA BATAS ENERGI UNTUK PENYEDERHANAAN ANALISIS BAHAYA BUSUR API PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PUPUK KUJANG

Nama : Muhammad Zaqi Mubarak
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

ABSTRAK

Keandalan dan kontinuitas merupakan faktor yang sangat dibutuhkan dalam sebuah sistem kelistrikan. Koordinasi sistem proteksi yang baik akan mengisolasi daerah gangguan dan mencegah terjadinya pemadaman di daerah yang lain. Untuk mejaga dan meningkatkan performa sistem proteksi perlu dilakukan suatu studi terhadap koordinasi rele pengaman yang terpasang. Tugas Akhir ini bertujuan untuk menyajikan analisis terhadap koordinasi proteksi pada Gardu Induk Waru PT. PLN (Persero). Metode yang digunakan untuk menganalisis koordinasi sistem proteksi yang terpasang pada Gardu Induk Waru adalah dengan menggunakan simulasi pada *software* pendukung yaitu ETAP 12.6.0. Data – data yang didapatkan disimulasikan dalam *software* ETAP 12.6.0, sehingga diketahui *setting* koordinasi proteksi *existing* pada Gardu Induk Waru. Kemudian, setelah dilakukan analisis terhadap *setting* koordinasi proteksi yang digunakan, diperlukan *resetting* pada rele *overcurrent* pada setiap rele *feeder*, rele bus *coupler*, rele *outgoing trafo*, dan rele *outgoing trafo*. Diperlukan juga *resetting directional ground relay* dan *ground fault relay* serta *differential relay*.

Kata Kunci: gangguan, koordinasi proteksi, rele pengaman.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ENERGY BOUNDARY CURVES APPLICATION TO SIMPLIFY THE ANALYSIS OF ARC-HAZARD IN PT. PUPUK KUJANG ELECTRICITY SYSTEM

Name : Muhammad Zaqi Mubarak
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Advisor II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

ABSTRACT

Reliability and reliability is the one of necessary factor in electrical system. A good coordination protection system will isolate the disturbance and prevent black-out in other areas. To maintain and improve the performance of the protection system, we need to perform a study on the existing protection relay coordination. In this final project will show the analisis of relay coordination at Waru Substation PT. PLN (Persero). ETAP 12.6.0 is used to help the process of the relay coordination studies. The existing data that obtained simulated in ETAP 12.6.0, so the existing setting of coordination protection system at Waru Substation will be obtained. From the analysis that faounded, resetting overcurrent relay is required on each feeder, bus coupler relay, outgoing transformers, and outgoing transformers relay. Also resetting directional ground relay, ground fault relay and differential relay is needed.

Keywords: *coordination protection, fault, protection relay.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya ucapkan kehadirat Allah azza wa jalla yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya selaku penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Evaluasi Sistem Koordinasi Proteksi Gardu Induk Waru Termasuk Trafo 150 kV/20 kV**”. Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penulisan Tugas Akhir ini, tentunya tidak lepas dari dukungan dan bantuan orang-orang yang telah banyak membantu penulis. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Segenap keluarga besar terutama ayah, ibu, dan adik-adik tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, ilmu, dan bimbingannya.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro ITS.
5. Bapak Muhammad Rizlani selaku manager UP3 Surabaya Selatan PT. PLN (Persero)
6. Bapak Erwin Budi Prasetyo selaku manager ULP Gedangan PT. PLN (Persero) dan seluruh pegawai PT. PLN (Persero) yang ikut terlibat.
7. Bapak Hishnul selaku Supervisor Gardu Induk Waru Surabaya.
8. Bapak Putra selaku Staff Teknik Gardu Induk Waru dan seluruh pegawai Gardu Induk Waru Surabaya.
9. Teman teman asisten dari Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) ITS serta teman-teman angkatan e55 atas segala dukungannya.
10. Risma Nur Anggraini Putri selaku pasangan penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan do'a untuk penulis.

11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Tujuan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi.....	3
BAB 2 GANGGUAN DAN PENGAMAN SISTEM PADA SISTEM TENAGA LISTRIK	5
2.1 Gangguan-Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	6
2.3 Pengaman Pada Sistem Tenaga Listrik	7
2.4 Elemen Dasar Rele Pengaman.....	7
2.5 Konsep Daerah Pengaman	8
2.6 Syarat-syarat Rele Pengaman.....	9
2.6.1 Kecepatan bereaksi	9
2.6.2 Kepekaan.....	10
2.6.3 Selektivitas	10
2.6.4 Keandalan.....	10
2.6.5 Ekonomis.....	11
2.7 Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>)	11
2.7.1 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih.....	11
2.7.2 Dasar Penyetelan Rele Rus Lebih	12

2.7.3	Penyetelan Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa	12
2.8	Karakteristik Rele Arus Lebih.....	13
2.8.1	Instantaneous Over Current Relay (IOC)	13
2.8.2	<i>Time Over Current Relay</i> (Rele Arus Lebih Dengan Waktu)	14
2.8.3	Koordinasi Arus dan Waktu	16
2.9	Rele Arus Lebih Perlindungan Transformator	16
2.10	Rele Diferensial (Differential Relay)	17
2.11	Rele Gangguan Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>)	21
BAB 3 SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK WARU		23
3.1	Koordinasi Proteksi Gardu Induk Waru.....	23
3.2	Data <i>Utility</i> PT. PLN (Persero).....	24
3.3	Data Transformator Daya.....	24
3.4	Data Rele Pengaman	26
3.4.1	Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya	26
3.4.2	Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya.....	27
3.4.3	Data <i>Feeder</i> 20 kV	28
BAB 4 KOORDINASI PROTEKSI DI GARDU INDUK WARU		31
4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan	31
4.2	Data Arus Hubung Singkat.....	31
4.3	Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa.....	32
4.3.1	Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1	32
4.3.2	Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2	39
4.3.3	Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3	43
4.3.4	Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4	50
4.4	Koordinasi Proteksi Rele Diferensial	55
4.4.1	Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Keadaan Normal	56
4.4.2	Perhitungan <i>Setting</i> Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV (<i>Line to Line</i>)	57

4.4.3	Perhitungan <i>Setting</i> Rele Differensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV (3 Fasa).....	58
4.4.4	Perhitungan <i>Setting</i> Rele Differensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV (<i>Line to Line</i>)....	59
4.4.5	Perhitungan <i>Setting</i> Rele Differensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV (3 Fasa).....	61
4.4.6	Perhitungan <i>Setting</i> Rele Differensial Ketika Gangguan Internal (<i>Line to Line</i>).....	62
4.4.7	Perhitungan <i>Setting</i> Rele Differensial Ketika Gangguan Internal (3 Fasa).....	64
4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah.....	67
4.5.1	Rele <i>Feeder</i> (Rele 33).....	68
4.5.2	Rele <i>Couple</i> (Couple 75)	69
4.5.3	Rele Incoming Transformer (R S7).....	70
BAB 5 PENUTUP		73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		75
BIOGRAFI PENULIS		77

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Konsep Kerja Rele [4]	7
Gambar 2.2	Bagan Elemen Dasar Rele Pengaman [4].....	8
Gambar 2.3	Konsep Daerah Pengaman.....	8
Gambar 2.4	Batas Ketelitian <i>Setting</i> Arus Berdasarkan <i>British Standard</i> 142-1983.....	12
Gambar 2.5	Karakteristik Rele Arus Lebih <i>Instant</i>	14
Gambar 2.6	Kurva Waktu Inverse [11]	15
Gambar 2.7	Rele Diferensial Saat Normal	18
Gambar 2.8	Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Internal	19
Gambar 2.9	Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Eksternal.....	19
Gambar 2.10	Kurva Karakteristik Rele Diferensial	20
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> Gardu Induk Waru Menuju <i>Feeder</i> 20 kV.....	24
Gambar 4.1	Single Line Diagram Tipikal 1.....	32
Gambar 4.2	Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 1 pada ETAP	33
Gambar 4.3	Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele Tipikal 1.....	38
Gambar 4.4	Single Line Diagram Tipikal 2	39
Gambar 4.5	Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 2 pada ETAP	40
Gambar 4.6	Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele Tipikal 2.....	42
Gambar 4.7	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3.....	43
Gambar 4.8	Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 3 pada ETAP	44
Gambar 4.9	Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele Tipikal 3.....	49
Gambar 4.10	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 4.....	50
Gambar 4.11	Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 4 pada ETAP	51
Gambar 4.12	Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele Tipikal 4	53
Gambar 4.13	Rele Diferensial Pada Gardu Induk Waru.....	55
Gambar 4.14	Gangguan Hubung Singkat Bus Dalek (<i>Line to Line</i>).....	57
Gambar 4.15	Gangguan Hubung Singkat Bus Dalek (3 Fasa)	58

Gambar 4.16 Gangguan Hubung Singkat Bus 150 kV (<i>Line to Line</i>).....	60
Gambar 4.17 Gangguan Hubung Singkat Bus 150 kV (3 Fasa)	61
Gambar 4.18 Gangguan Hubung Singkat Bus Primer Trafo 7 (<i>Line to Line</i>)	63
Gambar 4.19 Gangguan Hubung Singkat Bus Primer Trafo 7 (3 Fasa)	64
Gambar 4.20 Plot <i>resetting</i> Rele Diferensial.....	67
Gambar 4.21 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah	68
Gambar 4.22 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konstanta Karakteristik Kurva Berdasarkan standar IEC 255-4 dan <i>British Standard</i> BS142 [9]	16
Tabel 3.1	Spesifikasi Grid PT. PLN (Persero)	24
Tabel 3.2	Spesifikasi Transformator Daya 3	24
Tabel 3.3	Spesifikasi Transformator Daya 4	25
Tabel 3.4	Spesifikasi Transformator Daya 5	25
Tabel 3.5	Spesifikasi Transformator Daya 6	26
Tabel 3.6	Spesifikasi Transformator Daya 7	26
Tabel 3.7	Spesifikasi Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya 3, 4, 6, 7	27
Tabel 3.8	Spesifikasi Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya 5	27
Tabel 3.9	Spesifikasi Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya	27
Tabel 3.10	Spesifikasi Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya	28
Tabel 3.11	Data beban pada <i>feeder</i> 20 kV	28
Tabel 3.12	Data beban pada <i>feeder</i> 20 kV (Lanjutan)	29
Tabel 4.1	Data Hubung singkat Maksimum	31
Tabel 4.2	Data Hubung singkat Minimum	32
Tabel 4.3	<i>Setting</i> dan <i>Resetting</i> Rele	53
Tabel 4.4	<i>Setting</i> dan <i>Resetting</i> Rele (Lanjutan)	54
Tabel 4.5	<i>Setting</i> dan <i>Resetting</i> Rele (Lanjutan)	55
Tabel 4.6	Nilai slope pada setiap keadaan	65
Tabel 4.7	<i>Setting</i> dan <i>Resetting</i> Rele Arus Lebih Gangguan Tanah	71
Tabel 4.8	<i>Setting</i> dan <i>Resetting</i> Rele Arus Lebih Gangguan Tanah	72

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PT. PLN Persero adalah sebuah perusahaan BUMN yang bergerak di bidang tenaga listrikan. Dalam hal ini PLN merupakan satu – satunya perusahaan yang diizinkan menjual listrik ke masyarakat di Indonesia sesuai dengan Undang - Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan. Tentunya dalam menjual listrik ke masyarakat, PLN membutuhkan infrastruktur yang memadai berupa pembangkit, transmisi, dan distribusi. Maka dari itu, PLN diharuskan memiliki sistem koordinasi proteksi yang baik sehingga susut disteibusi dapat ditekan semaksimal mungkin.

Faktanya, hingga saat ini PLN masih memiliki beberapa kekurangan dalam sistem koordinasi proteksi yang mengakibatkan keandalan tidak cukup baik. Akibatnya, banyak terjadi perluasan daerah padam yang seharusnya tidak terjadi. Dengan adanya koordinasi proteksi yang baik, diharapkan gangguan yang terjadi dapat segera diisolasi dan diselesaikan dengan cepat. Sehingga keandalan dapat ditingkatkan dan waktu pengangan gangguan dapat dipercepat.

Koordinasi proteksi yang baik dapat tercapai dengan mengatur CT, *rating relay*, serta *time interval* antar CB sesuai dengan kebutuhan beban. Sehingga, dapat tercipta koordinasi proteksi yang dapat menyesuaikan dengan kebutuhan beban di Gardu Induk Waru.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini, akan dibahas beberapa perumusan masalah, diantaranya:

1. Bagaimana pengaturan koordinasi proteksi di Gardu Induk Waru saat ini?
2. Bagaimana mengatur koordinasi proteksi yang tepat untuk sistem kelistrikan pada Gardu Induk Waru?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. *Setting* waktu pengaman yang diamati pada Tugas Akhir ini hanya pada *overcurrent relay* (50/51), DGR, GFR, dan *differential relay*.

2. *Differential relay* yang dibahas hanya pada trafo 150 kV/20 kV yang menuju *feeder* 20 kV

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dilakukannya Tugas Akhir ini antara lain:

1. Memodelkan, menyimulasikan, dan menganalisa koordinasi proteksi pada Gardu Induk Waru.
2. Mendapat pemodelan koordinasi proteksi pada Gardu Induk Waru yang baik.

1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis melakukan studi literatur untuk memperkuat ide dan mencari teori penunjang melalui membaca dan mempelajari buku, jurnal ilmiah (*paper*), serta *browsing* melalui internet mengenai koordinasi proteksi tenaga listrik yang baik. Selain itu, penulis juga mempelajari perhitungan *setting* rele yang baik.
2. Pengumpulan Data
Penulis melakukan pengumpulan data-data yang dibutuhkan untuk tugas akhir ini. Pengumpulan data yang tepat dilakukan untuk menunjang keberhasilan dari simulasi dan keakuratan hasil tugas akhir. Data-data yang diperlukan antara lain adalah data *single line diagram* Gardu Induk Waru PT PLN (Persero) dan data peralatan-peralatan listrik yang meliputi data rele, rating *circuit breaker*, *current transformer*, bus, serta beban yang ada pada setiap *feeder*. Selain itu, data *setting* waktu rele pengaman eksisting juga diperlukan.
3. Pemodelan dan Simulasi
Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, pada tahap ini penulis akan melakukan pemodelan sistem kelistrikan Gardu Induk Waru PT PLN (Persero) dalam bentuk *single line diagram*. Pemodelan dilakukan menggunakan *software*. Pemodelan ini bertujuan agar dapat melakukan simulasi dan analisis data. Koordinasi proteksi sistem eksisting akan dilakukan *resetting* apabila diperlukan.
4. Analisis Data

Dari analisis data busur api sistem kelistrikan Gardu Induk Waru PT PLN (Persero), Akan diketahui, apakah koordinasi proteksi yang saat ini terpasang sudah baik atau perlu adanya *setting* ulang.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahapan yang terakhir adalah penyusunan laporan Tugas Akhir dan menentukan kesimpulan serta memberikan rekomendasi mengenai *setting* waktu rele pengaman atau rele differensial pada Gardu Induk Waru PT PLN (Persero).

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1: Pendahuluan

Menjelaskan tentang latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi atau manfaat penulisan Tugas Akhir.

BAB 2: Dasar Teori

Membahas tentang rele arus lebih, rele hubung singkat tanah, serta metode menentukan *setting* rele yang tepat.

BAB 3: Sistem Koordinasi Proteksi Gardu Induk Waru

Menjelaskan mengenai *existing* sistem koordinasi proteksi yang digunakan pada Gardu Induk Waru.

BAB 4: Simulasi dan Analisis Data

Bab ini membahas tentang hasil simulasi koordinasi proteksi Gardu Induk Waru yang dilakukan di ETAP 12.6.0 termasuk hasil analisa koordinasi proteksi *existing* dan evaluasi untuk *resetting* rele yang tidak sesuai dengan standar.

BAB 5: Penutup

Memberikan kesimpulan dan saran dari hasil analisis dan pembahasan yang telah diperoleh.

1.7 Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan nantinya dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

1. Sebagai referensi koordinasi proteksi yang dapat digunakan pada Gardu Induk Waru, sehingga dapat meningkatkan keandalan.

