



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
ARCFLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. SMELTING GRESIK**

Derry Prakasa
NRP 0711174500009

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

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



FINAL PROJECT - EE 184801

**EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION WITH
CONSIDERING ARCFLASH ON ELECTRICITY SYSTEM
PT. SMELTING GRESIK**

Derry Prakasa
NRP 07111745000009

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

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

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

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

Surabaya, Juni 2019

Derry Prakasa
NRP. 0711174500009

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN ARCFLASH PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT. SMELTING GRESIK**

TUGAS AKHIR

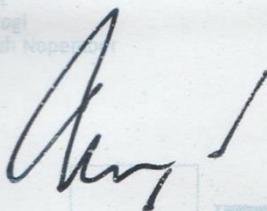
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198702062012121002



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARCFLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. SMELTING GRESIK

Derry Prakasa

0711174500009

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

Dosen Pembimbing II : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Seiring berkembangnya perusahaan dari tahun ke tahun, pasti kebutuhan pelanggan semakin meningkat. Tidak menutup kemungkinan perusahaan tersebut akan menambahkan beban baru pada sistem kelistrikannya. Dalam kondisi tersebut maka perusahaan harus menyadari akan keandalan peralatan yang saat ini sedang digunakan untuk bekerja secara terus menerus dan meminimalisir akan terjadinya pemadaman yang akan menimbulkan kerugian materi yang cukup besar dan kerusakan peralatan. Maka dibutuhkan suatu perencanaan sistem tenaga listrik untuk beberapa tahun kedepan.

Dalam melakukan koordinasi pengaman dibutuhkan pengaturan rele yang tepat, agar Pemutus tenaga membuka ketika rele merasakan adanya gangguan hubungan singkat. Dengan kondisi sistem kelistrikan eksisting PT. Smelting Gresik yang belum terkoordinasi dengan baik berdasarkan waktu jeda rele antar pengaman yang cukup cepat. Dengan dilakukan evaluasi pengaturan waktu tunda sesuai standar rele utama dan rele cadangan telah terkoordinasi dengan baik. Selain itu juga melakukan perhitungan insiden energi dan lama terjadinya Busur Api ketika Pemutus tenaga membuka jarak aman bagi teknisi menggunakan standar IEEE 1584-2002 dan NFPA 70E-2015. Berdasarkan hasil evaluasi, insiden energi mengalami sedikit kenaikan dengan selisih paling besar yaitu $10,92 \text{ cal/m}^2$. Dikarenakan faktor waktu buka rele hingga pemutus tenaga terbuka kondisi eksisting yang lebih kecil daripada kondisi pengaturan ulang yang sudah terkoordinasi lebih baik. Untuk tugas akhir ini juga diperlukan perangkat lunak pendukung untuk simulasi yaitu ETAP 12.6.

Kata kunci : Koordinasi Pengaman, Busur Api, dan Insiden Energi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION WITH CONSIDERING ARCFLASH ON ELECTRICITY SYSTEM PT. SMELTING GRESIK

Derry Prakasa
0711174500009

Advisor I
Advisor II

: Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
: Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

As the company grows from year to year, surely customer needs are increasing. It does not rule out the possibility that the company will add a new burden to the electricity system. Under these conditions, the company must be aware of the reliability of equipment that is currently being used to work continuously and minimize the occurrence of blackouts that will cause substantial material losses and equipment damage. Then a power system planning is needed for the next few years.

In protection coordination, the right relay setting is needed, so that the circuit breaker opens when the relay senses a short circuit. With the condition of electrical system of existing PT. Smelting Gresik which has not been coordinated well based on the lag time of the inter-secure rele. With the evaluation of time delay setting according to main relay standard and backup relay has been well coordinated. Based on the results of the evaluation, the energy incident experienced a slight increase with the greatest difference of 10.92 cal/m^2 . Due to the fault clearing time of existing condition that is smaller than the resetting condition that has been better coordinated. In addition it also calculates energy incidents and the duration of arcflash when a circuit breaker opens a safe distance for technicians using the IEEE 1584-2002 and NFPA 70E-2015 standard. For this final project, supporting software is also needed for simulation, namely ETAP 12.6.

Keywords : Protection Coordination, Arcflash, and Incident Energy

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *“Evaluasi Koordinasi Proteksi dengan Mempertimbangkan Arcflash pada Sistem Kelistrikan PT. Smelting Gresik”*.

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

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah melancarkan semua urusan penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bapak Sugeng Santoso dan Ibu Sri Kustiara selaku kedua orangtua penulis yang selalu memberi nasehat serta doa kepada penulis agar dimudahkan dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara., selaku Dosen Pembimbing I serta Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir dan selama perkuliahan
4. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember
5. Teman Kos, teman SMA, dan teman bimbingan Dr. Ir. Margo Pujiantara yang selalu memberikan motivasi dan mengajarkan disiplin waktu hingga terselesaikannya Tugas Akhir.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

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

Surabaya, Juni 2019
Penulis,

Derry Prakasa

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika.....	3
1.7 Relevansi	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Gangguan Hubungan Singkat	6
2.2.1 Gangguan Hubungan Singkat Satu Fasa ke Tanah.....	8
2.2.2 Gangguan Hubungan Singkat Antar Fasa	9
2.2.3 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa	10
2.3 Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik	10
2.4 Pembagian Daerah Pengamanan.....	11
2.5 Rele Arus Lebih.....	13
2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	13
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	14
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu <i>Instant</i>	15
2.5.4 Rele Arus Lebih waktu seketika dengan waktu terbalik..	15
2.6 Pengaturan Rele Arus Lebih	16
2.6.1 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	16
2.6.2 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Instan	17

2.7	Busur Api (<i>Arcflash</i>).....	17
2.8	Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002 [4].....	18
2.9	Jarak Aman Pelindung (<i>Flash Protection Boundary</i>)	20
2.10	Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api terhadap	22
2.10.1	Personal Protective Equipment.....	22
BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. SMELTING.....		25
3.1	Sistem Kelistrikan PT. Smelting Gresik.....	25
3.2	Sistem Distribusi PT. Smelting	26
3.3	Beban yang Terdapat di PT. Smelting	27
BAB IV EVALUASI KOORDINASI PENGAMAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BUSUR API.....		29
4.1	Pemodelan Kelistrikan PT. Smelting.	29
4.2	Analisis Hubungan-singkat	30
4.2.1	Hubungan Singkat Maksimum	30
4.2.2	Hubungan Singkat Minimum.....	31
4.3	Penentuan Tipikal Koordinasi pada PT. Smelting	32
4.4	Koordinasi Pengaman Rele Arus lebih pada Fasa.....	32
4.4.1	Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1	35
4.4.2	Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2	45
4.4.3	Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 3	53
4.4.4	Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 4	64
4.5	Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke Tanah	74
4.5.1	Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1.....	75
4.6	Perhitungan Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002 Pada Sistem Eksisting	89
4.7	Simulasi Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002 pada sistem Pengaturan ulang	92
4.8	Perhitungan Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002 pada sistem Pengaturan ulang	93
4.9	Perbandingan <i>Eksisting</i> dan Pengaturan ulang Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002	96

4.10	Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i> keadaan Pengaturan ulang	97
4.11	Penentuan <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE)	99
BAB V PENUTUP.....		101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran	101
DAFTAR PUSTAKA		103
RIWAYAT PENULIS.....		105

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Gelombang dari kontribusi arus gangguan.....	8
Gambar 2.2	Gangguan satu fasa ke tanah pada fasa R.	9
Gambar 2.3	Gangguan hubungan singkat <i>Line-Line</i>	9
Gambar 2.4	Gangguan hubungan singkat 3 fasa	10
Gambar 2.5	Blok diagram rele pengaman	11
Gambar 2.6	Diagram satu garis pembagian daerah pengaman.....	12
Gambar 2.7	Karakteristik rele arus lebih waktu <i>inverse</i>	14
Gambar 2.8	Karakteristik Rele Arus Lebih <i>definite time</i>	15
Gambar 2.9	Karakteristik untuk kurva waktu instant dengan <i>inverse</i> . ..	16
Gambar 2.10	<i>Limits of Approach</i>	22
Gambar 2.11	Personal Protective Equipment NFA 70E-2015	23
Gambar 3.1	Diagram satu garis PT.Smelting	28
Gambar 4.1	Tipikal-tipikal Koordinasi Pengaman pada PT Smelting.	34
Gambar 4.2	Diagram satu garis Tipikal 1	35
Gambar 4.3	Data sistem Eksisting Tipikal 1	36
Gambar 4.4	Kurva Pengaturan ulang Fasa Tipikal 1.....	44
Gambar 4.5	Diagram satu garis Tipikal2	46
Gambar 4.6	Kurva <i>Eksisting</i> pada Tipikal 2	47
Gambar 4.7	Kurva Pengaturan ulang Fasa Tipikal 2.....	51
Gambar 4.8	Diagram satu garis Tipikal3	53
Gambar 4.9	Kurva <i>Eksisting</i> pada Tipikal 3	54
Gambar 4.10	Kurva Pengaturan ulang Fasa Tipikal 3.....	63
Gambar 4.11	Diagram satu garis Tipikal4	65
Gambar 4.12	Kurva <i>Eksisting</i> pada Tipikal 4	66
Gambar 4.13	Kurva Pengaturan ulang <i>Tipikal 4</i>	71
Gambar 4.14	Diagram satu garis Gangguan ke Tanah Tipikal1	76
Gambar 4.15	Kurva <i>Eksisting</i> Gangguan ke Tanah Tipikal 1	78
Gambar 4.16	Kurva Pengaturan ulang Gangguan ketanah Tipikal1	81
Gambar 4.17	Diagram satu garis Gangguan ke Tanah Tipikal 2	83
Gambar 4.18	Kurva <i>Eksisting</i> Gangguan ke Tanah Tipikal 2	84
Gambar 4.19	Kurva Pengaturan ulang Gangguan ketanah Tipikal 2	87

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Kurva waktu terbalik menggunakan Standar IEC	17
Tabel 2.2 Faktor Peralatan dan Tingkatan Tegangan [1].....	19
Tabel 2.3 Jarak Pekerja [1].....	20
Tabel 2.4 Peralatan Pelindung Diri NFPA 70E-2015.....	23
Tabel 3.1 Pembangkit Listrik yang Digunakan.....	25
Tabel 3.2 Distribusi sistem kelistrikan pada PT. Smelting.....	26
Tabel 3.3 Transformator yang Terdapat di PT Smelting.....	26
Tabel 3.4 Lanjutan tabel 3.3 Data Transformator.....	27
Tabel 3.5 Beberapa Beban Motor yang Terdapat di PT. Smelting.....	27
Tabel 3.6 Beberapa Beban DC dan Lump.....	27
Tabel 4.1 Arus Hubungan Singkat maksimum 3 fasa 4 siklus dan 30 siklus	30
Tabel 4.2 Lanjutan tabel 4.1 Data Transformator.....	31
Tabel 4.3 Arus Hubungan Singkat Minimum Saat 30 Siklus.	31
Tabel 4.4 Sequence viewer Rele <i>Eksisting</i> Tipikal 1.....	37
Tabel 4.5 Hasil tampilan urutan pengaturan ulang Tipikal 1.....	45
Tabel 4.6 Waktu Operasi Kerja Rele Eksisting Tipikal 2.....	48
Tabel 4.7 Hasil Simulasi Urutan Rele yang bekerja.....	52
Tabel 4.8 Waktu Operasi Kerja Rele Eksisting Tipikal 3.....	55
Tabel 4.9 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan diantara 165-MC-281 dengan CB-160452S252.....	64
Tabel 4.10 Waktu Operasi Kerja Rele Eksisting gangguan berada pada saluran LL-Refinery Tipikal 3.....	67
Tabel 4.11 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan pada saluran LL-Refinery.....	72
Tabel 4.12 Perbandingan Pengaturan Rele Arus Lebih.....	72
Tabel 4.13 Pentanahan yang digunakan di peralatan PT. Smelting.....	75
Tabel 4.14 Lanjutan Pentanahan yang digunakan di peralatan PT. Smelting.....	75
Tabel 4.15 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat diberikan Gangguan <i>Line to Ground</i> pada saluran antara bus 170-SG-101 dan Motor 170-CP-011.	82
Tabel 4.16 Hasil Simulasi Urutan Rele saat diberi gangguan <i>Line to Ground</i> pada saluran antara bus 100-SG-201 dan Trafo 160-TF-252...	88
Tabel 4.17 Data Bus Untuk Perhitungan Insiden Energi Busur Api.....	89
Tabel 4.18 Simulasi Busur Api menggunakan ETAP 12.6.....	92
Tabel 4.19 Data Bus Untuk Perhitungan Insiden Energi Busur Api.....	93
Tabel 4.20 Perbandingan hasil eksisting dan pengaturan ulang.....	96

Tabel 4.21 Jarak aman pelindung keadaan Pengaturan ulang	98
Tabel 4.22 PPE PT. Smelting Gresik.....	99

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam suatu sistem kelistrikan industri kontinuitas suplai listrik harus tetap terjaga. Terdapat suatu kasus ketika terjadi gangguan dan tidak adanya sistem pengaman maka sistem kelistrikan tersebut akan mengalami pemadaman total yang mengakibatkan kerugian materi yang cukup besar. Tidak berhenti sampai situ peralatan industri tidak menutup kemungkinan akan selalu berjalan normal dan dapat dipastikan umur peralatan pasti akan menurun dikarenakan peralatan tersebut dijalankan 24 jam secara kontinu dan terjadi pemadaman terus menerus yang mengakibatkan kerusakan internal pada peralatan tersebut. Selain itu suatu industri pasti akan menambahkan beban baru untuk beberapa tahun kedepan, dikarenakan tidak mungkin suatu industri akan selalu diam ditempat dan tidak ada perubahan untuk masa yang akan datang karena permintaan konsumen yang terus menerus bertambah

Dalam melakukan koordinasi pengamanan dibutuhkan pengaturan rele yang tepat, agar Pemutus tenaga membuka ketika rele merasakan adanya gangguan hubungan singkat. Selain itu juga melakukan perhitungan insiden energi dan lama terjadinya Busur Api ketika Pemutus tenaga membuka jarak aman bagi teknisi menggunakan standar IEEE 1584-2002. Hal ini juga dibutuhkan untuk menjaga keselamatan teknisi agar ketika gangguan terjadi tidak menimbulkan luka yang serius. Dalam menghitung Busur Api ada beberapa parameter yang harus dicari terlebih dahulu yaitu mencari besar nilai pelepasan energi di udara yang besarnya bergantung pada tingkatan tegangan bus. Untuk penelitian tugas akhir ini juga diperlukan perangkat lunak pendukung untuk simulasi dan pemodelan sistem yaitu ETAP 12.6.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana mengetahui besar arus gangguan hubungan singkat dan pengaturan rele pengamanan ?
2. Bagaimana mengetahui besar insiden energi dan lama waktu terjadi Busur Api ?
3. Bagaimana menentukan jarak aman dan menentukan alat pelindung diri yang digunakan ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Rele yang diujikan sebatas Rele arus lebih dan Rele gangguan ketanah.
2. Perhitungan insiden energi Busur Api sesuai standar IEEE 1584-2002
3. Perlengkapan keselamatan diri kategori energi Busur Api menggunakan standar NFPA 70E-2015

1.4 Tujuan

Pada tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mendapatkan besar arus gangguan hubungan singkat dan pengaturan rele pengaman.
2. Mendapatkan dan mengetahui besar insiden energi Busur Api saat terjadi gangguan.
3. Mendapatkan dan mengetahui jarak aman dan menentukan alat pelindung diri yang digunakan.
4. Dapat dijadikan acuan untuk pengaturan koordinasi pengamanan Arus lebih Rele dengan mempertimbangkan Busur Api pada sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik
5. Menjadi acuan pembaca apabila penelitian yang diambil mengenai koordinasi pengaman dengan mempertimbangkan Busur Api dan membutuhkan perhitungan besarnya insiden energi sesuai standar IEEE 1584-2002 yang berlaku
6. Menjadi acuan apabila ada mahasiswa yang tertarik dan ingin meneruskan tugas akhir ini dengan metode yang berbeda.

1.5 Metodologi

1. Studi Literatur dan Pengumpulan data
Mencari acuan yang dibutuhkan di perpustakaan, IEEE xplore, dan pengumpulan data dengan parameter yang dibutuhkan di PT. Smelting seperti :
 - a.Data Beban
 - b.Data Pembangkit
 - c.Data Kabel
 - d.Data Trafo
 - e.Data Bus
 - f.SLD Sistem Kelistrikan
2. Simulasi dan Pemodelan Sistem

Simulasi menggunakan Perangkat lunak pendukung yaitu ETAP 12.6. Pemodelan membuat Diagram satu garis sistem kelistrikan dengan parameter yang dibutuhkan dan diambil sesuai yang ada di PT. Smelting Gresik. Setelah parameter nilai di masukkan pada data pemodelan dapat dijalankan analisis aliran daya apakah pada bus tersebut ada gangguan seperti tegangan rendah maupun tegangan tinggi. Apabila ada dapat diselesaikan dengan cara tap trafo pada sistem tersebut. Setelah itu dapat didapatkan besaran tegangan dan arus yang masuk tiap bus.

3. Analisis Hubungan singkat
Analisis hubungan singkat digunakan untuk mengetahui besaran arus gangguan pada sistem. Pada tahap sebelumnya telah dibuat pemodelan sistem dan diketahui besaran arus dan tegangan. Untuk analisis hubungan singkat sendiri mempunyai parameter sendiri dan harus dihitung sesuai standar yang ditentukan.
 - a. Menghitung arus nominal pada setiap peralatan dan percabangannya
 - b. Menghitung arus hubungan singkat maksimum dan minimum yang mungkin terjadi pada setiap bus
 - c. Menghitung pengaturan rele yang tepat mulai dari downstream
 - d. Menghitung energi dan lama waktu terjadinya Busur Api
4. Kesimpulan
Penyusunan laporan tugas akhir yaitu memperoleh pengaturan koordinasi pengaman yang tepat sesuai standar dan memperoleh perhitungan insiden energi hingga lama waktu terjadi Busur Api sesuai pemodelan sistem yang telah dibuat dan diharapkan dapat menjadi acuan bagi PT. Smelting apabila dibutuhkan pengaturan koordinasi pengaman ulang.