2. Sebagai referensi untuk pemeliharaan jika terdapat gangguan pada Gardu Induk Waru.

BAB 2

GANGGUAN DAN PENGAMAN SISTEM PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Gangguan-Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Pada sistem tenaga listrik tidak lepas dari terjadinya berbagai macam gangguan. Pada dasarnya, suatu gangguan merupakan suatu keadaan sistem yang menyimpang dari keadaan normal, hal ini dapat mengganggu proses pelayanan tenaga listrik. Ketika terjadi gangguan maka sistem proteksi tenaga listrik harus dapat mengisolasi arus gangguan agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan dan menjaga proses pelayanan tenaga listrik yang tidak mengalami gangguan.

Pada sistem tenaga listrik, gangguan yang mungkin terjadi yaitu:

a. Gangguan Arus Beban Lebih (*Over Loads*)

Beban lebih atau *overload* merupakan suatu kondisi abnormal. beban lebih tidak dapat disamakan dengan gangguan hubung singkat, beban lebih diakibatkan oleh arus yang melebihi dari kapasitas *rating* suatu peralatan sehingga dapat merusak peralatan [1]. Sebagai contoh, jika suatu transformator dibebani melebihi kapasitas *rating*-nya, maka dampak jangka panjangnya adalah umur dari transformator semakin pendek.

b. Gangguan Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Berdasarkan jenis gangguan fasa, gangguan dapat dibagi dalam 5 jenis [2], yaitu :

1. Gangguan fasa - tanah
2. Gangguan fasa - fasa
3. Gangguan fasa - fasa - tanah
4. Gangguan fasa - fasa - fasa
5. Gangguan fasa - fasa - fasa - tanah

Selain itu gangguan dapat digolongkan menjadi dua yaitu, gangguan simetri dan tak simetri (asimetris). Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk pada gangguan hubung singkat simetri, sedangkan gangguan lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetris).

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

2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan yang besar terhadap sistem tenaga. Biasanya arus hubung singkat memiliki nilai lebih besar dibandingkan arus beban. Akibat yang ditimbulkan dari besarnya nilai magnitudo menyebabkan kerusakan pada operasi sistem tenaga saat kondisi normal. Arus yang ditimbulkan dapat menyebabkan panas secara terus menerus sehingga dapat menyebabkan kebocoran isolasi, distorsi pada kumparan transformator, ataupun kerusakan fisik lainnya.

Banyak upaya yang dilakukan khususnya dalam teknik sistem tenaga dalam melakukan perencanaan untuk meminimalisir arus hubung singkat pada komponen sistem maupun dalam proses pelayanan industri. Bagian dari sistem tenaga yang telah bekerja sejauh ini adalah pengaman peralatan yang bekerja untuk mendeteksi dan bereaksi terhadap arus hubung singkat saat terjadi suatu kesalahan. Oleh karena itu, nilai arus hubung singkat haruslah dihitung terlebih dahulu untuk mengetahui spesifikasi peralatan proteksi yang dapat bekerja dengan baik.

Perhitungan praktis untuk menghitung besaran arus hubung singkat dalam sistem kelistrikan tiga fasa dapat ditunjukkan sebagai berikut [3] :

- a. Gangguan hubung singkat fasa – tanah.

$$I_{shLG} = \frac{3V_N}{Z_1+Z_2+Z_0} \quad (2.1)$$

- b. Gangguan hubung singkat fasa – fasa.

$$I_{hsLL} = \frac{\sqrt{3}V_N}{Z_1+Z_2} \quad (2.2)$$

- c. Gangguan hubung singkat fasa – fasa – tanah.

$$I_{hsLLG} = \frac{3V_N Z_2}{Z_1+Z_2+Z_0(Z_1+Z_2)} \quad (2.3)$$

- d. Gangguan hubung singkat tiga fasa

$$I_{hs3\phi} = \frac{V_N}{Z_1} \quad (2.4)$$

Dimana :

V_N = Tegangan fasa ke netral

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negatif

Z_0 = Impedansi urutan nol

2.3 Pengaman Pada Sistem Tenaga Listrik

Untuk Mengatasi gangguan-gangguan yang telah disebutkan di atas, maka diperlukan pengaman sistem tenaga listrik. Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik adalah, menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkitan atau sumber menuju konsumen. Sistem tersebut harus dirancang dan dikendalikan secara ekonomis dan handal agar sampai kepada pengguna. Banyak peralatan sistem tenaga listrik yang harganya sangat mahal dan memiliki sistem yang sangat rumit, menggambarkan banyaknya modal yang dikeluarkan untuk merancang sistem tenaga listrik ini. Biaya tersebut dapat kembali dengan cepat jika sistem tersebut memiliki pengaman dan keandalan sistem yang terjamin.

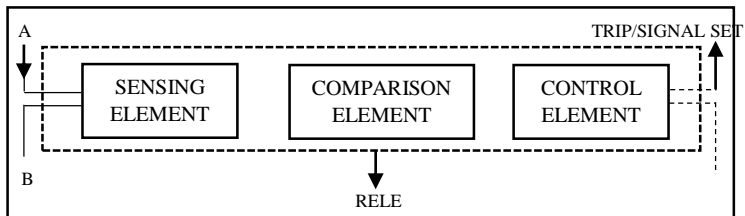
Rele merupakan satu bagian dari pengaman sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memberikan sinyal *trip* ke *circuit breaker* (CB), untuk memutuskan atau menghubungkan penyaluran energi listrik. Rele dapat mengisolasi zona gangguan dengan memberikan sinyal *trip* ke *circuit breaker* yang tepat. Dalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan operasi pada saat terjadi gangguan. Berikut adalah gambar skema konsep kerja rele:



Gambar 2.1 Skema Konsep Kerja Rele [4]

2.4 Elemen Dasar Rele Pengaman

Rele pengaman memiliki tiga elemen dasar seperti **Gambar 2.2** dibawah ini:



Gambar 2.2 Bagan Elemen Dasar Rele Pengaman [4]

a. Sensing Element

Elemen ini berfungsi untuk merasakan atau mengukur besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi dan sebagainya tergantung rele yang digunakan. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya apakah keadaan yang terdeteksi merupakan gangguan atau keadaan normal yang selanjutnya dikirmkan ke *sensing element*. Komponen yang berfungsi sebagai *sensing element* adalah transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT).

b. Comparison Element

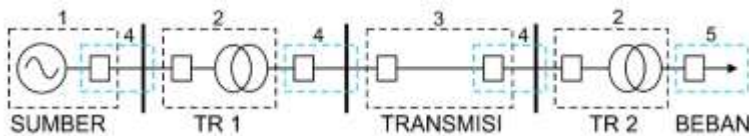
Elemen ini berfungsi untuk menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran diterima oleh *sensing element* untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran yang di-*setting* pada rele. Komponen yang berfungsi sebagai *sensing element* adalah rele, yang bekerja setelah mendaatkan besaran dari *sensing element* dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dan kerja rele.

c. Control Element

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka *circuit breaker* atau memberikan sinyal. Komponen yang berfungsi sebagai *control element* adalah kumparan penjatuh (*trip-coil*).

2.5 Konsep Daerah Pengaman

Konsep daerah pengaman menjelaskan tentang batas daerah bagi sistem pengaman. Sehingga suatu sistempengaman akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi di daerahnya sendiri dan memberikan pengamanan terhadap gangguan tersebut. [5].



Gambar 2.3 Konsep Daerah Pengaman

Konsep Daerah pengaman dapat dilihat pada **Gambar 2.3**, dimana dalam gambar tersebut merupakan suatu sistem tenaga listrik yang terdiri

dari sebuah generator, dua buah transformator, satu saluran transmisi dan dua buah bus bar yang digambarkan dalam diagram segaris (*single line diagram*).

Garis putus-putus yang membentuk suatu *loop* tertutup menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik kedalam empat daerah perlindungan. Adapun daerah-daerah perlindungannya adalah sebagai berikut:

1. Daerah 1 : Daerah pengamanan sumber
2. Daerah 2 : Daerah pengamanan transformator
3. Daerah 3 : Daerah pengamanan transmisi
4. Daerah 4 : Daerah pengamanan busbar
5. Daerah 5 : Daerah pengamanan beban

Batas setiap daerah menentukan suatu bagian dari sistem tenaga listrik sedemikian sehingga untuk suatu gangguan dimanapun dalam daerah tersebut, sistem pengaman yang bertanggung jawab akan bekerja dan memisahkan semua yang berada dalam daerah itu dari seluruh bagian yang lain dari sistem melalui pemutus rangkaian dari sistem pengaman.

Pada konsep daerah pengaman fungsi dari rele dibedakan menjadi dua, yaitu sebagai rele pengaman utama dan rele pengaman cadangan (*back-up*). Rele pengaman cadangan akan berfungsi jika rele pengaman utama tidak bekerja saat terjadi gangguan hubung singkat.

2.6 Syarat-syarat Rele Pengaman

Karena rele pengaman merupakan salah satu kunci kelangsungan kerja dari sistem tenaga listrik maka untuk menjamin keandalan dari sistem tersebut diperlukan rele pengaman yang memenuhi syarat-syarat sebagai berikut [5]:

2.6.1 Kecepatan bereaksi

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya [6]. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman diberikan waktu tunda. Namun waktu tunda ini harus secepat mungkin, karena kelambatan kerja proteksi dapat mengganggu kestabilan sistem atau merusak peralatan karena *thermal stress*.

Waktu bereaksi ini sendiri memang diusahakan secepat mungkin sehingga kerusakan-kerusakan pada alat yang ditimbulkan gangguan tersebut dapat dicegah serta dibatasi meluasnya pengaruh akibat adanya gangguan tersebut.

2.6.2 Kepekaan

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi rangsangan yang minimum. Kepekaan rele diartikan sebagai kemampuan merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi kerja normal. Bila suatu kondisi kerja normal tiba tiba mengalami gangguan, maka sistem pengaman harus cepat tanggap (peka). Sensitifitas dapat dituliskan dengan persamaan faktor sesnsitifitas K_s , yang merupakan perbandingan arus hubung singkat minimum dan arus *pick up* [7].

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

Dimana:

I_{scmin} = arus hubung singkat minimum.

I_{pp} = arus *pick up* (arus kerja) primer dari pengaman.

2.6.3 Selektivitas

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya bagian yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanannya utamanya. Pengaman yang dapat melakukannya dengan baik disebut pengaman selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di kawasan pengamanannya utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak di bagian berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya berada di luar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

2.6.4 Keandalan

Terdapat tiga aspek penting dalam keandalan pengaman yaitu:

- a. *Dependability*
Dependability yaitu tingkat bekerja suatu rele (keandalan kemampuan bekerja suatu rele). Pada prinsipnya rele pengaman harus dapat diandalkan untuk *trip* jika diperintahkan (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu) dan tidak boleh gagal bekerja. Sehingga *dependability*-nya harus tinggi.

- b. *Scurity*
Scurity yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Kondisi salah kerja adalah kondisi dimana rele bekerja saat seharusnya rele tidak bekerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi.
- c. *Avaibility*
Avaibility yaitu perbandingan antara waktu dimana rele pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

Keadaan rele dihitung dengan jumlah rele bekerja terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele yang baik berdasarkan standar teknik sebesar 94%.

2.6.5 Ekonomis

Sisteam pengaman peralatan juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis dari pemasangan peralatan pengaman tersebut. Karena itu tidak semua peralatan harus dilengkapi dengan pengaman yang lengkap karena harga peralatan pengaman juga harus diperhitungkan tanpa menghilangkan efektivitas penyaluran daya listrik. Sisi ekonomis perlu dipertimbangkan setelah aspek teknis telah terpenuhi untuk kelayakan operasi peralatan.

2.7 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

2.7.1 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan suatu jenis rele yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan [8], apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_p) maka rele ini akan bekerja. Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut belitan sekunder dari transformator arus (CT).

Bila suatu gangguan terjadi di dalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan I_f juga dinyatakan tergadap gulungan sekunder CT juga. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll}
 I_f > I_p & \text{rele bekerja} & (\textit{trip}) \\
 I_f < I_p & \text{rele tidak bekerja} & (\textit{block})
 \end{array}$$

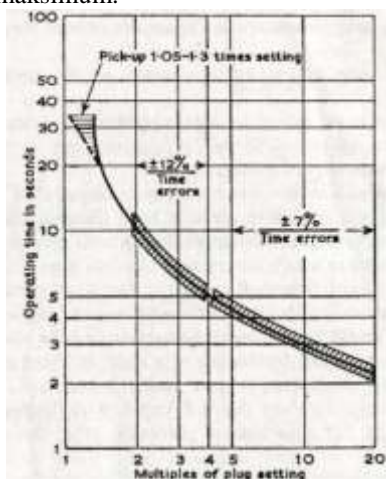
2.7.2 Dasar Penyetelan Rele Rus Lebih

Pada dasarnya rele arus lebih berfungsi sebagai pengaman gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih. Fungsi rele ini disamping sebagai pengaman utama untuk bagian yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan pada bagian berikutnya. Hal ini terjadi apabila rele arus lebih dipakai pada sistem distribusi tegangan menengah. Namun untuk saluran transmisi tegangan tinggi rele arus lebih berfungsi sebagai pengaman cadangan.

Mengingat gangguan yang terjadi pada saluran transmisi adalah gangguan hubung singkat fasa ke tanah, maka penyetelannya juga berbeda sehingga akan diuraikan kriteria penyetelan untuk gangguan fasa dan gangguan tanah secara terpisah.

2.7.3 Penyetelan Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa

Penyetelan arus untuk rele arus lebih mempunyai batasan besarnya arus. Pada dasarnya batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting*-nya harus lebih besar dari arus beban maksimum.



Gambar 2.4 Batas Ketelitian *Setting* Arus Berdasarkan *British Standard* 142-1983

Berdasarkan **Gambar 2.4** diatas batas penyetelan harus memperhatikan kesalahan *pick up*, menurut *British Standard* BS 142-

1983 batas penyetelan antara nominal $1,05 - 1,31 I_{\text{nominal}}$ [5]. Mengacu pada *standard* tersebut, pada tugas akhir ini lebih aman menggunakan konstanta $1,05 - 1,2 I_{\text{nominal}}$. Jadi untuk *setting*-nya dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{\text{set}} \geq 1,05 - 1,2 \times I_{\text{nominal}} \quad (2.6)$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{Primary CT}} \quad (2.7)$$

Nilai *setting low set* yang diaplikasikan pada rele adalah xIn (Pada *relay editor* ETAP, *setting low set* adalah xCT).

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum *setting* untuk alasan keamanan dan *back up* hingga ke daerah *setting* yang ditetapkan:

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 I_{\text{sc-LL,min}} \quad (2.8)$$

$I_{\text{sc-LL,min}}$ adalah arus hubung singkat 2 fasa minimum yang terjadi di ujung saluran bagian berikutnya. Mengacu pada konsep diatas persyaratan *setting* arus dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$1,05 I_{\text{FLA}} \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 I_{\text{sc-LL,min}} \quad (2.9)$$

Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus diatur untuk dapat bekerja pada waktu secepat mungkin.

2.8 Karakteristik Rele Arus Lebih

Berdasarkan karakteristik waktunya rele arus lebih dibedakan menjadi:

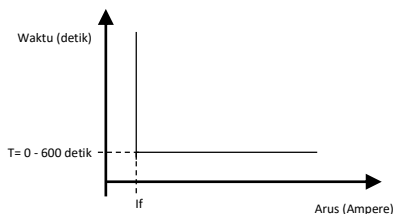
- a. *Instantaneous Over Current Relay* (IOC)
- b. *Time Over Current Relay* (TOC)

2.8.1 Instantaneous Over Current Relay (IOC)

Pada dasarnya prinsip kerja rele jenis ini adalah tidak ada penundaan waktu, tetapi dari spesifikasi yang didapatkan pada buku manual UR Series, rele arus lebih instan ini memiliki rentang waktu 0-600 detik [9].

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada daerah yang dilindungi. Jika saat terjadi gangguan hubung singkat, membukanya CB dalam waktu cepat sekali

(*5cycles*), berarti gangguan hubung singkat yang terjadi adalah arus yang sangat besar. Bila arus yang mengalir melebihi nilai yang diinginkan, maka harga I_r yang keluar dari sisi sekunder transformator arus juga akan naik melebihi arus *setting* rele sehingga rele akan bekerja. Kerja rele ini ditandai dengan menutupnya rangkaian rele, dengan adanya sumber DC maka *tripping coil* akan menarik kontak CB, sehingga CB akan terbuka. Untuk mengetahui bekerjanya rele, maka sering digunakan lampu indikator atau yang dipasang antara rele dan *tripping coil*.

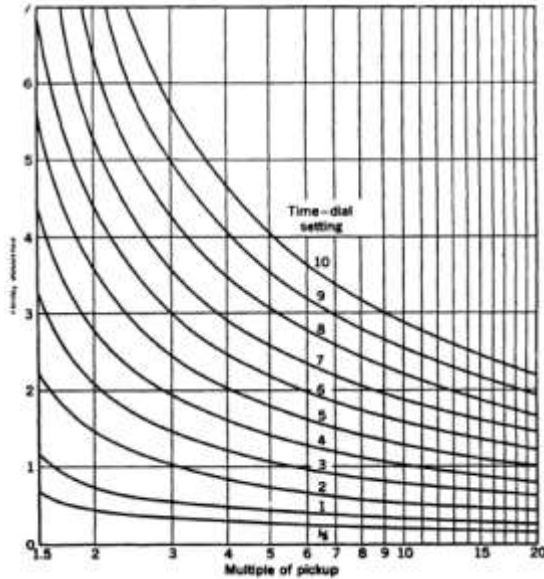


Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih *Instant*

2.8.2 *Time Over Current Relay (Rele Arus Lebih Dengan Waktu)*

Setting proteksi rele ini menggunakan karakteristik *invers time rele*, karakteristik grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka *circuit breaker* sehingga dalam *setting*-nya nanti rele jenis ini perlu mengetahui besarnya arus hubung singkat untuk setiap bagian di samping arus nominalnya serta kurva karakteristik rele. Cara kerja *inverse time* rele adalah sebagai berikut [10]:

1. Rele akan *pick up* pada arus gangguan $> I_{set}$
2. Bila perbandingan antara arus gangguan dan *setting* arus > 1 , maka elemen waktu akan mulai menghitung.
3. Hitungan waktu selesai bila kontak menutup dan lamanya tergantung besarnya perbandingan arus itu. Makin besar arus, makin cepat kerja rele.
4. *Setting* waktu menggunakan *Time Dial* (td)
5. Dengan *setting* td yang tetap, perubahan *setting* arus akan mempengaruhi waktu kerja rele.



Gambar 2.6 Kurva Waktu Inverse [11]

Kurva waktu pada **Gambar 2.6** menunjukkan tidak hanya digunakan untuk memperkirakan berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh rele untuk menutup kontaknya pada sebuah level *pick up* tertentu dan untuk setiap penyesuaian waktu tetapi juga digunakan untuk melihat interval waktu. Sebagai contoh, dalam sebuah *setting* digunakan *time dial* 5 dengan *pick up* 3 maka waktu yang dibutuhkan oleh rele untuk menutup kontaknya kurang lebih 2,45 detik [11].

Adapun karakteristik *inverse relay* berdasarkan standar IEC 255-4 dan *British standard* BS 142, adalah sebagai berikut [9]:

$$T = T_{DM} \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^E - 1} \right] \quad (2.10)$$

Dimana:

- T = waktu operasi rele (detik)
- T_{DM} = *time dial*
- K, E = konstanta

- I = arus gangguan (amper)
 I_{pickup} = arus *pick up* (ampera)

Tabel 2.1 Konstanta Karakteristik Kurva Berdasarkan standar IEC 255-4 dan *British Standard* BS142 [9]

Karakteristik Kurva	K	E
IEC <i>Invers Curve</i>	0,14	0,02
IEC <i>Very Invers Curve</i>	13,5	1
IEC <i>Extrimely InversCurve</i>	80	2
IEC <i>Short Inverse</i>	0,05	0,04

2.8.3 Koordinasi Arus dan Waktu

Dalam suatu sistem proteksi kelistrikan, terdapat beberapa susunan rele pengaman yang terdiri atas rele utama dan rele *back up*. Antara rele pengaman utama dengan rele pengaman *back up* ini harus dikoordinasikan agar menghasilkan sistem proteksi yang baik. Adapun koordinasi ini dilakukan pada *setting pick up* dan *time delay* dari rele tersebut. Pada *setting* waktu, dikenal adanya *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *back up* adalah 0,2 – 0,4 detik [13]. Adapun penentuan *grading time* ini didasarkan pada tiga hal, yaitu:

- Waktu membuka CB (*critical clearing time*)
- *Overtravel* dari rele
- Faktor keamanan

Untuk rele berbasis mikroprosesor waktu *overtravel* dari rele dapat diabaikan, sehingga pada tugas akhir ini *grading time* (Δt) yang digunakan adalah 0,2 detik.

2.9 Rele Arus Lebih Perlindungan Transformator

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat luar atau kondisi beban lebih, maka arus gangguan akan mengalir melalui sisi primer ke sisi sekunder transformator menuju titik gangguan. Bila gangguan ini berlangsung relatif lama, maka keadaan ini dapat membahayakan transformator akibat tekanan thermis (*thermal stress*).

Dalam hal ini rele arus lebih dipergunakan untuk melindungi transformator terhadap arus gangguan baik itu gangguan ringan ataupun gangguan beban lebih, dimana operasi dari rele-rele tersebut

dikoordinasikan dengan rele-rele yang lain. Untuk arus gangguan yang besar dipergunakan trip seketika, yang seketika akan memutuskan transformator dari sistem.

Pada pengaturan rele arus lebih juga harus diperhatikan kondisi dari transformator, karena pada saat transformator dihubungkan ke sumber akan terjadi *inrush current* yang terjadi pada transformator berlainan antara transformator yang satu dengan yang lainnya. Hal ini sangat tergantung dari kualitas transformator itu tersendiri. Biasanya nilai dari *inrush current* bisa sampai 12 kali dari arus nominal dengan lama durasi 5 *cycle* [14]. Pengaturan nilai suatu rele arus lebih ditetapkan pada suatu batas maksimum ($I_{highset}$) [12]:

$$I_{sc \max B} < I_{high \ set} < 0,8 I_{sc \ min \ A} \quad (2.1)$$

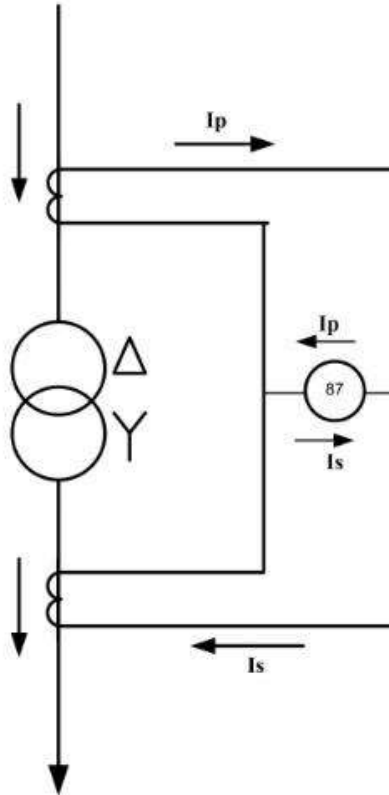
Dimana,

$I_{sc \ max \ B}$ merupakan hubung singkat maksimum tiga fasa pada titik B.

$I_{sc \ max \ A}$ merupakan arus hubung singkat minimum fasa ke fasa pada titik A.

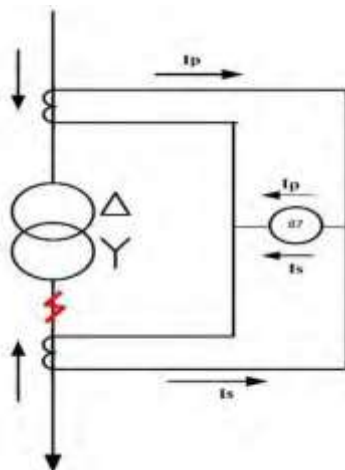
2.10 Rele Diferensial (Differential Relay)

Rele ini berfungsi melindungi suatu daerah listrik tertentu dengan cara membaca arus masuk dan arus yang keluar dari daerah listrik yang dilindunginya tersebut. Prinsip kerja rele diferensial berdasarkan hukum kirchoff dimana jumlah arus yang masuk dan jumlah arus yang keluar pada suatu titik adalah sama. Rele diferensial akan bekerja ketika jumlah arus yang masuk tidak sama dengan jumlah arus yang keluar tanpa terpengaruh dengan gangguan akibat beban lebih. Daerah kerja rele diferensial dibatasi oleh sepasang transformator arus atau disebut CT (*Current Transformer*). Rele diferensial digunakan sebagai pengamanan transformator daya, generator, busbar, dan saluran transmisi.



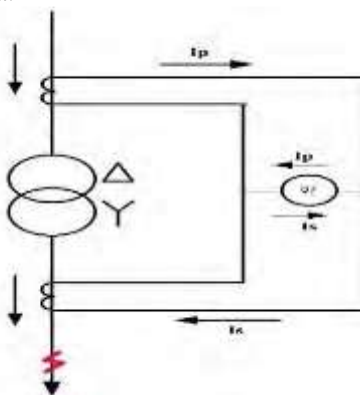
Gambar 2.7 Rele Diferensial Saat Normal

Pada gambar 2.7 diatas terlihat bahwa arah arus I_p dan arah arus I_s saling berlawanan yang mengakibatkan $I_{diff} = 0$. Sehingga rele diferensial tidak akan bekerja. Kondisi ini juga berlaku ketika ada gangguan eksternal atau diluar daerah pengamanan rele diferensial. Ketika ada gangguan eksternal maka arah arus I_p dan arah arus I_s saling berlawanan yang mengakibatkan $I_{diff} = 0$ dan rele diferensial tidak akan bekerja.



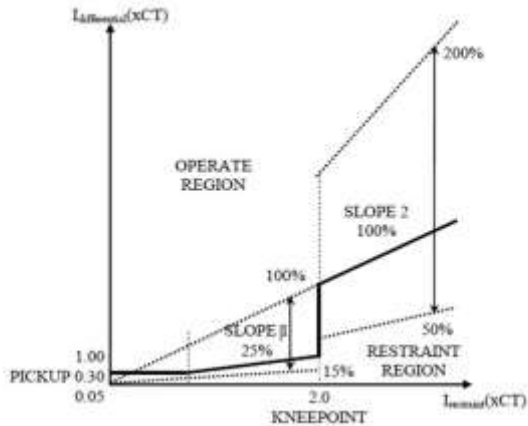
Gambar 2.8 Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Internal

Dari Gambar 2.8 diatas, terlihat bahwa arus I_p dan I_s searah sehingga I_{diff} tidak sama dengan nol. Karena I_{diff} tidak sama dengan nol, maka rele diferensial akan bekerja.



Gambar 2.9 Rele Diferensial Saat Ada Gangguan Eksternal

Dari Gambar 2.9 diatas, terlihat bahwa arus I_p dan I_s tidak searah sehingga $I_{diff} = 0$. Karena I_{diff} sama dengan nol, maka rele diferensial tidak akan bekerja.



Gambar 2.10 Kurva Karakteristik Rele Diferensial

Ada dua daerah kurva pada gambar diatas, dimana ada daerah atas adalah daerah dimana rele diferensial bekerja, sedangkan daerah bawah adalah daerah dimana rele diferensial tidak bekerja dan tetap melakukan proses pembacaan arus.

Ada beberapa perhitungan yang harus didapatkan untuk menentukan *setting* rele diferensial yaitu:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} V} \quad (2.12)$$

Dimana:

- I_n : Arus Nominal (Ampere)
- S : Daya Trafo (MVA)

Kemudian menghitung I_n CT. I_n CT adalah arus I_p ataupun I_s yang ditunjukkan pada gambar 2.8. Perhitungan untuk I_p ataupun I_s tersebut adalah sama namun untuk rasio CT tergantung dari masing – masing arus. Jika I_p yang akan dihitung, maka rasio CT yang digunakan adalah rasio CT sisi primer. Jika I_s yang akan dihitung, maka rasio CT yang digunakan adalah rasio CT sisi sekunder.

$$I_{fl} = \frac{1}{ratio\ CT} \times I_n \quad (2.13)$$

Kemudian menghitung I_{diff} . I_{diff} adalah arus yang akan mengoperasikan rele diferensial.

$$I_{diff} = |I_P - I_S| \quad (2.14)$$

Kemudian menghitung $I_{restrain}$ atau arus penahan. Arus penahan ini adalah arus yang mengalir pada kumparan penahan. Kumparan penahan berfungsi untuk menahan kerja rele diferensial pada zona *unbalance current*, yaitu arus yang tidak stabil disebabkan oleh adanya kekeliruan dalam hal akurasi sebuah CT, ketika ada perubahan tap changer transformator daya oleh on load tap changer (OLTC).

$$I_{restrain} = \frac{(I_P + I_S)}{2} \quad (2.15)$$

Kemudian menghitung *%Slope*. Untuk *%Slope₁* berguna untuk menentukan arus diferensial dan arus restrain ketika kondisi normal sehingga ketika gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, rele diferensial dapat bekerja. Sedangkan untuk *%Slope₂* berguna supaya rele tidak bekerja karena adanya gangguan dari luar daerah pengaman rele diferensial yang memiliki arus yang lebih besar daripada arus *setting* rele diferensial.

$$\%Slope_1 = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\% \quad (2.16)$$

$$\%Slope_2 = \left(\frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 2 \right) \times 100\% \quad (2.17)$$

Sehingga bisa didapatkan *setting* arus rele diferensial dengan menggunakan persamaan:

$$I_{setting} = \%Slope_{(1,2)} \times I_{restrain} \quad (2.18)$$

2.11 Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

Rele gangguan tanah atau disebut *ground fault relay* memiliki prinsip kerja yang sama dengan rele arus lebih, tetapi memiliki fungsi

yang berbeda. Rele gangguan tanah ini mendeteksi hubung singkat ke tanah (satu fasa atau dua fasa ke tanah), sedangkan rele arus lebih mendeteksi hubung singkat antara fasa.

Untuk menghitung *setting* rele gangguan tanah menggunakan persamaan:

$$\frac{5\% - 10\% \times I_{NGR}}{\text{rasio ZCT}} \leq I_{set} \leq \frac{50\% \times I_{NGR}}{\text{rasio ZCT}} \quad (2.19)$$

BAB 3

SISTEM KOORDINASI PROTEKSI GARDU INDUK WARU

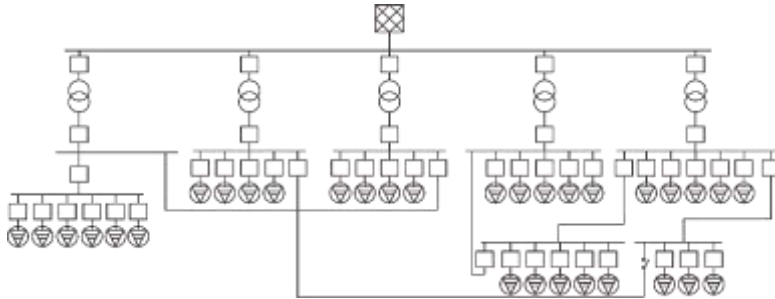
Seperti yang telah dijelaskan pada bab pendahuluan, tujuan dari studi ini adalah menganalisa *setting* rele eksisting pada sistem kelistrikan Gardu Induk Waru. Dari hasil analisa tersebut dapat diketahui, apakah *setting* rele eksisting sudah sesuai dan dapat bekerja dengan optimal. Apabila *setting* rele eksisting tidak memenuhi syarat dari koordinasi proteksi yang baik, maka perlu dilakukan *resetting*. Dengan *setting* baru ini diharapkan sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) tetap handal.