1.6 Sistematika

Penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

1. BAB I

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

2. **BAB II**
Pada bab ini berisi materi tentang teori hubungan singkat, rele pengaman, dan materi lainnya yang menunjang pengerjaan tugas akhir.
3. **BAB III**
Pada bab ini menjelaskan sistem Kelistrikan yang terdapat di PT. Smelting Gresik.
4. **BAB IV**
Pada bab ini berisi hasil analisis perhitungan dari data-data yang telah didapatkan. Menentukan kesalahan pengaturan yang terdapat pada rele pengaman dan me-pengaturan ulang nya dengan perhitungan manual untuk rele arus lebih fasa dan gangguan ketanah.
5. **BAB V**
Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

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

1. Dapat dijadikan acuan untuk pengaturan koordinasi pengaman Arus lebih Rele pada sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik
2. Menjadi acuan pembaca apabila penelitian yang diambil mengenai koordinasi pengaman dengan mempertimbangkan Busur Api dan membutuhkan perhitungan besarnya insiden energi sesuai standar IEEE 1584-2002 yang berlaku.
3. Menjadi acuan apabila ada mahasiswa yang tertarik dan ingin meneruskan tugas akhir ini dengan metode modifikasi.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Sistem kelistrikan dikatakan handal apabila kontinuitas peralatan dan suplai listrik untuk kebutuhan industri jarang sekali mengalami adanya pemeliharaan maupun pemadaman yang sering terjadi. Nyatanya meskipun suatu peralatan yang dibeli dengan harga mahal dipasang di sistem kelistrikan industri, jika tidak dikoordinasikan dan dilakukan perencanaan dengan baik akan mengakibatkan kerugian materi yang cukup besar. Pada kondisi ini dapat disimpulkan bahwa dengan pengeluaran yang cukup besar untuk membeli peralatan industri tidak menutup kemungkinan suatu industri tersebut dapat bekerja secara kontinu dan dapat meminimalisir gangguan yang sering terjadi. Sistem kelistrikan yang baik yaitu jika terjadi gangguan maka sistem pengamanan akan aktif agar gangguan tersebut dapat cepat diatasi dan tidak akan menyebabkan adanya kerusakan suatu peralatan yang serius. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa hal paling terpenting sebelum industri baru terbentuk yaitu melakukan analisis sistem tenaga yang dibutuhkan teknisi seperti informasi yang dibutuhkan untuk mencapai keandalan, keamanan, kualitas daya, kontinuitas pelayanan, pengoperasian dan pemeliharaan yang mudah, memudahkan kemungkinan untuk memperluas industri, biaya operasi, dan penghemat energi. Gangguan sistem tenaga listrik secara umum dapat dikategorikan menjadi 2 macam:

1. Gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri
2. Gangguan yang berasal dari luar

Gangguan yang berasal dari dalam penyebabnya dapat karena adanya beban lebih, tegangan dan arus tidak normal, kesalahan mekanis karena proses penuaan, dan kerusakan material seperti isolasi kabel yang cacat.

Gangguan yang berasal dari luar sistem dapat terjadi karena gangguan mekanis adanya pekerjaan galian saluran lain dimana gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah, pengaruh cuaca dan pengaruh lingkungan seperti pohon ambruk hingga binatang.

Bila ditinjau dari segi lamanya gangguan dapat dikelompokkan menjadi 2 macam :

1. Gangguan yang bersifat temporer, gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang

terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan ini jika tidak dapat hilang segenap segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen. Untuk gangguan yang bersifat temporer setelah arus gangguannya terputus dapat diambil contoh Pemutus tenaga yang telah terbuka karena rele pengaman, dengan ini saluran yang terganggu tersebut dapat dioperasikan dengan normal.

2. Gangguan yang bersifat permanen, gangguan ini dimana untuk membebaskannya diperlukan adanya tindakan perbaikan atau dengan cara menyingkirkan penyebab dari gangguan tersebut. Jadi agar dapat dioperasikan kembali maka bagian yang rusak harus diganti atau diperbaiki terlebih dahulu.

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

2.2 Gangguan Hubungan Singkat

Gangguan hubungan singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Arus hubungan singkat ini menyebabkan arus yang mengalir pada sistem menjadi beberapa kali lipat dari arus normal. Arus hubungan singkat dapat di analogi kan seperti air mengalir pada dam, ketika air yang mengalir pada dam terlalu besar maka dam tersebut akan jebol yang mengakibatkan kerusakan mekanis. Arus hubungan singkat ini besarnya berdasarkan lokasi gangguan yang sedang berlangsung. Arus hubungan singkat yang terbesar terjadi di dekat gangguan yang terjadi, apabila gangguan tersebut dekat dengan sumber maka gangguan paling besar yaitu terjadi pada area tersebut. Arus hubungan singkat diklasifikasi kan menjadi 2 grup, yaitu gangguan simetri dan gangguan asimetri. Untuk gangguan simetri, berdasarkan gelombang arus seimbang diantara sumbu nol. Gangguan simetri dikategorikan menjadi dua, gangguan hubungan singkat tiga fasa dan gangguan hubungan singkat tiga fasa ke tanah. Gangguan asimetri, berdasarkan bentuk gelombang arus tidak seimbang diantara sumbu nol. Gangguan asimetri dikategorikan menjadi tiga, gangguan hubungan singkat fasa-fasa, fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah. Gangguan yang

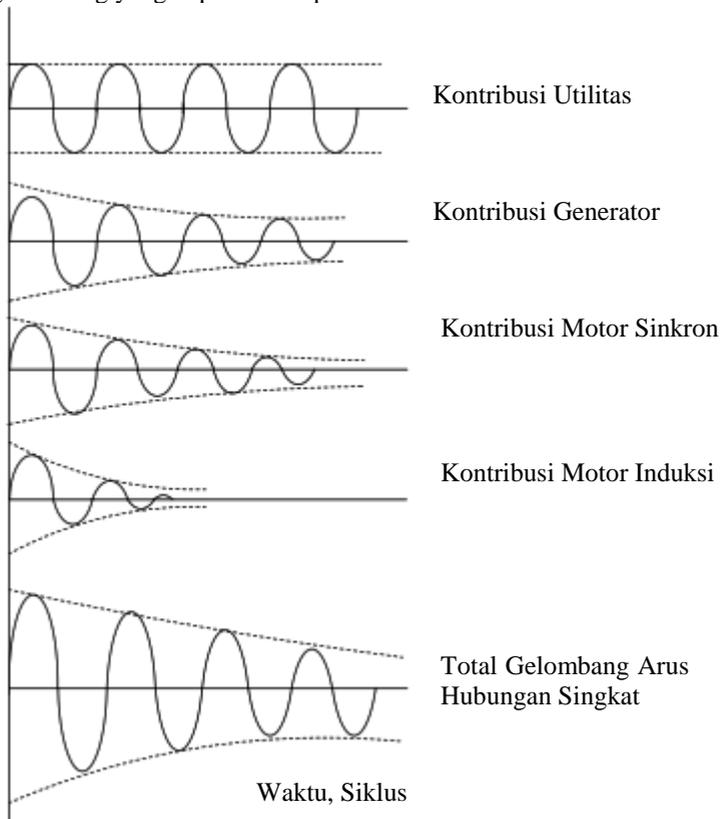
paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik yaitu gangguan asimetri. Sumber arus hubungan singkat yaitu sistem utilitas, generator, motor sinkron, dan motor induksi.

Untuk sistem utilitas biasanya terjadi pada keluaran daya yang akan di distribusikan ke pelanggan pada tingkatan tegangan tertentu. Meskipun sebetulnya trafo itu dikatakan sebagai sumber arus hubungan singkat, tetapi pada kenyataannya itu tidak betul. Transformator hanya merubah besaran arus dan tegangan, kesimpulannya trafo tidak menghasilkan tegangan dan arus melainkan alat bantu merubahan besaran arus dan tegangan. Yang kedua yaitu generator, yang dianggap sebagai sumber dari arus gangguan hubungan singkat.