Tahap pertama, dilakukan pengambilan data – data yang lengkap pada Gardu Induk Waru karena merupakan hal yang utama untuk menyelesaikan permasalahan studi. Data – data yang diambil meliputi spesifikasi grid yang menyuplai beban, *setting* rele eksisting, dan semua rating beban *feeder* pada Gardu Induk Waru. Setelah semua data cukup, pemodelan sistem dilakukan untuk mengetahui koordinasi proteksi eksisting pada Gardu Induk Waru.

Simulasi sistem kelistrikan dilakukan melalui *software* ETAP 12.6.0 untuk mengetahui level *short circuit* pada bus yang mungkin terjadi gangguan hubung singkat, kemudian dilakukan perhitungan *settingi* pengaman dan kurva karakteristik diplot serta koordinasi terhadap rele – rele pengaman lainnya. Rekomendasi merupakan masukan atau saran setelah dilakukannya studi, kemudian hasil studi disimpulkan.

3.1 Koordinasi Proteksi Gardu Induk Waru

Gardu Induk Waru merupakan gardu induk yang berlokasi di Waru, Surabaya. Gardu induk ini memiliki 5 transformator yang menuju *feeder* 20 kV yang berjumlah 32 *feeder*. Untuk *single line diagram* Gardu Induk Waru yaitu:



Gambar 3.1 Single Line Diagram Gardu Induk Waru Menuju Feeder 20 kV

3.2 Data Utility PT. PLN (Persero)

Gardu Induk Waru disuplai oleh *utility* PT. PLN (Persero) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Grid PT. PLN (Persero)

Data	Spesifikasi
MVA _{sc} 3 fasa	9665,363 MVA _{sc}
MVA _{sc} 1 fasa	9147,046 MVA _{sc}
X/R	5,023

3.3 Data Transformator Daya

Gardu Induk Waru memiliki 5 transformator daya yang bekerja untuk spesifikasi transformator daya, yaitu:

Tabel 3.2 Spesifikasi Transformator Daya 3

Data	Spesifikasi
Merek	PAUWELS
Tipe	ORF 60/275
No. Seri	7.1171.363
Rating Daya	60 MVA
Pendingin	ONAN/ONAF
Rating Tegangan	150/20 kV
I _{FLA} Primer/Sekunder	230.9/1732 A
Impedansi (Z%)	12.5 %
Hubungan belitan	YnynO(d)
Pentanahan Belitan Primer	Solid Grounding
Pentanahan Belitan Sekunder	NGR 500 Ω

Tabel 3.3 Spesifikasi Transformator Daya 4

Data	Spesifikasi
Merek	PAUWELS
Tipe	ORF 60/275
No. Seri	93P0001
Rating Daya	60 MVA
Pendingin	ONAN/ONAF
Rating Tegangan	150/20 kV
I_{FLA} Primer/Sekunder	230.9/1732 A
Impedansi (Z%)	12.984 %
Hubungan belitan	YynO(d)
Pentanahan Belitan Primer	<i>Solid Grounding</i>
Pentanahan Belitan Sekunder	NGR 500 Ω

Tabel 3. 4 Spesifikasi Transformator Daya 5

Data	Spesifikasi
Merek	XIAN
Tipe	SFZ-50000/150
No. Seri	A95019-4
Rating Daya	50 MVA
Pendingin	ONAN/ONAF
Rating Tegangan	150/20 kV
I_{FLA} Primer/Sekunder	192.5/1443.4 A
Impedansi (Z%)	12.17 %
Hubungan belitan	YynO(d)
Pentanahan Belitan Primer	<i>Solid Grounding</i>
Pentanahan Belitan Sekunder	NGR 500 Ω

Tabel 3. 5 Spesifikasi Transformator Daya 6

Data	Spesifikasi
Merek	PAUWELS
Tipe	IEC60076
No. Seri	03P0058
Rating Daya	60 MVA
Pendingin	ONAN/ONAF
Rating Tegangan	150/20 kV
I_{FLA} Primer/Sekunder	230.9/1732 A
Impedansi (Z%)	13.58 %
Hubungan belitan	YnynO(d)
Pentanahan Belitan Primer	<i>Solid Grounding</i>
Pentanahan Belitan Sekunder	NGR 500 Ω

Tabel 3.6 Spesifikasi Transformator Daya 7

Data	Spesifikasi
Merek	PAUWELS
Tipe	ORF60/275
No. Seri	3011070079
Rating Daya	60 MVA
Pendingin	ONAN/ONAF
Rating Tegangan	150/20 kV
I_{FLA} Primer/Sekunder	230.9/1732 A
Impedansi (Z%)	12.38 %
Hubungan belitan	YnynO(d)
Pentanahan Belitan Primer	<i>Solid Grounding</i>
Pentanahan Belitan Sekunder	NGR 500 Ω

3.4 Data Rele Pengaman

Terdapat beberapa rele pengaman yang berfungsi untuk mengamankan peralatan di Gardu Induk Waru dari gangguan yang terjadi, yaitu:

3.4.1 Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya

Rele arus lebih yang terpasang pada sisi primer transformator 3, 4, 6, dan 7 memiliki spesifikasi yang sama, yaitu:

Tabel 3.7 Spesifikasi Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya 3, 4, 6, 7

Data	Spesifikasi
Merek	GEC
Tipe	MCGG
Rasio CT	400/5
$I_{>}$	280 A
$t_{>}$	0,3
$I_{>>}$	2240 A
$t_{>>}$	-

Tabel 3.8 Spesifikasi Rele Arus Lebih Primer Transformator Daya 5

Data	Spesifikasi
Merek	ALSTOM
Tipe	P142
Rasio CT	400/5
$I_{>}$	280 A
$t_{>}$	0,3
$I_{>>}$	2520 A
$t_{>>}$	-

3.4.2 Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya

Rele arus lebih pada sisi sekunder untuk transformator daya 3, 4, 6, 7 yang terpasang memiliki spesifikasi yang sama, yaitu:

Tabel 3.9 Spesifikasi Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya

Data	Spesifikasi
Merek	GE
Tipe	MIFIIP100E20HIC0
Rasio CT	2000/5
Rasio ZCT	60/5
$I_{>}$	2000 A
$t_{>}$	0,2
$I_{>>}$	5200 A
$t_{>>}$	0,7
$I_{o>}$	45 A
$t_{o>}$	0,1 LTI

Sedangkan, pada transformator daya 5 terpasang rele arus lebih di sisi sekunder sebagai berikut:

Tabel 3.10 Spesifikasi Rele Arus Lebih Sekunder Transformator Daya

Data	Spesifikasi
Merek	GE
Tipe	MIFIP100E20HICO
Rasio CT	2000/5
Rasio ZCT	100/5
$I_{>}$	1720 A
$t_{>}$	0,2
$I_{>>}$	4400 A
$t_{>>}$	0,7
$I_{o>}$	45 A
$t_{o>}$	0,1 LTI

3.4.3 Data Feeder 20 kV

Feeder 20 kV pada Gardu Induk Waru berjumlah 32 *feeder*. Setiap *feeder* memiliki beban yang berbeda – beda. Spesifikasi *feeder* 20 kV tersebut yaitu:

Tabel 3.11 Data beban pada *feeder* 20 kV

No.	Nama <i>Feeder</i> 20 kV	Beban <i>Feeder</i> 20 kV (MVA)
1	A. Yani	4,503
2	Bambe	4,295
3	BLKI	3,776
4	Bungurasi	6,201
5	Cito	2,148
6	Graha Pena	1,455
7	Injoko	4,711
8	Kalibader	2,979
9	Ketapang Suko	4,088
10	Kramayuda	2,910
11	Medaeng	0,762
12	Pabean 1	6,478
13	Pagesangan	6,201
14	Pepelegi	5,369
15	Platinum 1	2,286

Tabel 3.12 Data beban pada *feeder* 20 kV (Lanjutan)

No.	Nama <i>Feeder</i> 20 kV	Beban <i>Feeder</i> 20 kV (MVA)
16	Platinum 2	2,217
17	Purabaya	0,173
18	Purnomo Sejati 1	4,295
19	Purnomo Sejati 2	4,157
20	Sawotratap	1,386
21	Soda	2,217
22	Suparma	0,970
23	Suparma 2	0,277
24	Surya International	2,113
25	Tiras 1	4,884
26	Trias 2	1,143
27	Trosobo	2,529
28	UBM	2,737
29	UPB 1	0,277
30	UPB 2	0,139
31	Wage	4,226
32	Wonocolo	3,637

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

KOORDINASI PROTEKSI DI GARDU INDUK WARU

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Untuk mempermudah analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini diperlukan suatu pemodelan sistem kelistrikan dari PT. PLN (Persero). Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Data – data yang dibutuhkan dalam melakukan pemodelan sistem kelistrikan ini, antara lain:

1. Grid PLN
2. Transformator
3. Rele proteksi
4. Beban

Setelah melakukan pemodelan sistem kelistrikan ini, dilakukan analisis yang mendukung dalam studi proteksi pada PT. PLN (Persero). Agar mempermudah dalam melakukan studi koordinasi proteksi pada PT. PLN (Persero), maka diambil beberapa contoh tipikal koordinasi yang dapat mewakili sebagian besar seluruh koordinasi proteksi yang ada pada sistem tersebut.

4.2 Data Arus Hubung Singkat

Arus Hubung singkat yang akan dihitung adalah arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum. Dimana, arus hubung singkat maksimum yaitu arus hubung singkat 3 fasa. Sedangkan, arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat *phase to phase*.

Tabel 4.1 Data Hubung singkat Maksimum

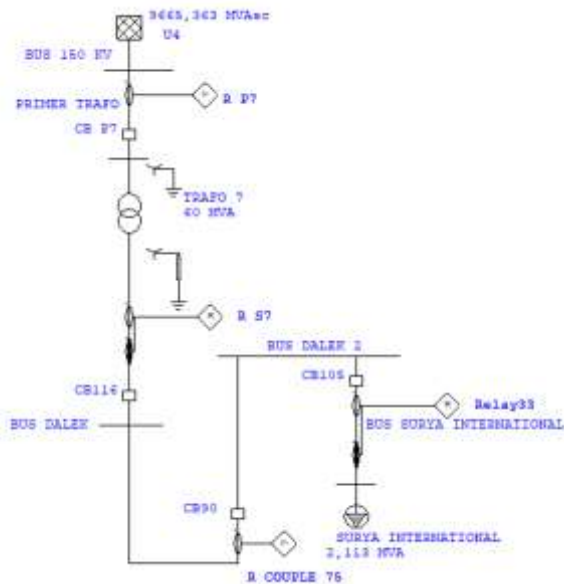
No.	Bus	Tegangan (kV)	I_{scmax} (kA)
1	150 kV	150	38,73
2	DALEK	20	18,04
3	DALEK 3	20	15,28

Tabel 4. 2 Data Hubung singkat Minimum

No.	Bus	Tegangan (kV)	I_{scmax} (kA)
1	150 kV	150	37,61
2	DALEK	20	15,63
3	DALEK 3	20	13,23

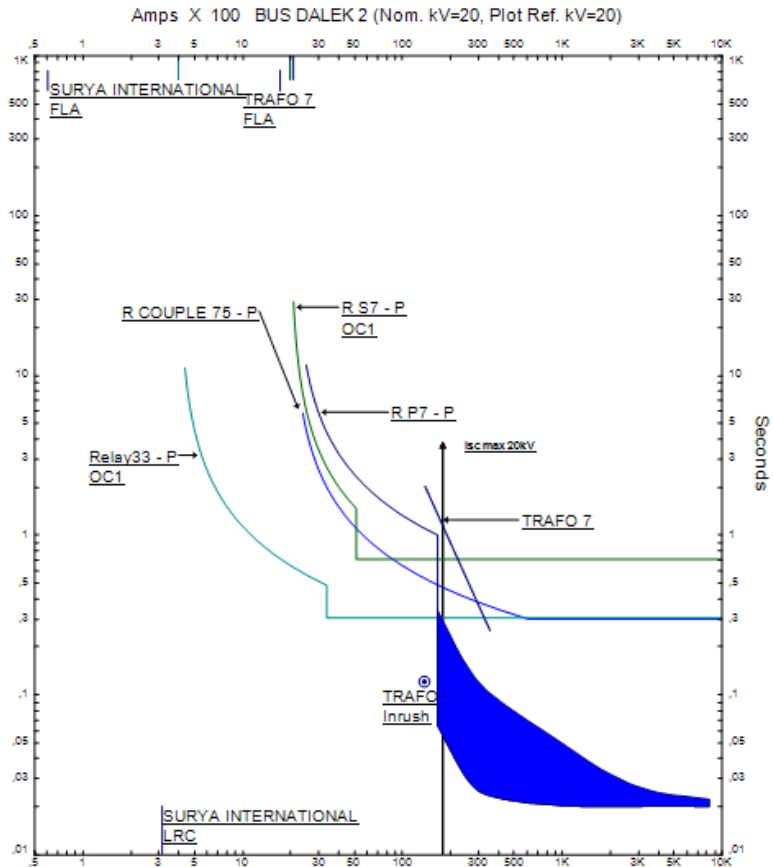
4.3 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa

4.3.1 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 1



Gambar 4.1 Single Line Diagram Tipikal 1

Berikut adalah kurva koordinasi proteksi yang dihasilkan dari **Gambar 4.1** :



Gambar 4.2 Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 1 pada ETAP

Dari **Gambar 4.2**, dapat dianalisa bahwasanya koordinasi proteksi *existing* untuk Tipikal 1 :

1. *Time delay* untuk rele 33 terlalu cepat, sehingga pelanggan hanya memiliki waktu maksimal 0,1 detik dalam koordinasi proteksi yang mereka miliki.

2. *Time delay* rele Couple 75 tidak boleh sama dengan rele 33, karena akan menyebabkan pemadaman secara meluas ketika terjadi gangguan pada *feeder* Surya International dikarenakan CB 90 akan ikut *trip*.
3. *Time delay* pada rele R S7 terlalu cepat, karena *grading time*-nya 0,2 maka seharusnya *time delay* pada rele R S7 bernilai 0,9.
4. *Setting highset* pada rele R P7 berada di sebelah kiri Arus *short circuit* maksimum pada tegangan 20 kV.

4.3.1.1 Menentukan *setting rele feeder (Rele 33)*:

Ketika nilai *time delay* diganti menjadi 0,5, nilai *time dial* pada rele diganti menjadi:

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{set \ primer}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{18040}{1,05 \times 61}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,5 = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{18040}{1,05 \times 61}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t_{>} = \frac{0,5 \times 0,11}{0,14}$$

$$t_{>} = 0,426$$

Dipilih :

$$t_{>} = 0,45 \text{ (Step: } 0,025) \text{ SI}$$

4.3.1.2 Menentukan *setting rele Couple 75*

Dalam menentukan *setting* rele ini, terdapat beberapa keadaan khusus, dimana nilai dari *instantaneous time delay* tidak dapat dirubah. Sehingga, ketika hanya menggunakan kurva *invers* tanpa *instantaneous*,

hasil yang ditunjukkan pada plot kurva TCC tidak sesuai dengan standar. Sehingga, digunakannlah kurva *Definite time 2s*.

- *Overcurrent Pickup*
Menentukan $I_{>}$ pada rele ini yaitu dengan mengacu pada $I_{>>}$ (rele 33) dimana $I_{>}$ (rele Couple 75) $>$ $I_{>>}$ (rele 33).

$$I_{>} \leq I_{>\text{rele 33}}$$

$$I_{>} \leq \left(\frac{3400}{2000/5} \right) \times I_n$$

$$I_{>} \leq 8,5 \times I_n$$

Dipilih 8,75 (*Relay Amp*)
Picup ETAP 1,75 (Step: 0,05)

- *Overcurrent Time Dial*
Dengan memilih kurva *Definite time 2s* dan dengan mempertimbangkan *grading time* 0,2s. Maka, *time diali* yang dipilih yaitu 3,5 agar nilai *definite time*-nya bernilai 0,7s.

4.3.1.3 Menentukan setting rele outgoing transformator (Rele R S7):

Merek	: GE
Tipe	: MIFIIP100E20HIC0
Rasio CT	: 2000/5
$I_{>}$: 2000 A
$t_{>}$: 0,2
$I_{>>}$: 200 A
$t_{>>}$: 0,7s

- *Overcurrent Pickup*

$$\left(\frac{1,05 \times I_{FLA \text{ sek}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times I_{FLA \text{ sek}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n$$

$$\left(\frac{1,05 \times 1732}{2000/5} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times 1732}{2000/5} \right) \times I_n$$

$$4,54 \times I_n \leq I_{>} \leq 5,196 \times I_n$$

Pickup pada ETAP = $\frac{4,54}{5} = 0,908$

Dipilih pickup 0,91 (Step: 0,01) = 1820 A

- *Time dial*

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{setprimer}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{18040}{1,05 \times 1732}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,9 = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{18040}{1,05 \times 1732}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t_{>} = \frac{0,9 \times 0,047}{0,14}$$

$$t_{>} = 0,302$$

Dipilih :

$$t_{>} = 0,31 \text{ (Step: 0,01) SI}$$

- *Instantaneous Pickup*

$$1,6 \times I_{FLA} \leq I_{\gg} \leq \frac{0,8 \times I_{scmin \text{ Bus DALEK}}}{\text{Rasio CT}} \times I_n$$

$$1,6 \times 1732 \leq I_{\gg} \leq \frac{0,8 \times 15,630}{2000/5} \times I_n$$

$$2771,2 \leq I_{\gg} \leq 31,26 \times I_n$$

Dengan nilai *setting* batas minimum yang diperbolehkan yaitu $1,6 \times I_{FLA} = 2771,2$, sehingga *setting existing* $I_{highset}$ dengan nilai 5200 A sudah sesuai.

- *Instantaneous time delay*
Time delay ($t_{>}$) = 0.9

4.3.1.4 Menentukan setting rele incoming transformator (Rele R P7):

- *Overcurrent pickup*
Overcurrent pickup tetap, sesuai *existing setting* yaitu $I_{>} = 280$ A dimana:

$$\left(\frac{1,05 \times I_{FLA \text{ prim}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times I_{FLA \text{ prim}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n$$

$$\left(\frac{1,05 \times 230,9}{400/5} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times 230,9}{400/5} \right) \times I_n$$

$$3,031 \times I_n \leq I_{>} \leq 4,041 \times I_n$$

$$242,48 \leq I_{>} \leq 323,28$$

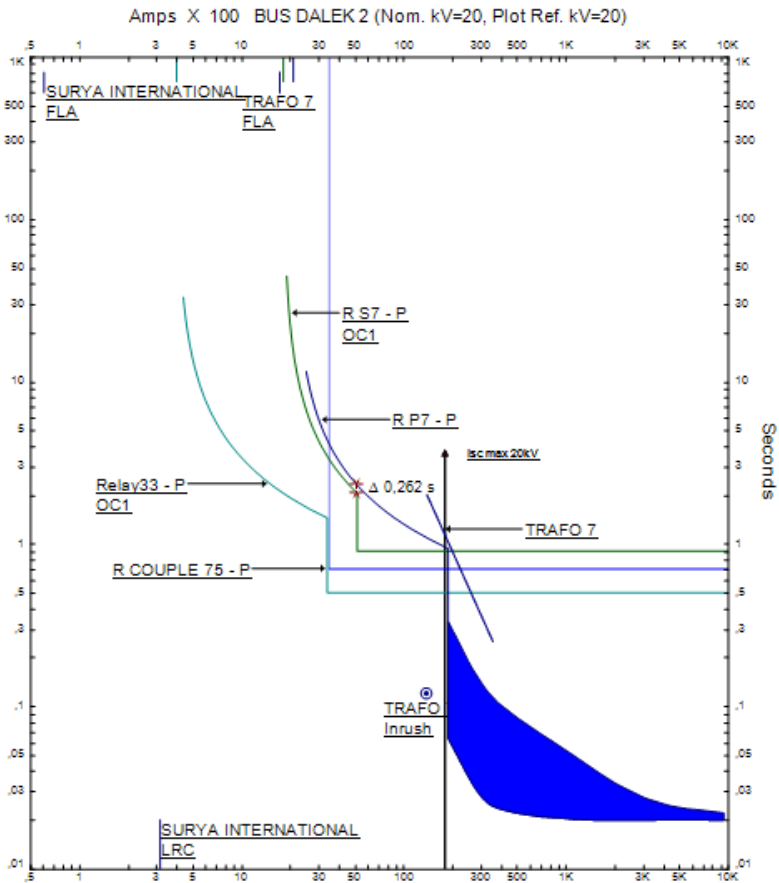
- *Time Dial*
Dari hasil plot kurva TCC dengan variabel *setting* rele untuk rele 33, couple 75, dan R S7, *setting time dial existing* sudah sesuai dengan standar dengan Δt pada kurva invers bernilai lebih dari 0,2 detik yaitu $t_{>} = 0,3$
- *Instantaneous Pickup*

Dikarenakan nilai arus hubung singkat maksimum pada sisi 20 kV yaitu 18,04 kA lebih kecil dari arus hubung singkat minimum pada sisi 150 kV yaitu 33,54 kA. Sehingga, nilai *highset* yang sesuai yaitu lebih besar dari nilai arus hubung singkat maksimum pada sisi 20 kV.

Arus hubung singkat maksimum pada sisi 20 kV bernilai 18,04 kA jika di konversi ke sisi 150 kV yaitu 2,405.

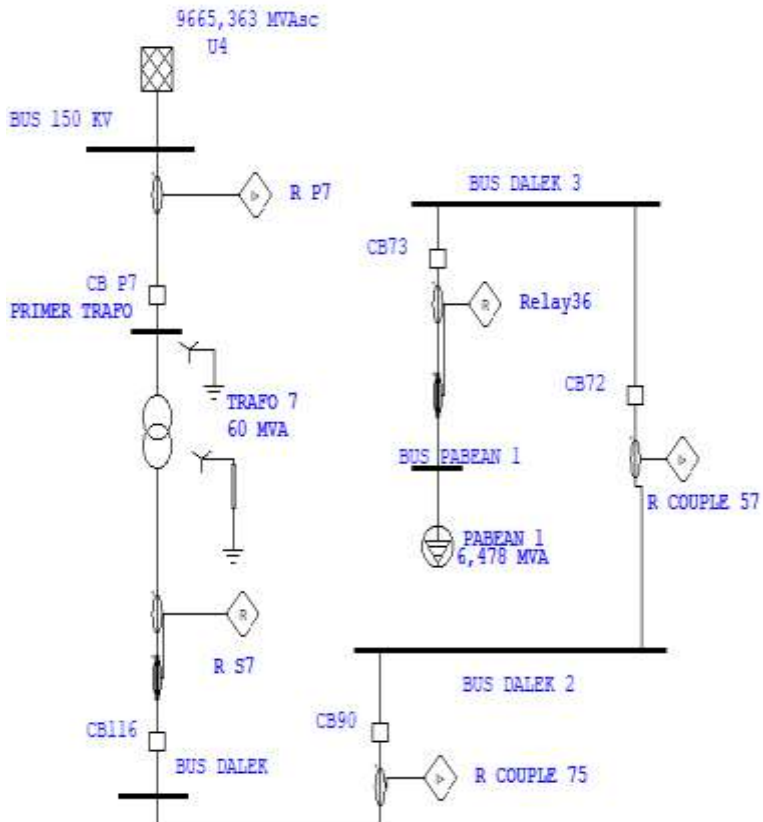
Setting rele *existing* bernilai 2240 A dengan nilai *pickup* pada ETAP 8 (Step: 1,0), sehingga pemilihan nilai *highset* yang sesuai yaitu *pickup* pada ETAP 9 (Step:1,0) bernilai 2520 A (sisi 150 kV) atau 18,9 kA (sisi 20 kV)

- Instantaneous time delay**
 Dikarenakan nilai arus hubung singkat maksimum sisi 20 kV lebih kecil dari arus hubung singkat minimum sisi 150 kV, maka *time delay* di *reset* menjadi 0,1. Akan tetapi, dikarenakan pada *merk* rele yang terpasang saat ini tidak dapat diatur *time delay*-nya, sehingga *time delay* tidak perlu di atur ulang.



Gambar 4.3 Hasil Plot *Resetting* Rele Tipikal 1

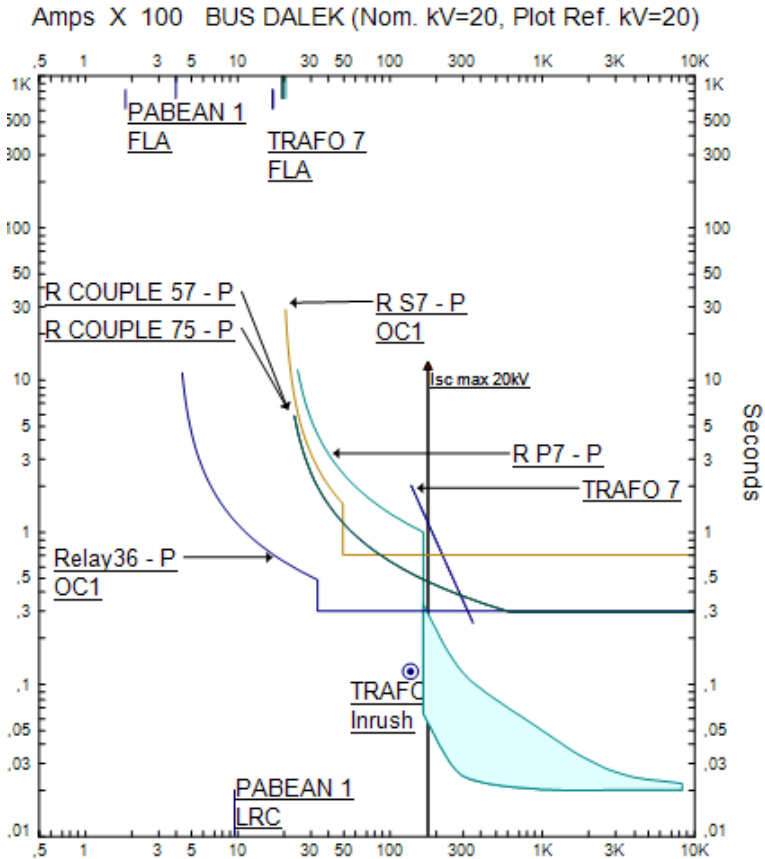
4.3.2 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 2



Gambar 4.4 Single Line Diagram Tipikal 2

Single line diagram pada **Gambar 4.4** merupakan salah satu pemilihan tipikal dalam proses menganalisa koordinasi proteksi, dimana **Gambar 4.4** menggambarkan Tipikal 2.

Berikut adalah kurva koordinasi proteksi yang dihasilkan dari **Gambar 4.4** :



Gambar 4.5 Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 2 pada ETAP

Dari **Gambar 4.5** diatas, dapat dianalisa bahwasanya koordinasi proteksi *existing* untuk Tipikal 2 :

1. *Time delay* untuk rele 36 terlalu cepat, sehingga pelanggan hanya memiliki waktu maksimal 0.1 detik dalam koordinasi proteksi yang mereka miliki.

2. *Time delay* rele Couple 75 dan Couple 57 tidak boleh sama dengan rele 36, karena akan menyebabkan pemadaman secara meluas ketika terjadi gangguan pada *feeder* PABEAN 1 dikarenakan CB 90 dan CB 72 akan ikut *trip*.
3. *Time delay* pada rele R S7 terlalu cepat, karena *grading time*-nya 0.2 maka seharusnya *time delay* pada rele R S7 bernilai 0.9.
4. *Setting highset* pada rele R P7 berada di sebelah kiri Arus *short circuit* maksimum pada tegangan 20 kV.

4.3.2.1 Menentukan *setting rele feeder (Rele 36)*:

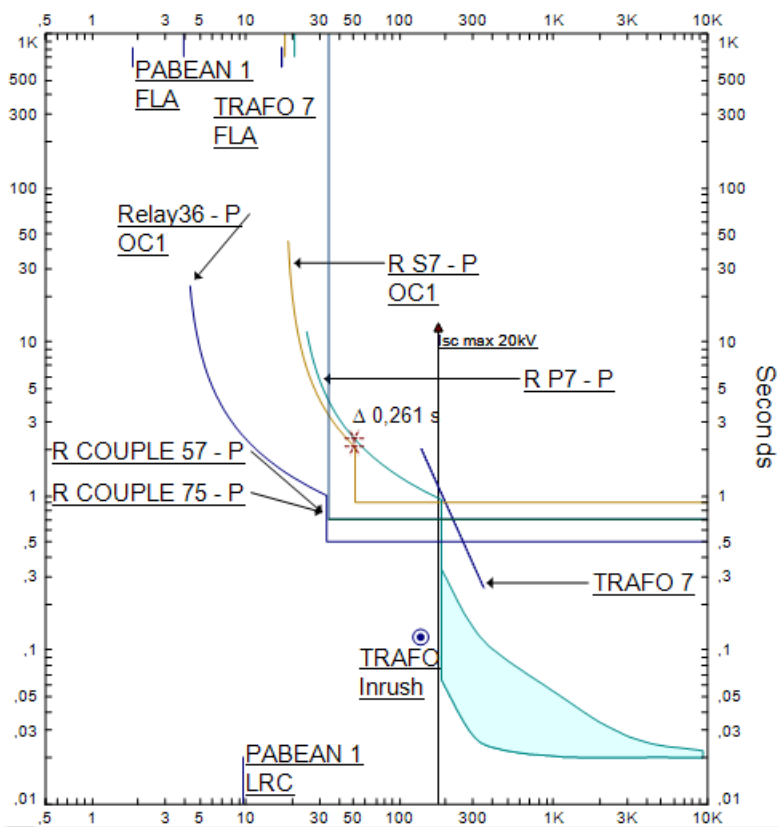
Setting rele disamakan dengan *setting* rele pada rele 33 sesuai dengan pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 1 sebelumnya.

4.3.2.2 Menentukan *setting rele Couple 75 dan Couple 57*

Setting rele pada rele Couple 75 sesuai pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 1 sebelumnya. Untuk *setting* rele Couple 57 disamakan dengan *setting* rele Couple 57 karena sama-sama merupakan rele untuk *couple* bus yang lain.

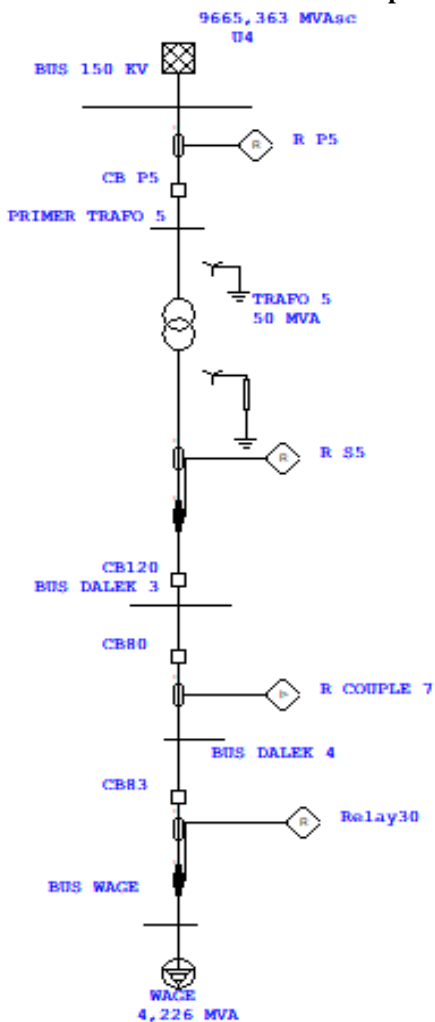
Setting rele R S7 dan R P7 untuk Tipikal ini disamakan *setting* sebelumnya sesuai dengan pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 1.