Generator sendiri digerakkan oleh penggerak utama seperti turbin gas ataupun turbin uap. Ketika terjadi hubungan singkat, generator secara kontinu digerakkan oleh penggerak utama dan menghasilkan tegangan. Eksitasi medan dipertahankan oleh generator dengan kecepatan putar normal. Tegangan yang dihasilkan membawa besaran arus yang mengalir pada gangguan. Aliran ini dibatasi hanya dengan reaktansi dari generator dan jalur antara generator dan titik gangguan yang terjadi. Reaktansi dari generator berubah terhadap waktu sesaat setelah terjadi gangguan. Reaktansi dibentuk dari nilai sebagai berikut, X_d'' atau biasa disebut reaktansi sub transien permulaan terjadinya gangguan arus hubungan singkat yang terjadi pada rentang 0.1 detik dan terus meningkat hingga terjadi fase ke dua. X_d' atau biasa disebut reaktansi transien, yang terjadi hingga rentang 2 detik pada puncak sebelumnya. Menuju fase ke tiga yaitu kondisi X_d atau biasa disebut reaktansi sinkron yang ditentukan berdasarkan aliran arus yang mencapai keadaan sinkron. Generator sendiri mempunyai beberapa reaktansi yang besarnya terus naik berdasarkan waktu. Karena itu, besaran hubungan singkat yang terjadi menurun secara eksponensial dari gangguan hubungan singkat maksimum - minimum atau sudah dalam keadaan keadaan sinkron. Penjelasan tersebut sama dengan cara kerja motor sinkron.

Motor induksi berkontribusi arus hubungan singkat karena putaran generator yang menghasilkan inersia beban dan memutar rotor setelah gangguan terjadi. Tetapi ada juga perbedaan besar yang mendasar antara kontribusi gangguan hubungan singkat motor induksi dan motor sinkron. Medan yang terbangkit pada motor induksi karena induksi dari stator bukan dari penggerak lain. Jadi ketika flux menurun secara cepat sesaat terjadi gangguan kontribusi arus gangguan sangat kecil dan hilang setelah beberapa siklus. Jadi tidak ada kondisi keadaan sinkron pada saat

gangguan hubungan singkat terjadi. Maka dari itu motor induksi pada gelombang hanya sampai keadaan reaktansi sub transien (X_d''). Besaran arus kontribusi hubungan singkat pada motor induksi dipengaruhi oleh daya, tegangan rating, reaktansi motor, dan reaktansi sistem pada titik gangguan terjadi. Dari penjelasan sebelumnya dapat digambarkan bentuk gelombang yang dapat dilihat pada Gambar 2.1:

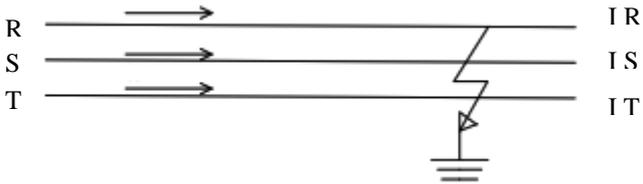


Gambar 2.1 Bentuk Gelombang dari kontribusi arus gangguan

2.2.1 Gangguan Hubungan Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan ini dapat dikatakan paling sering terjadi, biasanya terjadi karena adanya kerusakan isolator pada salah satu fasa disebabkan

pohon tumbang maupun adanya sambaran petir. Gangguan ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Gangguan satu fasa ke tanah pada fasa R.

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

$$I_{sc\ 1\phi - G} = \frac{3V_{L-N}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

V_{L-N} = Tegangan *line to neutral*

X_1 = reaktansi urutan positif

X_2 = reaktansi urutan negatif

X_0 = reaktansi urutan nol

2.2.2 Gangguan Hubungan Singkat Antar Fasa

Gangguan pada Generator 3 fasa dengan gangguan pada fasa S dan T. Gangguan ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gangguan hubungan singkat *Line-Line*

Perhitungan Gangguan *Line to Line* ini dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{L-L}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{L-N}}{2(X_1)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{sc\ 3\phi} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

V_{L-L} = Tegangan *line to line*

- V_{L-N} = Tegangan *line to neutral*
- $X1$ = reaktansi urutan positif
- $X2$ = reaktansi urutan negatif

2.2.3 Gangguan Hubungan Singkat Tiga Fasa

Gangguan yang terjadi pada semua fasa, Gangguan ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gangguan hubungan singkat 3 fasa

Perhitungan Gangguan 3 fasa ini dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{L-N}}{X1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- V_{L-N} = Tegangan *line to neutral*
- $X1$ = reaktansi urutan positif

2.3 Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik

Pertimbangan mendasar sebelum melakukan perencanaan pada sistem tenaga listrik meliputi banyak faktor. Salah satunya yaitu gangguan yang akan terjadi pada sistem kelistrikan. Kebanyakan gangguan terjadi seperti gangguan listrik yang menyebabkan kebakaran hingga pemadaman pada sistem kelistrikan tentunya akan merugikan industri tersebut. Dengan adanya sistem pengaman pun tidak menjamin suatu industri tersebut dapat berjalan dengan normal secara kontinu jika secara periodik tidak dilakukan pembelajaran, catatan berkala, dan pemeliharaan. Sistem pengaman meliputi semua peralatan pengaman mulai dari Pemutus tenaga ataupun fuse mulai dari tegangan rendah hingga tegangan tinggi. Sistem kelistrikan akan jauh lebih aman jika di koordinasi kan dengan baik secara berkala setiap ada penambahan pembangkit atau ekspansi sistem, paling sering ditemui ketika terjadi ekspansi sistem koordinasi pengaman masih dalam keadaan eksisting yang menyebabkan sistem kelistrikan tersebut dikatakan tidak terkoordinasi dengan baik dan tidak menjamin sistem tersebut akan

beroperasi dengan lancar. Maka dari itu pembelajaran sistem pengaman secara berkala sangat dibutuhkan untuk menjamin dan mencegah adanya pemadaman sistem kelistrikan, layaknya pemeliharaan berkala pada suatu sistem kelistrikan.

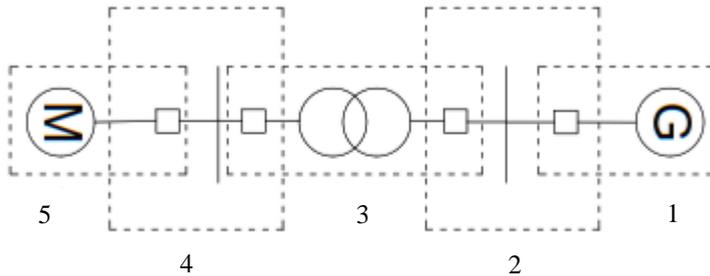
Peralatan pengaman untuk hubungan singkat dapat didefinisikan sebagai peralatan yang ditanamkan pada jalur kelistrikan untuk mengamankan jika adanya gangguan hubungan singkat maupun beban lebih. Sedangkan cara kerjanya secara otomatis memutus arus listrik yang berlebih sesuai kemampuan hubungan singkat pada peralatan. Peralatan bantu untuk mengamankan sistem kelistrikan tidak lain adalah Pemutus tenaga dan fuse. Peralatan ini membantu rele untuk merasakan arus lebih dan memberi arahan pada Pemutus tenaga untuk membuka agar arus hubungan singkat terputus dan tidak sampai merusak suatu peralatan pada sistem tenaga listrik. Peralatan bantu lain yaitu fuse yang bertindak sebagai pengaman jika terjadi arus yang tidak normal akan meleleh dan memutus aliran listrik. Peralatan lain yang tidak kalah pentingnya yaitu kabel, saluran bus, pemutus tenaga, harus dapat menahan suhu dan tekanan mekanis yang diakibatkan arus hubungan singkat yang tinggi. Jadi jika arus hubungan singkat terjadi arus akan mengalir pada impedansi terendah yaitu pada titik gangguan, dan pemutus tenaga yang telah dipilih harus mampu menahan arus hubungan singkat yang berlangsung hingga memutus aliran arus saat terjadi gangguan. Jadi pemilihan Pemutus tenaga setidaknya sesuai perencanaan gangguan hubungan singkat maksimum pada area peletakkan. Kesimpulannya pada koordinasi pengaman peralatan tersebut harus handal dan tidak mengalami kesalahan operasi ketika terjadi gangguan hubungan singkat yang dapat diilustrasikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Blok diagram rele pengaman

2.4 Pembagian Daerah Pengamanan

Pembagian daerah ini merupakan koordinasi untuk mengamankan suatu peralatan listrik yang melibatkan peralatan proteksi seperti rele pengaman dan Pemutus tenaga. Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram satu garis pembagian daerah pengaman

Pada Gambar 2.6 terdapat suatu diagram satu garis dan mempunyai pembagian zona pengaman pada area tertentu. Dapat dilihat terdapat pemodelan sederhana meliputi Generator, Pemutus tenaga tegangan tinggi, Transformator, dan Motor Induksi.

Pada pemodelan sederhana gambar 2.6 juga terdapat garis putus-putus yang dapat disebut daerah atau zona pengaman. Berikut penjelasan mengenai daerah masing-masing pengaman pada pemodelan sederhana pada gambar 2.6

1. Daerah 1 : Daerah pengaman Generator
2. Daerah 2 : Daerah pengaman Bus Tegangan Tinggi
3. Daerah 3 : Daerah pengaman Transformator
4. Daerah 4 : Daerah pengaman Bus Tegangan Rendah
5. Daerah 5 : Daerah pengaman Motor induksi

Daerah pengaman yang sudah ditentukan tersebut merupakan area kerja peralatan pengaman agar saling berkoordinasi dengan baik. Dengan adanya penambahan rele arus lebih maka pembagian zona tersebut akan lebih kompleks, karena rele tersebut mempunyai fungsi untuk merasakan jika adanya arus lebih pada sistem kelistrikan. Dengan demikian pembagian zona mempunyai fungsi baru yaitu ketika rele arus lebih telah di pengaturan dengan benar sesuai standar yang dipakai. Maka rele tersebut mempunyai tanggung jawab masing-masing, dimana terdapat koordinasi antar rele untuk membuka Pemutus tenaga jika terjadi hubungan singkat pada area tertentu. Jadi diasumsikan terjadi hubungan singkat pada daerah pengaman motor, maka rele arus lebih akan merasakan dan memberi arahan pada Pemutus tenaga pengaman motor untuk membuka. Jika rele pengaman daerah motor gagal beroperasi maka

rele daerah transformator harus bertanggung jawab untuk membuka Pemutus tenaga pada daerahnya.

2.5 Rele Arus Lebih

Penggunaan rele arus lebih ini sangat diperlukan untuk mengatasi gangguan listrik terutama gangguan hubungan singkat. Rele arus lebih ini juga tipe sangat umum untuk rele pengaman. Rele ini membuka pemutus tenaga ketika lebih dari jumlah aliran arus yang ditentukan. Karakteristik rele arus lebih ini ditunjukkan pada grafik *time current curve* (kurva arus terhadap waktu) dengan pengaturan rentang kelipatan arus *pickup* dan waktu kerja. Rele arus lebih juga ini mempunyai pengaturan untuk arus *pickup*. Jika terdapat arus gangguan dan rele beroperasi tanpa memperhatikan waktu tunda biasa disebut pengaturan waktu seketika. Juga mempunyai pengaturan apabila terdapat gangguan transien alami atau biasa disebut arus inrush maka rele tersebut dapat merasakan dan tidak memerintahkan Pemutus tenaga agar tidak terbuka. Maka dari itu umumnya alasan rele yang dilengkapi dengan mekanisme waktu tunda, dapat memberi izin agar meskipun terdeteksi arus gangguan yang berlipat ganda Pemutus tenaga tidak akan terbuka dengan catatan dalam periode waktu yang ditentukan. Rele arus lebih ini akan bekerja dengan adanya transformator arus, tetapi ada juga rele arus lebih dengan arah yang membutuhkan transformator tegangan untuk menentukan sudut fasa dengan cara merasakan tegangan. Juga perlu diketahui waktu operasi rangkaian pengaman yaitu waktu untuk rele mulai *pickup* sampai kontak Pemutus tenaga terbuka. Berdasarkan IEEE 242 :

1. Waktu terbuka Pemutus tenaga (2-5 siklus) : 0,04-0,1 detik
2. *Over travel* (waktu yang dibutuhkan rele bekerja) : 0,1 detik
3. Faktor keamanan : 0,12-0,22 detik

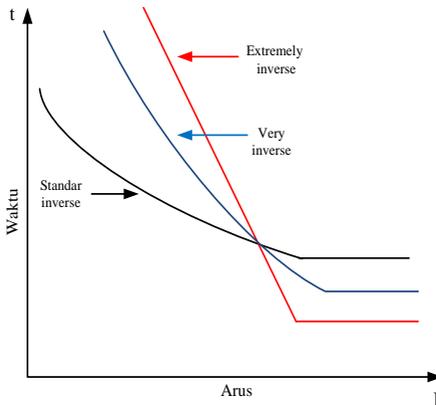
Untuk rele statik dan rele digital berbasis mikroprosesor *over travel* dari rele dapat diabaikan. Sehingga total waktu kerja = 0,2-0,4 detik. Interval waktu ini sangat berguna untuk digunakan sebagai pertimbangan dalam koordinasi antar rele.

2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse*)

Kurva arus lebih waktu terbalik (*Inverse*) mempunyai karakteristik grafik terbalik antara besarnya arus gangguan dan waktu operasi, dimana semakin besar arus gangguan hubungan singkat maka semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau memutus Pemutus tenaga.

Jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele untuk membuka Pemutus tenaga semakin lama.

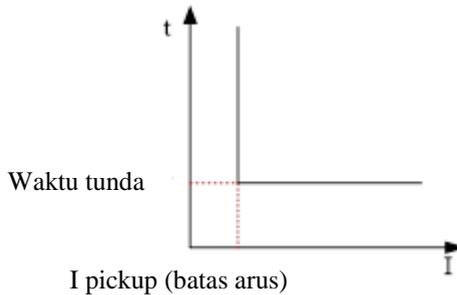
Pada standar IEEE std 242-2001 kurva waktu terbalik terdiri dari beberapa jenis bentuk kurva yang dapat dilihat pada kurva arus terhadap waktu: *standard inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*. Berikut merupakan bentuk kurva waktu terbalik dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Karakteristik rele arus lebih waktu *inverse* (Terbalik)

2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

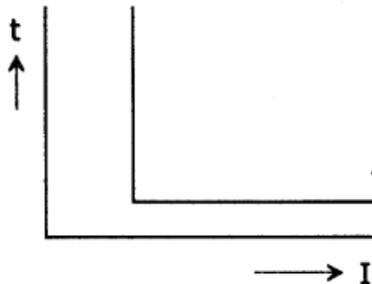
Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*) bekerja tanpa memperhatikan arus hubungan singkat. Ketika gangguan terjadi apabila arus gangguan melebihi arus *pickup* rele ini akan bekerja pada waktu yang sama. Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 2.8 yang menunjukkan karakteristik kurva arus terhadap waktu, Rele arus lebih waktu tertentu.



Gambar 2.8 Karakteristik Rele Arus Lebih waktu tertentu

2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instant*)

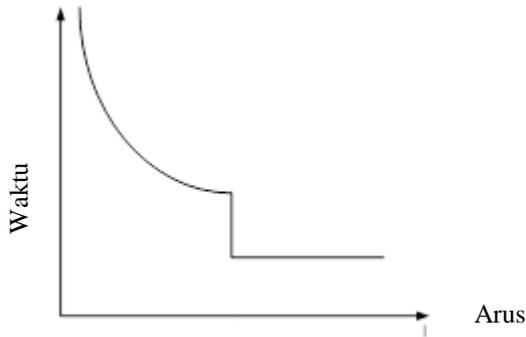
Rele arus lebih waktu seketika ini bekerja seketika ketika arus gangguan melebihi pengaturan arus batas pada rele. Rele ini beroperasi dengan rentang waktu kurang dari 1 detik. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Karakteristik Dari Rele Arus Lebih Seketika

2.5.4 Rele Arus Lebih waktu seketika dengan waktu terbalik

Rele ini kombinasi karakteristik waktu seketika dengan waktu terbalik. Rele ini akan beroperasi ketika daerah waktu terbalik melebihi arus pickup yang ditentukan, sesaat setelahnya rele waktu tertentu beroperasi pada saat gangguan hubungan singkat minimum yang bergantung pada pengaturan waktu tunda. Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut untuk rele arus lebih waktu seketika dengan waktu terbalik yang dapat lihat pada Gambar 2.9 .



Gambar 2.9 Karakteristik untuk kurva waktu seketika dengan waktu terbalik.

2.6 Pengaturan Rele Arus Lebih

Pengaturan rele arus lebih harus sesuai dengan keadaan sistem kelistrikan dan dilakukan perencanaan pembagian zona agar koordinasi pengaman dapat berjalan sesuai yang diharapkan.

2.6.1 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Untuk pengaturan rele arus lebih inverse, kondisi ini perlu diperhatikan yaitu rele tidak boleh beroperasi saat beban puncak. Rele ini harus diatur batas arusnya lebih besar dari beban maksimum dari peralatan yang diamankan.

Pada pengaturan rele arus lebih waktu terbalik ada 2 bagian yang harus diatur yaitu batas tap dan waktu kerja. Untuk menentukan besarnya tap maka dapat digunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primer}} \dots\dots\dots (2.1)$$

I_{set} adalah batas arus dalam satuan ampere.

Untuk pengaturan rendah rele arus lebih digunakan persamaan berikut :

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA} \dots\dots\dots (2.2)$$

Setelahnya dilakukan pengaturan waktu kerja yang digunakan untuk menentukan waktu rele bekerja. Untuk menentukan nilai waktu kerja dari beberapa kurva karakteristik waktu terbalik rele arus lebih menggunakan standar IEC yang dapat dilihat pada persamaan 2.3 berikut.

$$TD = \frac{k \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

TD = waktu tunda (detik)

- T = waktu kerja
a = koefisien waktu terbalik
 β = koefisien waktu terbalik
I = Hubungan singkat maksimum (Ampere)
 I_{set} = Batas arus (Ampere)

Tabel 2.1 Koefisien Kurva waktu terbalik menggunakan Standar IEC

No	Karakteristik	Koefisien	
		<i>k</i>	<i>α</i>
1	<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
2	<i>Very Invers</i>	13,50	1,00
3	<i>Extremely Inverse</i>	80,0	2,00
4	<i>Long – time Inverse</i>	120,0	2,00
5	<i>Short-time Inverse</i>	0,05	0,04

2.6.2 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Rele arus lebih waktu seketika ini bekerja seketika ketika arus gangguan melebihi pengaturan batas arus pada rele. Untuk pengaturan rele waktu instant ini dibutuhkan nilai I_{sc} minimum yang dapat dicari dengan cara persamaan berikut :

$$I_{scmin} = \frac{1}{2} \sqrt{3} \times I_{scmax} \dots (2.4)$$

Setelah I_{sc} minimum telah diketahui nilainya, dapat dilanjutkan untuk menentukan pengaturan batas arus dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{scmax} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{scmin} \dots (2.5)$$

Nilai I_{sc} maksimum didapatkan dari nilai arus hubungan singkat maksimum 3 fasa.