Amps X 100 BUS DALEK (Nom. kV=20, Plot Ref. kV=20)



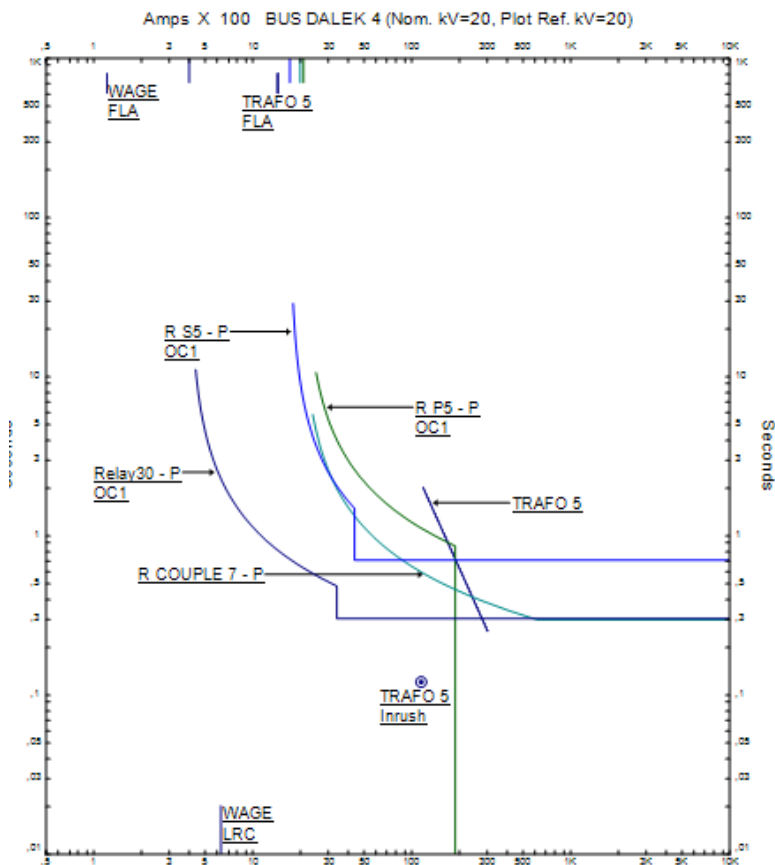
Gambar 4.6 Hasil Plot Resetting Rele Tipikal 2

4.3.3 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 3



Gambar 4.7 Single Line Diagram Tipikal 3

Berikut adalah kurva koordinasi proteksi yang dihasilkan dari **Gambar 4.7** di atas:



Gambar 4.8 Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 3 pada ETAP

Dari **Gambar 4.8**, dapat dianalisa bahwasanya koordinasi proteksi *existing* untuk Tipikal 3 :

1. *Time delay* untuk rele 30 terlalu cepat, sehingga pelanggan hanya memiliki waktu maksimal 0,1 detik dalam koordinasi proteksi yang mereka miliki.

2. *Time delay* rele Couple 7 tidak boleh sama dengan rele 30, karena akan menyebabkan pemadaman secara meluas ketika terjadi gangguan pada *feeder* WAGE dikarenakan CB 80 akan ikut *trip*.
3. *Time delay* pada rele R S5 terlalu cepat, karena *grading time*-nya 0,2 maka seharusnya *time delay* pada rele R S5 bernilai 0,9.
4. Kurva rele R P5 menyentuh kurva *damage curve transformer*.

4.3.3.1 Menentukan *setting* rele *feeder* (Rele 30):

Setting rele disamakan dengan *setting* rele pada rele 33 sesuai dengan pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 1 sebelumnya.

4.3.3.2 Menentukan *setting* rele Couple 7

Setting rele pada rele Couple 7 sesuai pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 1 sebelumnya, karena sama-sama merupakan rele untuk *couple* bus yang lain.

4.3.3.3 Menentukan *setting* rele *outgoing transformer* (Rele R S5):

Merek	: GE
Tipe	: MIFIIP100E20HIC0
Rasio CT	: 2000/5
$I_{>}$: 1720 A
$t_{>}$: 0,2
$I_{>>}$: 4400 A
$t_{>>}$: 0,7s

- *Overcurrent Pickup*

$$\left(\frac{1,05 \times I_{FLA \text{ sek}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times I_{FLA \text{ sek}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n$$

$$\left(\frac{1,05 \times 1443}{2000/5} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times 1443}{2000/5} \right) \times I_n$$

$$3,71 \times I_n \leq I_{>} \leq 4,95$$

$$\text{Pickup pada ETAP} = \frac{3,71}{5} = 0,742$$

Dipilih *pickup* 0,75 (Step: 0,01) = 1500 A

- *Time dial*

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{setprimer}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{15280}{1,05 \times 1443}\right)^{0,02} - 1}$$

$$0,9 = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{15280}{1,05 \times 1443}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t_{>} = \frac{0,9 \times 0,0473}{0,14}$$

$$t_{>} = 0,304$$

Dipilih :

$$t_{>} = 0,31 \text{ (Step: 0,01) SI}$$

- *Instantaneous Pickup*

$$1,6 \times I_{FLA} \leq I_{\gg} \leq \frac{0,8 \times I_{scmin \text{ Bus DALEK 3}}}{\text{Rasio CT}} \times I_n$$

$$1,6 \times 1443 \leq I_{\gg} \leq \frac{0,8 \times 13230}{2000/5} \times I_n$$

$$2308,8 \leq I_{\gg} \leq 26,46 \times I_n$$

Dengan nilai *setting* batas minimum yang diperbolehkan yaitu $1,6 \times I_{FLA} = 2308,8$, sehingga *setting existing* $I_{highset}$ dengan nilai 4400 A sudah sesuai.

- *Instantaneous time delay*
Time delay ($t_{>}$) = 0,9

4.3.3.4 Menentukan setting rele incoming transformator (Rele R P5):

- *Overcurrent pickup*

$$\left(\frac{1,05 \times I_{FLA \text{ prim}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times I_{FLA \text{ prim}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n$$

$$\left(\frac{1,05 \times 192,5}{400/5} \right) \times I_n \leq I_{>} \leq \left(\frac{1,4 \times 192,5}{400/5} \right) \times I_n$$

$$2,527 \times I_n \leq I_{>} \leq 3,369 \times I_n$$

$$202,16 \leq I_{>} \leq 269,52$$

Dipilih 204 A dengan nilai *pickup* pada ETAP = 0,51 (Step: 0,01)

- *Time dial*

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{0,02} - 1}$$

$$t = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{1560}{1,05 \times 192,5} \right)^{0,02} - 1}$$

$$1,1 = \frac{0,14 \times t_{>}}{\left(\frac{1560}{1,05 \times 192,5} \right)^{0,02} - 1}$$

$$t_{>} = \frac{1,1 \times 0,041}{0,14}$$

$$t_{>} = 0,32$$

Dipilih :

$$t_{>} = 0,325 \text{ (Step: 0,025) SI}$$

- *Instantaneous Pickup*

Dikarenakan pada kurva *existing* menyentuh *damage curve transformer*, sehingga harus di kurangi nilai *setting instantaneous pickup* pada rele ini. Akan tetapi, terdapat arus inrush transformator yang harus tetap berada di sisi kiri kurva *instantaneous*. Sehingga didapatkan :

$$I_{\gg} \geq I_{Inrush\ trafo}$$

$$I_{\gg} \geq 11547,01\ A$$

Jika dikonversi ke sisi 150 kV:

$$I_{\gg} \geq 1539,6\ A$$

Arus rele yaitu:

$$I_{\gg} \geq \frac{1539,6\ A}{400/5}$$

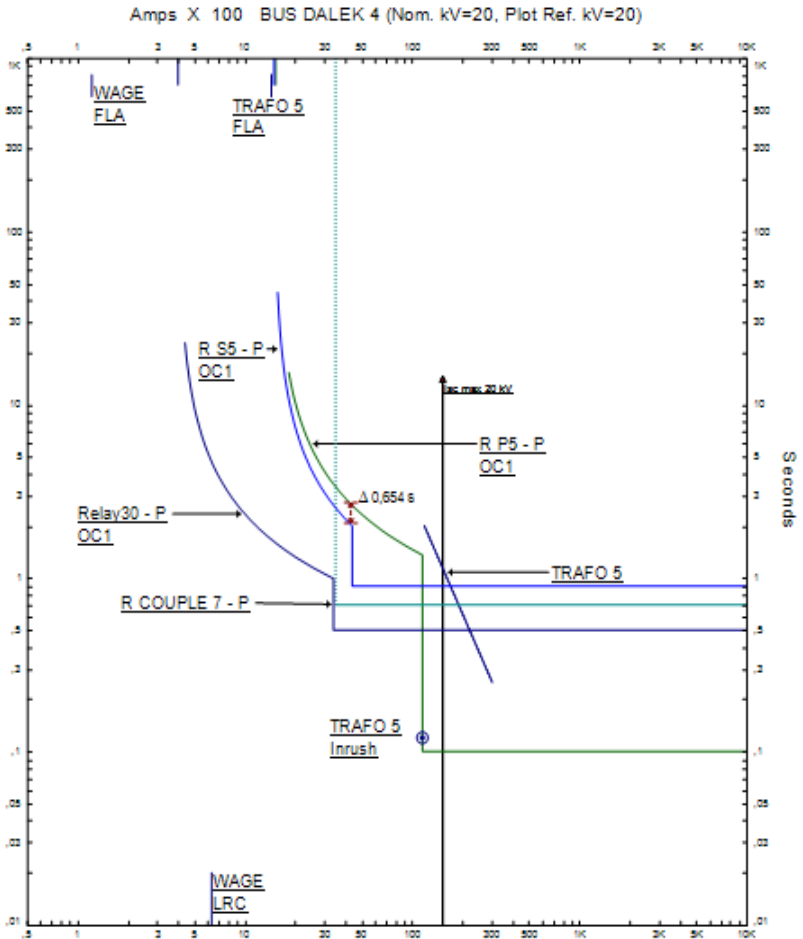
$$I_{\gg} \geq 19,245$$

Pada ETAP $\frac{19,245}{5} = 3,849$

Dipilih 3,86 (Step: 0,01) = 1544 A sisi 150 kV

- *Instantaneous time delay*

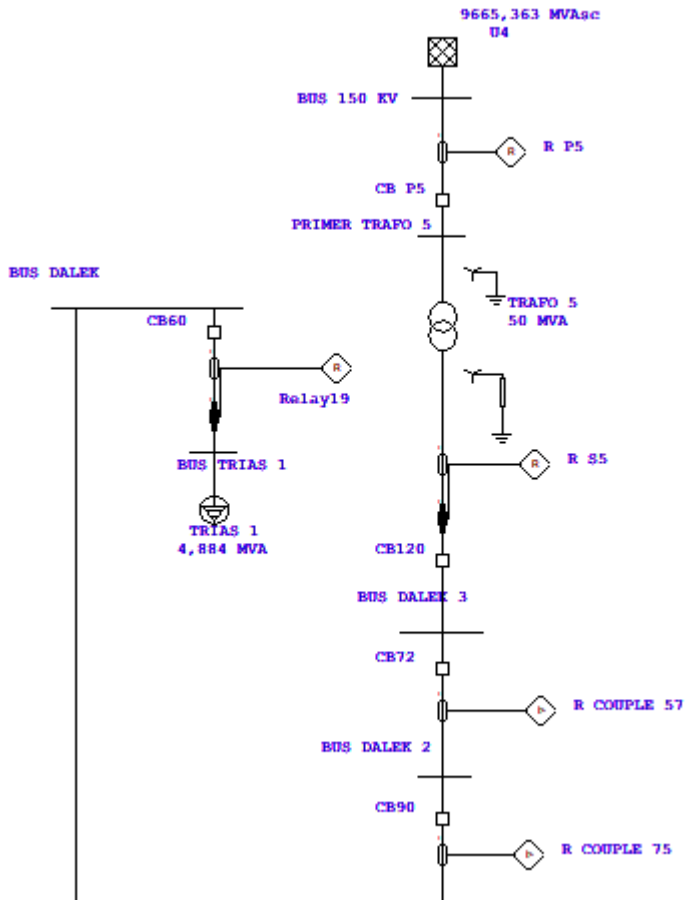
Dikarenakan nilai arus hubung singkat maksimum sisi 20 kV 13,23 kA lebih kecil dari arus hubung singkat minimum sisi 150 kV 33,54 kA, maka *time delay* di *reset* menjadi 0,1.



Gambar 4.9 Hasil Plot *Resetting* Rele Tipikal 3

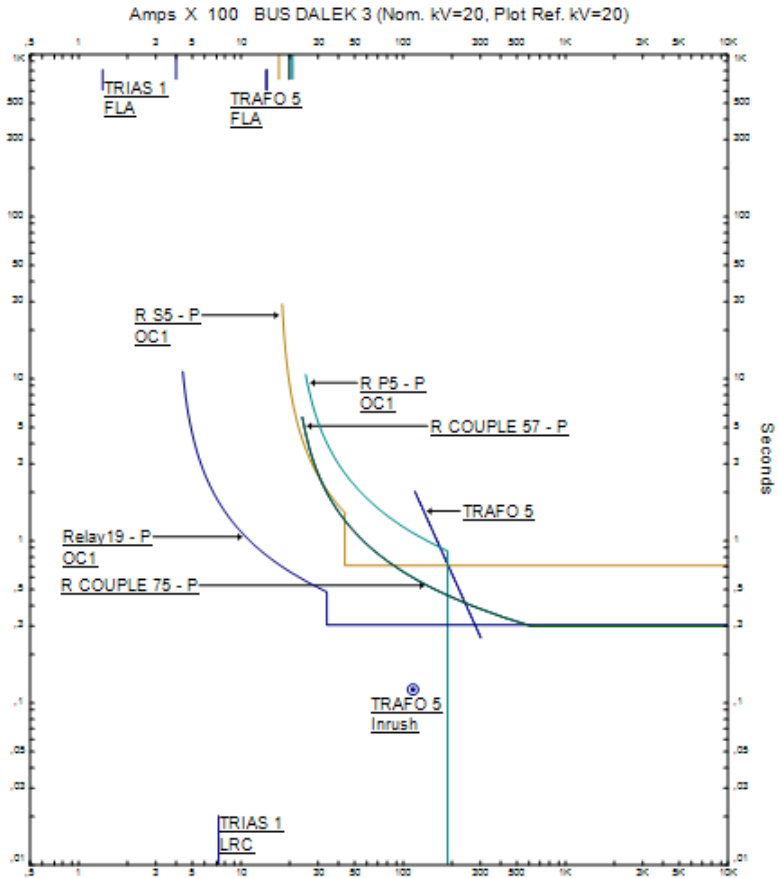
Gambar 4.9 menunjukkan bahwa setelah *resetting*, koordinasi rele pada tipikal 3 sudah sesuai dan dapat menjadi referensi.

4.3.4 Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Fasa Tipikal 4



Gambar 4.10 Single Line Diagram Tipikal 4

Berikut adalah kurva koordinasi proteksi yang dihasilkan dari **Gambar 4.10** :



Gambar 4.11 Hasil Plot Kurva TCC Tipikal 4 pada ETAP

Dari **Gambar 4.11**, dapat dianalisa bahwasanya koordinasi proteksi *existing* untuk Tipikal 3 :

1. *Time delay* untuk rele 19 terlalu cepat, sehingga pelanggan hanya memiliki waktu maksimal 0,1 detik dalam koordinasi proteksi yang mereka miliki.
2. *Time delay* rele Couple 75 dan Couple 57 tidak boleh sama dengan rele 19, karena akan menyebabkan pemadaman secara meluas ketika terjadi gangguan pada feeder WAGE dikarenakan CB 72 dan CB 90 akan ikut trip.
3. *Time delay* pada rele R S5 terlalu cepat, karena *grading time*-nya 0,2 maka seharusnya *time delay* pada rele R S5 bernilai 0,9.
4. Kurva rele R P5 menyentuh kurva *damage curve transformer*.