2.7 Busur Api (*Arcflash*)

Luka bakar yang diakibatkan busur listrik sebagian besar karena adanya kegagalan fungsi listrik [1]. Busur Api sendiri dapat didefinisikan sebagai pelepasan energi sesaat yang disebabkan adanya pelepasan energi di udara diantara bus bar satu dan bus lainnya. Disaat terjadinya pelepasan energi di udara udara bersifat konduktor. Besarnya arus pelepasan energi di udara biasanya lebih rendah daripada gangguan hubungan singkat antar konduktor (*bolted fault*), dan dibawah rating spesifikasi Pemutus tenaga yang digunakan. Pelepasan energi di udara merupakan arus gangguan yang mengalir melalui plasma busur listrik, sedangkan *bolted fault*

current merupakan hubungan singkat yang terjadi diantara 2 konduktor dengan beda potensial yang impedansinya dan tahanan diantara konduktor sama dengan nol [1]. Ketika Busur Api berlangsung energi yang dihasilkan sangat besar. Busur Api menyebabkan suhu udara dapat mencapai hingga 35,000 derajat Fahrenheit, yang dimana lebih panas dari permukaan matahari [2]. Busur Api dapat menyebabkan ledakan bertekanan, dimana pada saat ledakan berlangsung dapat mengakibatkan orang yang sedang bekerja pada area dapat terlempar hingga luka serius. Adanya radiasi infra merah dapat mengakibatkan luka bakar yang sangat serius, bahkan apabila permukaan kulit manusia pada presentasi tertentu terkena luka bakar dapat mengakibatkan kematian.

2.8 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standar IEEE 1584 – 2002 [1]

Untuk mencari nilai energi Busur Api, yang harus dilakukan yaitu mencari nilai arus pelepasan energi di udara terlebih dahulu. Untuk perhitungan pelepasan energi di udara dibagi menjadi 2. Bagian pertama untuk tingkatan tegangan kurang dari 1kV dan yang kedua untuk tingkatan tegangan 1kV-15kV.

Arus pelepasan energi di udara untuk tingkatan tegangan <1kV dapat dilihat pada persamaan (2.8).

$$I_g I_a = K + 0,662 I_g I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (I_g I_{bf}) - 0,00304 G (I_g I_{bf}) \dots\dots\dots(2.6)$$

Arus pelepasan energi di udara untuk tingkatan tegangan ≤1kV dapat dilihat pada persamaan (2.9).

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \dots\dots\dots(2.7)$$

Persamaan dari Ia adalah :

$$I_a = 10^{lg I_a} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

$$I_g = \text{Log}_{10}$$

$$I_a = \text{Arus } \textit{arc} \textit{ing} \text{ (kA)}$$

K = Konstanta untuk konfigurasi terbuka =-0,153 dan konstanta untuk konfigurasi box = -0,097

$$I_g I_{bf} = \text{Bolted fault current (symmetrical RMS) (kA)}$$

$$V = \text{Tegangan sistem (kV)}$$

$$G = \text{Jarak celah antar konduktor (mm)}$$

Untuk menghitung besarnya insiden energi dibutuhkan parameter pendukung yang dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.2 Faktor Peralatan dan Tingkatan Tegangan [1]

Tingkatan Tegangan (kV)	Jenis Peralatan	Gap antar konduktor (mm)	Jarak faktor x (mm)
0.208-1	Udara Terbuka	10-40	2,000
	<i>Switchgear</i>	32	1,473
	MCC dan panel	25	1,641
	Kabel	13	2,000
>1-5	Udara Terbuka	102	2,000
	<i>Switchgear</i>	13-102	0,973
	Kabel	13	2,000
>5-15	Udara Terbuka	13-153	2,000
	<i>Switchgear</i>	153	0,973
	Kabel	13	2,000

^ajarak factor x ini digunakan pada perhitungan insiden energi

Setelah mendapatkan nilai arus busur, dapat menghitung nilai insiden energi jarak kerja. Dalam perhitungan besar energi normal, menggunakan referensi waktu busur api dengan durasi 0,2 detik dan jarak busur api ke manusia sebesar 610 mm. Formula insiden energi dapat dilihat pada persamaan (2.11).

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

E_n = insiden energi normal (J/cm²)

K1 = -0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) for *open air arcs*

-0,555 untuk konfigurasi *box (enclosed equipment) arc in a box*

K2 = 0 untuk sistem *undergrounded and High-resistance grounded*

-0,113 untuk sistem *grounded*

G = Jarak / celah antar konduktor (mm)

Untuk mendapatkan nilai G dapat dilihat pada tabel 2.1.

Besar energi, dapat digunakan persamaan berikut :

$$E_n = 10^{I_g E_n} \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk menghitung besarnya insiden energi dapat menggunakan persamaan 2.21

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

- E = Insiden energi, J/cm²
- C_f = Faktor perhitungan 1,0 untuk tegangan diatas 1kV
1,5 untuk tegangan dibawah atau sama dengan 1kV)
- E_n = Insiden energi normal
- t = waktu arcing(detik)
- x = Jarak kerja dapat dilihat pada tabel Faktor Peralatan dan
Tingkatan Tegangan
- D = Jarak, mm dapat dilihat pada tabel Jarak Pekerja

Tabel 2.3 Jarak Pekerja [1]

Kelas Peralatan	Jarak Pekerja ^a (mm)
15kV <i>Switchgear</i>	910
5 kV <i>Switchgear</i>	910
Switchgear Tegangan Rendah	610
MCCs Tegangan Rendah dan Papan Panel	455
Kabel	455

*Jarak Pekerja adalah kondisi diantara pekerja berdiri di depan peralatan, yang berpotensi menghasilkan Busur Api.

2.9 Jarak Aman Pelindung (*Flash Protection Boundary*)

Flash protection Boundaries atau jarak aman pelindung merupakan batasan yang digunakan jika personel pada area menerima luka bakar tingkat dua yang diakibatkan Busur Api. Standar yang digunakan yaitu NFPA 70E-2015. Jarak aman pengaman ini dapat diibaratkan terdapat bola yang mempunyai beberapa lapisan, dimana lapisan paling dalam merupakan zona yang sangat berbahaya. Pada kondisi ini apabila terdapat seorang teknisi yang berada pada area tersebut dapat berimbas kecelakaan luka bakar tingkat dua. Dalam beberapa kasus lain jarak aman pelindung ini dapat didefinisikan sebagai Busur Api yang sedang berlangsung ini berdasarkan energi yang timbul pada permukaan terhadap jarak tertentu. Berikut merupakan lapisan jarak aman pelindung yang dapat dilihat pada gambar 2.16.

Penjelasan lapisan jarak aman pelindung [3]:

1. *Limited Approach Boundary* : batas pendekatan pada jarak bagian bertegangan dimana adanya bahaya sengatan listrik.

2. *Restricted approach boundary* : batas pendekatan pada jarak dari bagian bertegangan dimana adanya peningkatan resiko kejutan yang diakibatkan busur listrik dari gerakan yang tidak disengaja oleh teknis yang berada pada area tersebut.
3. *Prohibited Approach Boundary*
Batas perlindungan jarak dari bagian konduktor aktif dimana teknisi dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif pada area.
4. *Flash Protection Boundary* Batas perlindungan, besar insiden energi sama dengan 1,2 cal/cm². pada area ini sangat berbahaya bagi teknisi karena dapat menyebabkan luka paling parah ketika Busur Api sedang berlangsung.

Perhitungan jarak aman pelindung dapat menggunakan persamaan (2.19) :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

- D_B = Batas jarak dari titik Busur Api (mm)
- C_f = Faktor perhitungan 1,0 untuk tegangan diatas 1kV
1,5 kV untuk tegangan dibawah atau sama dengan 1kV)
- E_n = Insiden energi normal
- E_B = Insiden energi dalam J/cm² pada jarak Busur Api boundary
- t = waktu (detik)
- x = Jarak eksponen
- I_{bf} = *Bolted fault current* (kA)

Busur Api batas adalah jarak dimana orang tersebut menerima luka bakar tingkat dua. Yang dapat diartikan ketika kulit manusia menerima 5,0 J/cm² dari insiden energi.