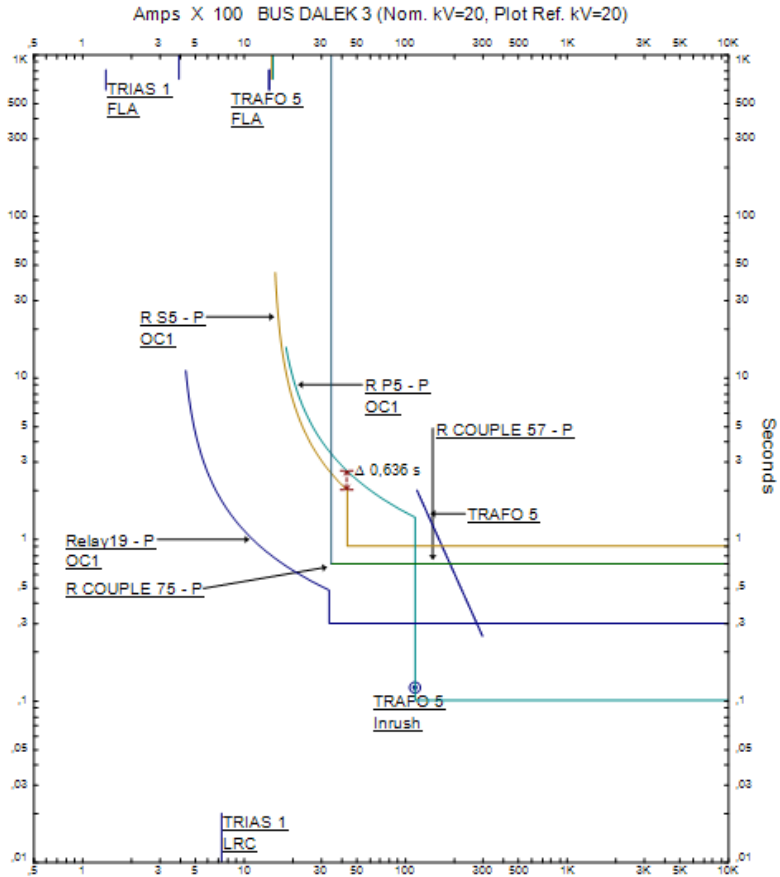
4.3.4.1 Menentukan setting rele feeder (Rele 19):

Setting rele disamakan dengan *setting* rele pada rele 33 sesuai dengan pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 1 sebelumnya.

4.3.4.2 Menentukan setting rele Couple 75 dan 57

Setting rele pada rele Couple 75 dan 57 bernilai sama sesuai pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 1 sebelumnya.

Setting rele R S5 dan R P5 untuk Tipikal ini disamakan *setting* sebelumnya sesuai dengan pembahasan pada koordinasi proteksi rele arus lebih tipikal 3.



Gambar 4.12 Hasil Plot Resetting Rele Tipikal 4

Tabel 4.3 Setting dan Resetting Rele

Nama Rele	Setting				Resetting			
	I_s (A)	t_s	$I_{>>}$ (kA)	$t_{>>}$ (s)	I_s (A)	t_s	$I_{>>}$ (kA)	$t_{>>}$ (s)
5	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
6	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
7	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
8	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
9	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
10	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5

Tabel 4.4 *Setting dan Resetting Rele (Lanjutan)*

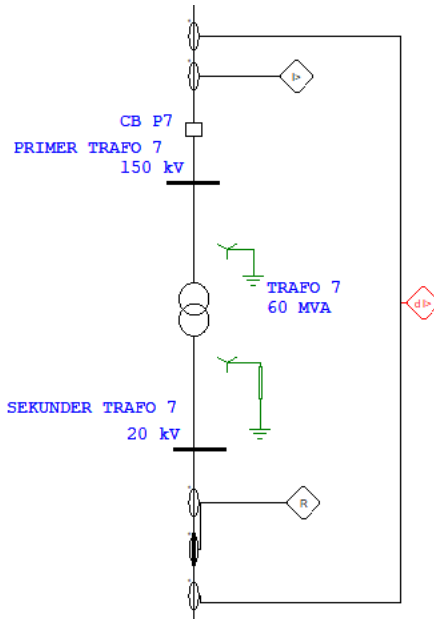
Nama Rele	Setting				Resetting			
	I _∫ (A)	t _∫	I _{∫>} (kA)	t _{∫>} (s)	I _∫ (A)	t _∫	I _{∫>} (kA)	t _{∫>} (s)
11	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
12	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
13	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
14	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
15	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
16	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
17	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
18	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
19	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
20	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
21	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
22	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
23	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
24	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
25	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
26	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
27	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
28	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
29	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
30	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
31	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
32	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
33	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
34	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
35	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
36	400	0,2 SI	3,4	0,3	400	0,325	3,4	0,5
Couple 4	2000	0,15 SI	-	-	3500	0,35 DT 2s	-	-
Couple 35	2000	0,15 SI	-	-	3500	0,35 DT 2s	-	-
Couple 64	2000	0,15 SI	-	-	3500	0,35 DT 2s	-	-
Couple 7	2000	0,15 SI	-	-	3500	0,35 DT 2s	-	-
Couple 57	2000	0,15 SI	-	-	3500	0,35 DT 2s	-	-
Couple 75	2000	0,15 SI	-	-	3500	0,35 DT 2s	-	-

Tabel 4.5 Setting dan Resetting Rele (Lanjutan)

Nama Rele	Setting				Resetting			
	I_s (A)	t_s	$I_{>>}$ (kA)	$t_{>>}$ (s)	I_s (A)	t_s	$I_{>>}$ (kA)	$t_{>>}$ (s)
R S3	2000	0,2	5,2	0,7	1820	0,31	5,2	0,9
R S4	2000	0,2	5,2	0,7	1820	0,31	5,2	0,9
R S5	1720	0,2	4,44	0,7	1500	0,31	4,44	0,9
R S6	2000	0,2	5,2	0,7	1820	0,31	5,2	0,9
R S7	2000	0,2	5,2	0,7	1820	0,31	5,2	0,9
R P3	280	0,3	2,24	-	280	0,3	2580	
R P4	280	0,3	2,24	-	280	0,3	2580	
R P5	280	0,3	21,6	0,1	204	0,4	1,544	0,1
R P6	280	0,3	2,24	-	280	0,3	2580	
R P7	280	0,3	2,24	-	280	0,3	2580	

4.4 Koordinasi Proteksi Rele Differensial

Rele Differensial pada *single line diagram* Gardu Induk Waru yaitu:



Gambar 4.13 Rele Differensial Pada Gardu Induk Waru

Merek : GEC ALSTHOM
Tipe : MBCH-12
Rasio CT Primer : 400/5
Rasio CT Sekunder : 200/5

4.4.1 Perhitungan *Setting Rele* Differensial Keadaan Normal

Perhitungan *setting rele* differensial ketika normal bertujuan untuk membandingkan dengan *setting rele* differensial yang sesuai. Jika nilai dari I_{diff} dan %*Slope* keadaan normal lebih kecil dari *setting*, maka rele tidak bekerja dan *setting* sudah sesuai.

$$I_{n\ primer} = 230,9\ A$$

$$I_{n\ sekunder} = 1732\ A$$

$$I_p = 230,9\ A \frac{5}{2000} = 2,886\ A$$

$$I_s = 1732\ A \frac{5}{400} = 4,33\ A$$

Sehingga,

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |2,886 - 4,33|$$

$$I_{diff} = 1,444\ A$$

$$I_{diff}(\%) = \frac{1,444\ A}{5\ A} \times 100\% = 28,88\ \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2} = \frac{7,216}{2} = 3,608$$

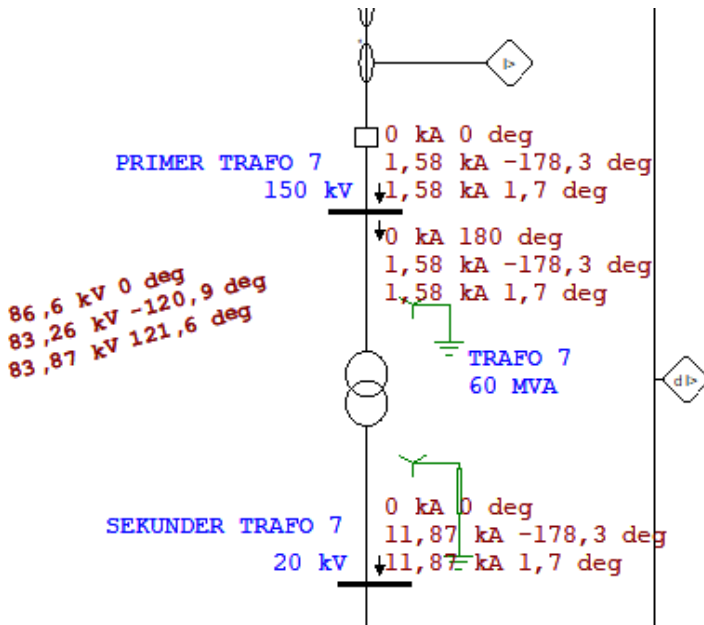
Slope-nya adalah:

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{1,444}{3,608} \times 100\%$$

$$\%Slope = 40,02 \%$$

4.4.2 Perhitungan *Setting* Rele Differensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV (*Line to Line*)



Gambar 4.14 Gangguan Hubung Singkat Bus Dalek (*Line to Line*)

$$I_{sc\ primer} = 1580\ A$$

$$I_{sc\ sekunder} = 11870\ A$$

$$I_p = 1580\ A \frac{5}{400} = 2,886\ A$$

$$I_s = 11870 \text{ A} \frac{5}{2000} = 4,33 \text{ A}$$

Sehingga,

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |1580 - 11870|$$

$$I_{diff} = 9,925 \text{ A}$$

$$I_{diff}(\%) = \frac{9,925 \text{ A}}{5 \text{ A}} \times 100\% = 198,5 \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2} = 24,7125 \text{ A}$$

Slope-nya adalah:

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{9,925}{24,7125} \times 100\%$$

$$\%Slope = 40,16 \%$$

4.4.3 Perhitungan Setting Rele Differensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 20 kV (3 Fasa)



Gambar 4.15 Gangguan Hubung Singkat Bus Dalek (3 Fasa)

$$I_{sc\ primer} = 1830\ A$$

$$I_{sc\ sekunder} = 13710\ A$$

$$I_p = 1830\ A \frac{5}{400} = 22,875\ A$$

$$I_s = 13710\ A \frac{5}{2000} = 34,275\ A$$

Sehingga,

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |22,875 - 34,275|$$

$$I_{diff} = 11,4\ A$$

$$I_{diff}(\%) = \frac{11,4\ A}{5\ A} \times 100\% = 228\ \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2} = 28,575\ A$$

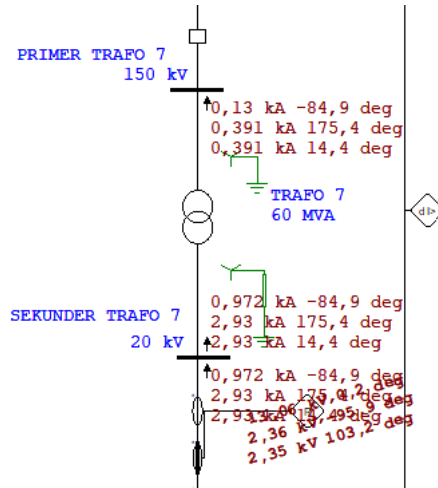
Slope-nya adalah:

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{11,4}{28,575} \times 100\%$$

$$\%Slope = 39,89\ \%$$

4.4.4 Perhitungan *Setting* Rele Differensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV (*Line to Line*)



Gambar 4.16 Gangguan Hubung Singkat Bus 150 kV (*Line to Line*)

$$I_{sc\ primer} = 390\ A$$

$$I_{sc\ sekunder} = 2930\ A$$

$$I_p = 390\ A \frac{5}{400} = 4,875\ A$$

$$I_s = 2930\ A \frac{5}{2000} = 7,325\ A$$

Sehingga,

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |4,875 - 7,325|$$

$$I_{diff} = 2,45\ A$$

$$I_{diff}(\%) = \frac{2,45\ A}{5\ A} \times 100\% = 49\ \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2} = 6,1 \text{ A}$$

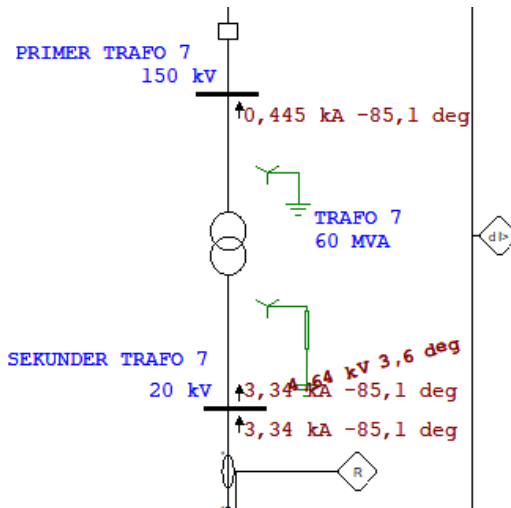
Slope-nya adalah:

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{2,45}{6,1} \times 100\%$$

$$\%Slope = 40,16 \%$$

4.4.5 Perhitungan *Setting* Rele Differensial Ketika Gangguan Eksternal di Sisi 150 kV (3 Fasa)



Gambar 4.17 Gangguan Hubung Singkat Bus 150 kV (3 Fasa)

$$I_{sc \text{ primer}} = 445 \text{ A}$$

$$I_{sc \text{ sekunder}} = 3340 \text{ A}$$

$$I_p = 445 A \frac{5}{400} = 5,56 A$$

$$I_s = 3340 A \frac{5}{2000} = 8,35 A$$

Sehingga,

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |5,56 - 8,35|$$

$$I_{diff} = 2,79 A$$

$$I_{diff}(\%) = \frac{2,79 A}{5 A} \times 100\% = 55,8 \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2} = 6,955 A$$

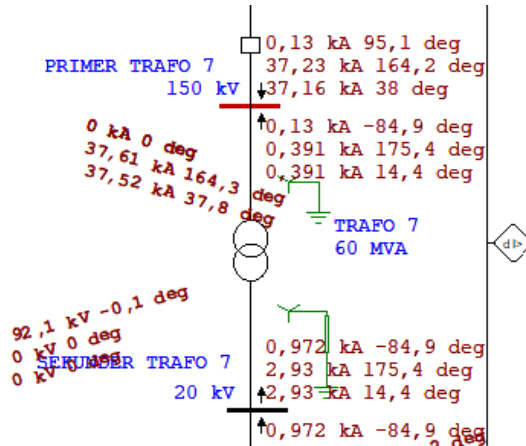
Slope-nya adalah:

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{2,79}{6,955} \times 100\%$$

$$\%Slope = 40,12 \%$$

4.4.6 Perhitungan *Setting Rele* Differensial Ketika Gangguan Internal (*Line to Line*)



Gambar 4.18 Gangguan Hubung Singkat Bus Primer Trafo 7 (*Line to Line*)

$$I_{sc \text{ primer}} = 37230 \text{ A}$$

$$I_{sc \text{ sekunder}} = 2930 \text{ A}$$

$$I_p = 37230 \text{ A} \frac{5}{400} = 465,375 \text{ A}$$

$$I_s = 2930 \text{ A} \frac{5}{2000} = 7,325 \text{ A}$$

Sehingga,

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |465,375 - 7,325|$$

$$I_{diff} = 472,7 \text{ A}$$

$$I_{diff}(\%) = \frac{472,7 \text{ A}}{5 \text{ A}} \times 100\% = 9161 \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2} = 236,35 \text{ A}$$

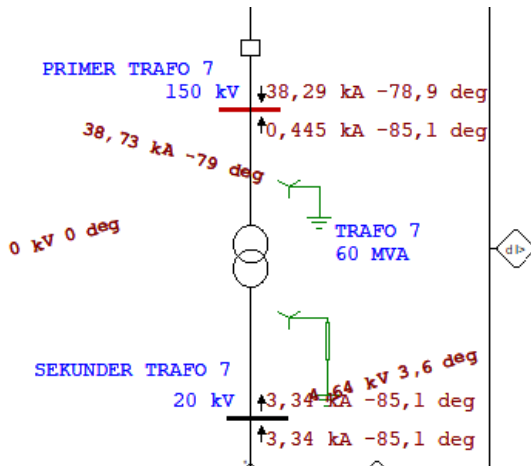
Slope-nya adalah:

$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{472,7}{236,35} \times 100\%$$

$$\%Slope = 236,35 \%$$

4.4.7 Perhitungan Setting Rele Differensial Ketika Gangguan Internal (3 Fasa)



Gambar 4.19 Gangguan Hubung Singkat Bus Primer Trafo 7 (3 Fasa)

$$I_{sc\ primer} = 38290\ A$$

$$I_{sc\ sekunder} = 3340\ A$$

$$I_p = 38290\ A \frac{5}{400} = 478,625\ A$$

$$I_s = 3340 A \frac{5}{2000} = 8,35 A$$

Sehingga,

$$I_{diff} = |I_p - I_s|$$

$$I_{diff} = |478,625 - 8,35|$$

$$I_{diff} = 470,275 A$$

$$I_{diff}(\%) = \frac{470,275 A}{5 A} \times 100\% = 9405,5 \%$$

$$I_{restrain} = \frac{|I_p + I_s|}{2} = 243,4875 A$$

Slope-nya adalah:

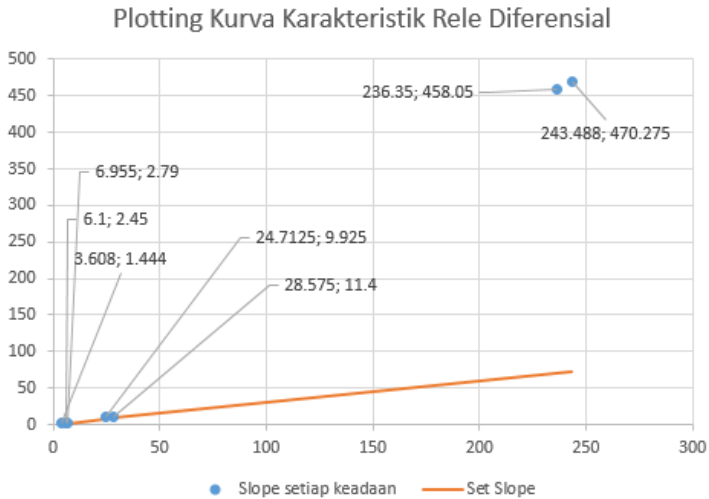
$$\%Slope = \frac{I_{diff}}{I_{restrain}} \times 100\%$$

$$\%Slope = \frac{470,275}{243,4875} \times 100\%$$

$$\%Slope = 193,31 \%$$

Tabel 4.6 Nilai slope pada setiap keadaan

Keadaan	I_{diff} (A)	I_{restrain} (A)	%Slope
Normal	1,444	3,608	40,02
Gangguan Eksternal sisi 20 KV (L-L)	9,925	24,7125	40,16
Gangguan Eksternal sisi 20 KV (3 Fasa)	11,4	28,575	39,89
Gangguan Eksternal sisi 150 KV (L-L)	2,45	6,1	40,16
Gangguan Eksternal sisi 150 KV (3 Fasa)	2,79	6,955	40,12
Gangguan Internal (L-L)	458,05	236,35	193,8
Gangguan Internal (3 Fasa)	470,275	243,488	193,31



Gambar 4.20 Plot *existing* Rele Diferensial

Berdasarkan **Gambar 4.20** terdapat kesalahan dengan melihat keadaan gangguan eksternal berada di atas kurva *setting* rele diferensial. Hal ini akan membuat rele bekerja meskipun gangguan yang terjadi merupakan gangguan eksternal yang seharusnya rele tidak bekerja.

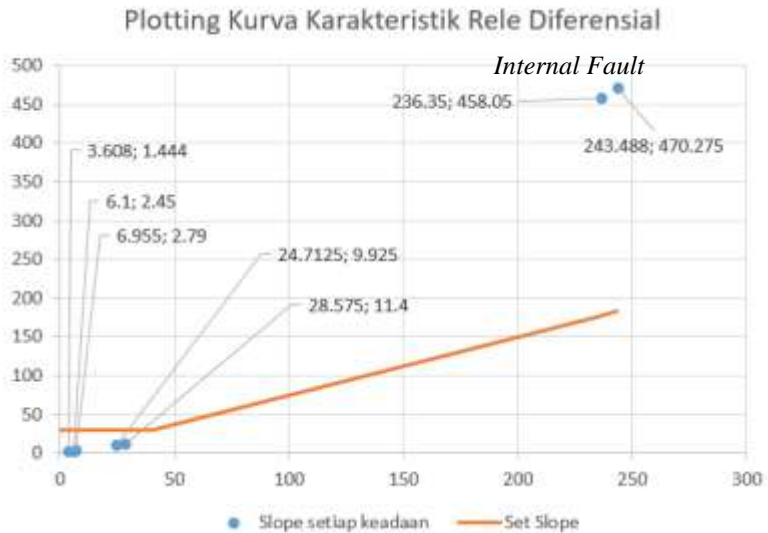
Sehingga, untuk mencari I_{set} yaitu :

$$I_{set} = I_{restrain} \times \%Slope$$

$$I_{set} = 40 A \times 75 \%$$

$$I_{set} = 30 A$$

Waktu operasi dipilih 0,02s sesuai datasheet (0,01-0,025s).

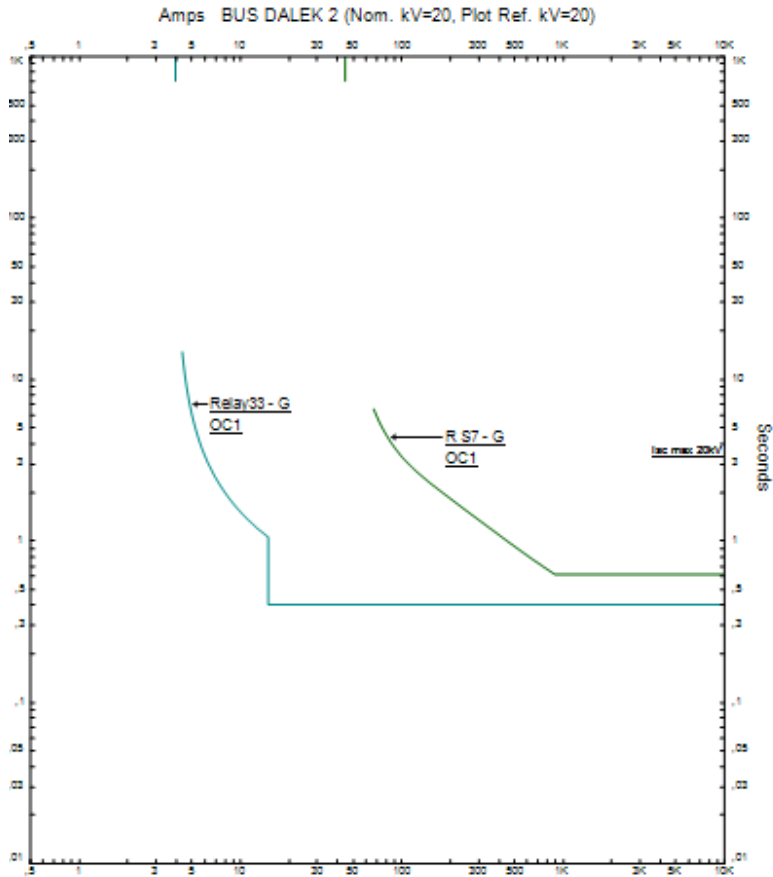


Gambar 4.21 Plot *resetting* Rele Diferensial

Dari **Gambar 4.21** diatas dapat diperhatikan bahwasanya jika nilai setting dengan %*Slope* = 75% sudah sesuai dengan standar dikarenakan jika terjadi arus gangguan Eksternal ataupun dalam keadaan normal, rele tidak akan bekerja. Sedangkan, jika terjadi arus gangguan Internal, rele akan bekerja.

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah

Setting rele arus lebih gangguan tanah *existing* yang terdapat pada stiap penyulang sama. Sehingga data *setting* dan *resetting* akan ditampilkan dalam bentuk tabel.



Gambar 4.22 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah

- *Instantaneous Pickup*

$$\left(\frac{1,05 \times I_{FLA \text{ sek}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n \leq I_p \leq \left(\frac{1,4 \times I_{FLA \text{ sek}}}{\text{Rasio CT}} \right) \times I_n$$

4.5.1 Rele Feeder (Rele 33)

- *Instantaneous Pickup*

$$\frac{10\% \times I_{NGR}}{Rasio CT} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \times I_{NGR}}{Rasio CT}$$

$$\frac{10\% \times 23,09}{50/5} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \times 23,09}{50/5}$$

$$0,2309 \leq I_{\gg} \leq 1,1545$$

$$Pickup \text{ pada ETAP} = \frac{0,2309}{5} = 0,04618$$

Dipilih *pickup* 0,05 (Step: 0,001) = 2,5 A

- *Time Delay*

Dipilih :

$$t_{\gg} = 0,5 \text{ (Step: 0,01)}$$

4.5.2 **Rele Couple (Couple 75)**

Dikarenakan jenis rele ini tidak memiliki setting *time delay*, sehingga digunakan *Definite time* 2s untuk mengatur *time delay* dan nilai arus *pickup*-nya.

- *Instantaneous Pickup*

$$\frac{10\% \times I_{NGR}}{Rasio CT} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \times I_{NGR}}{Rasio CT}$$

$$\frac{10\% \times 23,09}{50/5} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \times 23,09}{50/5}$$

$$0,2309 \leq I_{\gg} \leq 1,1545$$

$$Pickup \text{ pada ETAP} = \frac{0,2309}{5} = 0,04618$$

Dipilih *pickup* 0,05 (Step: 0,001) = 2,5 A

- *Time Delay*

Dipilih :

$$t_{\gg} = 0,7 \text{ (Step: 0,01)}$$

4.5.3 Rele Incoming Transformer (R S7)

- *Overcurrent Pickup*

$$\frac{10\% \times I_{NGR}}{\text{Rasio CT}} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \times I_{NGR}}{\text{Rasio CT}}$$

$$\frac{10\% \times 23,09}{300/5} \leq I_{\gg} \leq \frac{50\% \times 23,09}{300/5}$$

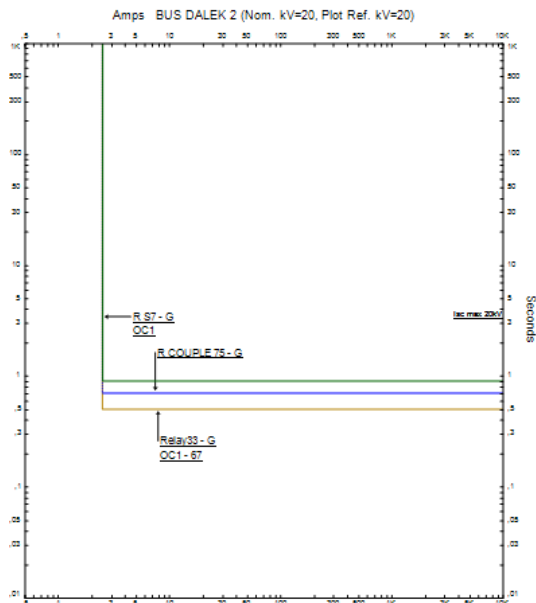
$$0,038 \leq I_{\gg} \leq 0,192$$

Dipilih *pickup* 0,042 (Step: 0,001) = 2,52 A

- *Time Delay*

Dipilih :

$$t_{\gg} = 0,9 \text{ (Step: 0,01)}$$



Gambar 4.23 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah

Tabel 4.7 *Setting dan Resetting Rele Arus Lebih Gangguan Tanah*

Nama Rele	Setting				Resetting			
	$I_{>}$ (A)	$t_{>}$	$I_{>>}$ (A)	$t_{>>}$ (s)	$I_{>}$ (A)	$t_{>}$	$I_{>>}$ (A)	$t_{>>}$ (s)
5	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
6	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
7	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
8	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
9	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
10	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
11	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
12	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
13	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
14	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
15	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
16	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
17	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
18	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
19	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
20	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
21	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
22	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
23	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
24	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
25	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
26	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
27	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
28	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
29	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
30	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
31	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
32	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
33	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
34	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
35	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
36	4	0,2 SI	-	-	-	-	2,5	0,5
Couple 4	-	-	-	-	-	-	2,5	0,7
Couple 35	-	-	-	-	-	-	2,5	0,7
Couple 64	-	-	-	-	-	-	2,5	0,7
Couple 7	-	-	-	-	-	-	2,5	0,7
Couple 57	-	-	-	-	-	-	2,5	0,7
Couple 75	-	-	-	-	-	-	2,5	0,7

Tabel 4.8 *Setting dan Resetting* Rele Arus Lebih Gangguan Tanah
(Lanjutan)

Nama Rele	Setting				Resetting			
	$I_{>}$ (A)	$t_{>}$	$I_{>>}$ (kA)	$t_{>>}$ (s)	$I_{>}$ (A)	$t_{>}$	$I_{>>}$ (kA)	$t_{>>}$ (s)
R S3	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R S4	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R S5	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R S6	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R S7	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R P3	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R P4	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R P5	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R P6	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9
R P7	45	0,1 LTI	-	-	-	-	2,52	0,9

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa yang saya lakukan, dapat disimpulkan bahwa:

5. Seluruh rele yang ada di penyulang (rele penyulang) memiliki nilai *time dial* dan *time delay* yang tidak sesuai.
6. Rele *outgoing* transformator juga memiliki *time delay* dan *time dial* yang tidak sesuai, serta masih perlu diperbaiki nilai *lowsetnya*.
7. Rele *incoming* transformator untuk Trafo 5 bertabrakan dengan *damage curve transformer* sehingga perlu dilakukan *resetting*
8. Untuk *setting DGR* dan *GFR* perlu di setting ulang untuk keseluruhan rele.
9. Rele Differensial juga perlu dilakukan *resetting*.

5.2 Saran

Dari simulasi dan analisa yang saya lakukan, saran yang dapat saya berikan yaitu:

1. Tambahkan ZCT pada setiap rele *couple* untuk di berikan proteksi terhadap arus lebih gangguan tanah.
2. *Resetting* rele yang diperlukan sesuai dengan data yang tercantum dalam laporan Tugas Akhir ini agar koordinasi proteksi pada Gardu Induk Waru dapat lebih baik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

1. Sleva, Anthony F., “*Protective Relay Principles*”, CRC Press, USA, Ch. 5, 2009
2. Penangsang, Ontoseno, “*Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Jilid 2*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab I, 2006
3. Lazar, Irwin, “*Electrical Sistem Analisis And Design For Industrial Plants*”, McGraw—Hill, USA, 1980
4. Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
5. Hewitson, LG. (et al), “*Practical Power System Protection*”. Elsevier Ltd., USA, Ch. 1, 2004
6. ALSTOM, “*Network Protection & Automation Guide*”, Levallois-Perret, France, Ch. 2, 2003
7. Warrington. A.R. van C, “*Protective Relays Volume 1*”, Chapman & Hall LTD, 1962
8. P.M Anderson, “*Power System Protection*”, McGraw-Hill, 1998
9. GE Multilin, “*UR Series Instruction Manual*”, GE Industrial Systems, 2008
10. Wahyudi SN. “*Proteksi dan Power Quality, woekshop operasi dan Pemeliharaan Distribusi*”, PT PLN Pusdiklat
11. Mason, Russel, “*The Art Annd Science Of Protection*”, General Electric Publishing, USA
12. Preve, Christophe, “*Protection of Electrical Networsk*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
13. IEEE Std 242-2001TM, “*IEEE Recomend Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute Of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
14. Rao. Sunil. S., “*Switch Gear and Protection*”, Khanna Publishes, 1980.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



penulis lulus pendidikan jenjang Menengah Pertama dari SMP Negeri 5 Probolinggo pada tahun 2012 dan jenjang Menengah Atas pada tahun 2015. Kemudian, pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Selama masa perkuliahan, mahasiswa aktif di beberapa kegiatan pelatiha, kepanitiaan, dan organisasi. Penulis dapat dihubungi melalui email muhammadzaqimubarok97@gmail.com.