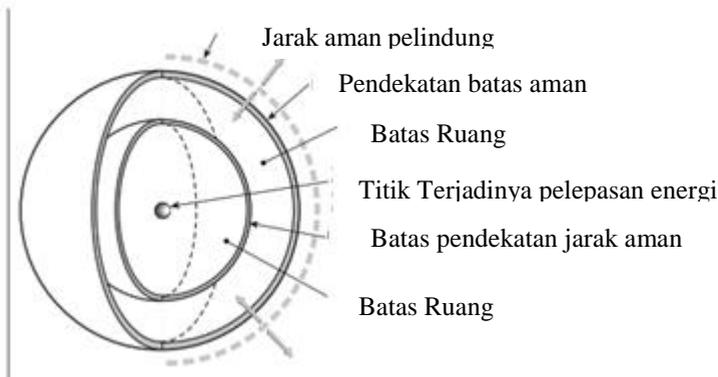
Pengaman Busur Api selalu didasari dari tingkatan insiden energi terhadap wajah dan tubuh manusia pada jarak tertentu. Presentasi kecelakaan bergantung pada berapa besar total dalam persen permukaan kulit yang terbakar. Berikut merupakan jarak pekerja yang dapat dilihat pada tabel 2.3

Pada tingkatan tegangan 15kV, jarak antar konduktor diluar batasan dari model, sehingga untuk menentukan insiden energi dapat menggunakan metode lee seperti pada persamaan 2.22

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{D^2}\right)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

- E = Insiden energi dalam J/cm²
- t = waktu (detik)
- x = Jarak kerja
- V = Tegangan sistem (kV)
- Ig I_{bf} = Arus gangguan hubungan singkat antar konduktor (kA)
- D = Jarak kerja (mm)



Gambar 2.10 Pendekatan Jarak Aman Pelindung

2.10 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api terhadap

2.10.1 Peralatan Pelindung Diri (Personal Protective Equipment)

Perhitungan energi Busur Api pada setiap bus dilakukan terlebih dahulu untuk mengelompokkan peratan pelindung diri. Perlengkapan keselamatan ini wajib digunakan oleh semua teknisi yang berada dilapangan untuk mencegah hal yang tidak diinginkan yang berimbas pada produksi industri maupun keselamatan diri sendiri. Standar yang digunakan yaitu NFPA 70E-2015, sebagai acuan dasar insiden energi yang terjadi dan peralatan yang digunakan pada area tertentu atau yang berpotensi terjadinya Busur Api. Berikut merupakan Tabel PPE sesuai standart NFPA 70E – 2015 yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 [8] :

Tabel 2.4 Peralatan Pelindung Diri NFPA 70E-2015

Kategori Resiko Bahaya	Tingkat minimum busur api (Cal/cm ²)	Peralatan Pelindung
1	4	Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		Pelindung Wajah
		Jaket Pelindung
		Helm Keselamatan
		Kacamata keselamatan
		Pengaman telinga
		Sarung tangan kulit
		Sepatu Kulit
2	8	Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		Setelan anti busur api
		Jaket Pelindung
		Helm Keselamatan
		Kacamata keselamatan
		Pengaman telinga
		Sarung tangan kulit
		Sepatu Kulit
3	25	Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		Setelan anti busur api
		Jaket Pelindung
		Helm Keselamatan
		Kacamata keselamatan
		Pengaman telinga
		Sarung tangan kulit
		Sepatu Kulit
4	40	Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		Setelan anti busur api
		Jaket Pelindung
		Helm Keselamatan
		Kacamata keselamatan

Kategori Resiko Bahaya	Tingkat minimum busur api (Cal/cm ²)	Peralatan Pelindung
		Pengaman telinga
		Sarung tangan kulit
		Sepatu Kulit
		Kemeja Lengan Panjang

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN PT. SMELTING

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Smelting Gresik

PT. Smelting adalah perusahaan yang dirancang untuk memproduksi 200.000 ton per tahun katoda tembaga LME kelas A dari 660.000 ton per tahun dari hasil tambang konsentrat tembaga yang dilakukan oleh PT. Freeport Indonesia dan PT. Newmont Nusa Tenggara. Selain menghasilkan katoda tembaga sebagai hasil produksi utamanya, pabrik ini juga menghasilkan beberapa produk samping seperti lumpur anoda, terak tembaga, gypsum, serta asam sulfat. Untuk pembangkitan tenaga listrik pada *plant*, PT. Smelting bekerja sama dengan PT. Linde untuk menyuplai tenaga listrik guna memenuhi kebutuhan energi listriknya. Pembangkitan listrik terdiri dari 8 buah generator dan *grid* PLN. 8 generator tersebut terdiri dari 2 generator STG, 3 generator CTG, 1 generator CT#4 dan 2 generator GEG dengan total kapasitas 8 generator tersebut adalah 67,9 MW. Dimana sistem kelistrikan PT. Linde, merupakan tipe *loop* dan terhubung dengan grid Perusahaan Listrik Negara dan beroperasi secara bersama – sama. Grid PLN ini menyuplai daya sebesar 25052 KW. Tabel 3.1 Menunjukkan pembangkit yang digunakan untuk menyuplai daya yang dibutuhkan oleh PT. Smelting.

Tabel 3.1 Pembangkit Listrik yang Digunakan

No.	ID Generator	Kapasitas
1	1-TGK-CTG 1	10 MW
2	1-TGK-CTG 2	10 MW
3	1-TGK-CTG 3	10 MW
4	1-TGA-STG 1	9 MW
5	1-TGA-STG 2	9 MW
6	1-TGG-GEG 1	3,2 MW
7	1-TGG-GEG 2	3,2 MW
8	1-TGG-GEG 3	3,2 MW
9	CT#4	13,5 MW

PT. Smelting menggunakan sistem kelistrikan 3 tingkatan tegangan, yang salah satunya bekerjasama dengan PT. Linde untuk kebutuhan pembangkitan sistem pada tingkatan tegangan 11 kV, 6 kV, dan 0,4 kV. Untuk penjelasan distribusi sistem pada PT. Smelting dapat dilihat pada sub bab 3.2 berikut.

3.2 Sistem Distribusi PT. Smelting

Sistem distribusi PT. Smelting menggunakan dua buah saluran kabel yang dapat dilihat pada gambar 3.1 yang terhubungan langsung dengan bus 030-SG-101 sebesar 11 kV yang selanjutnya dialirkan menuju beberapa substation yang mempunyai bagian masing-masing yaitu kilang, asam, peralatan peleburan, dan bahan baku. Gardu Induk tersebut menggunakan bus 6kV. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.2 mengenai sistem distribusi pada PT. Smelting.

Tabel 3.2 Distribusi sistem kelistrikan pada PT. Smelting

No.	ID Bus	Tegangan Nominal Bus
1	030-SG-101	11kv
2	100-SG-101	6kv
3	100-SG-201	6KV
4	170-SG-101	6KV
5	160-SG-201	6KV
6	170-SG-201	6KV
7	100-SG-151	0,4KV
8	100-SG-251	0,4KV
9	100-SG-252	0,4KV
10	400-SG-001	6KV
11	300-SG-001	6KV
12	200-SG-001	6KV
13	420-SG-001	6KV

Selanjutnya data transformator PT. Smelting yang digunakan sebagai penurunan tingkatan tegangan dapat di lihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Transformator yang Terdapat di PT Smelting

No.	ID. Transformator	MVA	KV	Pendinginan
1	100-TF-101	15/19,5	11/6	ONAN/ONAF
2	100-TF-201	15/19,5	11/6	ONAN/ONAF
3	400-TF-001	15	11/6	ONAN
4	300-TF-001	15	11/6	ONAN
5	200-TF-001	15	11/6	ONAN
6	420-TF-001	5,455	11/0,4	ONAN
7	420-TF-002	6,455	11/0,4	ONAN
8	420-TF-003	3,7	11/0,4	ONAN
9	100-TF-151	2/2,6	6/0,4	ONAN
10	100-TF-251	2/2,6	6/0,4	ONAN

Tabel 3.4 Lanjutan tabel 3.3 Data Transformator

No.	ID. Transformator	MVA	KV	Pendinginan
11	100-TF-252	2/2,6	6/0,4	ONAN
12	160-TF-151	1,6	6/0,4	ONAN
13	160-TF-152	1,6	6/0,4	ONAN

Sistem distribusi yang digunakan PT. Smelting yaitu sistem radial. Sistem ini beroperasi juga menggunakan bus yang berfungsi sebagai cadangan apabila dibutuhkan pemeliharaan pada salah satu substation agar tidak perlu dilakukan pemadaman. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada pemodelan sederhana diagram satu garis pada gambar 3.1.

3.3 Beban yang Terdapat di PT. Smelting

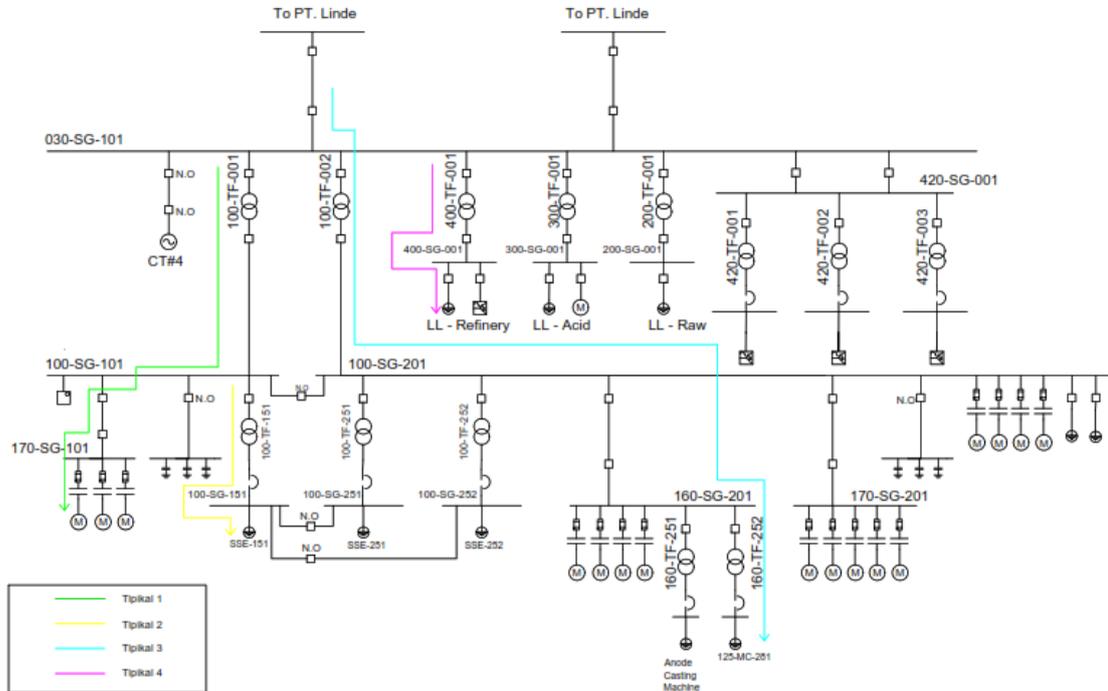
PT Smelting Beban PT Smelting sebagian besar berupa motor untuk melakukan proses produksinya. Tidak hanya motor saja, beban di PT Smelting juga terdapat beban statis dan beban lump. Untuk beban statis contohnya yaitu untuk penerangan. Sedangkan untuk pemodelan beban lump contohnya yaitu untuk mesin lumpur anoda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.5 berisi tentang beban motor, dan Tabel 3.6 berisi tentang beban DC dan beban campuran.

Tabel 3.5 Beberapa Beban Motor yang Terdapat di PT. Smelting

No.	ID Motor	KV	KW
1	170-CP-011	6	700
2	170-CP-012	6	700
3	150-PP-001	6	210
4	150-FA-005	6	300
5	191-BL-001	0,4	15
6	191-PP-001	0,4	11
7	191-FA-001	0,4	22

Tabel 3.6 Beberapa Beban DC dan Lump

No.	ID Beban	Jenis	Daya Beban
1	Furnace1	DC	4762kW
2	Furnace2	DC	4746kW
3	Furnace3	DC	1300kW
4	SSE151	Beban Campuran	1020kW
5	SSE251	Beban Campuran	1020kW
6	SSE252	Beban Campuran	1020kW
7	Anode Casting Machine	Beban Campuran	530kW
8	165-MC-281	Beban Campuran	816kW



Gambar 3.1 Diagram satu garis PT.Smelting

BAB IV

EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARCFLASH

4.1 Pemodelan Kelistrikan PT. Smelting.

Untuk mempermudah analisis koordinasi pengaman, hal yang pertama kali dilakukan adalah memodelkan sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik. Pemodelan ini membutuhkan 2 perangkat lunak pendukung, yang pertama yaitu ETAP sebagai perangkat lunak utama dan yang kedua adalah AutoCad untuk membantu penulis menyederhanakan pemodelan yang nantinya dimasukkan pada pembuatan buku.

Pemodelan sistem ini membutuhkan beberapa data peralatan yang sedang digunakan oleh PT Smelting Gresik meliputi data Transformator, Generator, Motor, kabel, bus, dan peralatan pendukung lainnya. Dengan demikian setelah didapatkan data yang telah disebutkan diatas, dapat dilanjutkan memodelkan sistem tersebut pada perangkat lunak ETAP dan sedapat mungkin disederhanakan sistem eksisting yang didapat agar lebih mudah untuk dianalisis.

Ketika pemodelan sistem kelistrikan PT Smelting telah dibuat pada perangkat lunak ETAP, maka dapat dilanjutkan analisis hubungan singkat untuk mengetahui parameter pendukung yang dibutuhkan koordinasi pengaman. Pada penelitian ini penulis akan menganalisis rele pengaman arus lebih dan rele pengaman gangguan ke tanah dengan mempertimbangkan Busur Api pada sistem kelistrikan PT Smelting Gresik. Pemodelan ini juga membantu penulis untuk memudahkan analisis gangguan yang terjadi pada sistem eksisting, dan apabila terjadi kesalahan koordinasi maka dapat dilakukan evaluasi pada sistem eksisting. Simulasi hubungan singkat maksimum menggunakan (1.5-4 siklus) dan 30 siklus untuk hubungan singkat minimum. Dengan fitur menampilkan kurva rele dan peralatan maka koordinasi pengaman dapat dilakukan sesuai perhitungan dengan prosedur dan standar industri yang sudah ada.

4.2 Pola Operasi Sistem Kelistrikan PT. Smelting Gresik

Sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik bekerjasama dengan PT. Linde untuk memenuhi kebutuhan suplai listrik secara kontinu dan kelangsungan sistem produksi utama dan sekunder yaitu katoda tembaga, lumpur anoda, serta asam sulfat. Berdasarkan keadaan tersebut terdapat kondisi dimana sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik dapat beroperasi

dengan minimal pembangkit sebanyak 5 unit yang dapat dilihat pada tabel 3.1 diantaranya yaitu 1-TGK-CTG 1, 1-TGK-CTG 2, 1-TGK-CTG 3, 1-TGK-CTG 1, 1-TGA-STG 1, 1-TGA-STG 2. Dengan demikian untuk melakukan koordinasi pengaman minimum pembangkitan dapat disimulasikan pemodelan pada ETAP 12.6 untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan yaitu arus hubungan singkat minimum 30 siklus yang dapat dilihat pada tabel 4.2. Sedangkan untuk mengetahui arus hubungan singkat 3 fasa 4 siklus dan 30 siklus yang mungkin terjadi 3 unit pembangkit yang masing-masing berkapasitas 3,2 MW dihubungkan pada saluran bus 11 kV. Penjelasan lebih lanjut bisa dilihat pada lampiran.

4.3 Analisis Hubungan-singkat

Penentuan pengaturan rele bergantung pada arus hubungan singkat yang terjadi dan yang dirasakan oleh rele tersebut. Pada pengaturan rele dibutuhkan data pendukung yang nantinya diolah untuk menentukan nilai pengaturan pada rele tersebut. Contoh yang dapat diambil yaitu rele pengaturan untuk arus lebih (arus lebih) pada fasa. Disini dibutuhkan data hubungan singkat maksimum 4 siklus untuk pengaturan rele pengaturan rendah dan hubungan singkat minimum 30 siklus untuk pengaturan rele pengaman pengaturan tinggi. Untuk analisis, hubungan singkat maksimum 3 fasa yang digunakan 4 siklus dan hubungan singkat minimum 2 fasa 30 siklus.

4.3.1 Hubungan Singkat Maksimum

Seperti penjelasan pada sub bab sebelumnya bahwa hubungan singkat maksimum yang dibutuhkan untuk analisis yaitu keadaan 4 siklus. Untuk arus hubungan singkat maksimum ½ siklus dibutuhkan untuk tes kapabilitas peralatan. Jadi untuk lebih jelasnya analisis hubungan singkat 4 siklus digunakan pada saat pengaturan waktu tunda rele pada kondisi maksimum 0,5 detik sedangkan untuk pengaturan rele dengan waktu tunda 0,6 keatas menggunakan 30 siklus 3 fasa. Untuk simulasi dari hubungan singkat maksimum pada setiap bus dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Arus Hubungan Singkat maksimum 3 fasa 4 siklus dan 30 siklus

No	ID Bus	Arus Hubungan Singkat 3 fasa 4~ (KA)	Arus Hubungan Singkat 3 fasa 30~ (KA)
1	030-SG-001	29,37	20,89
2	400-SG-001	11,67	10,32
3	300-SG-001	11,76	9,39
4	200-SG-001	6,85	6,14

Tabel 4.2 Lanjutan tabel 4.1 Data Transformator

5	420-SG-001	27,04	19,7
6	100-SG-101	14,85	12,37
7	100-SG-201	15,94	12,4
8	170-SG-101	13,89	11,69
9	100-SG-151	45,64	41,63
10	100-SG-251	46,22	41,66
11	100-SG-252	46,22	41,66
12	160-SG-201	15,27	11,98
13	170-SG-201	15,14	11,87

4.3.2 Hubungan Singkat Minimum

Ketika terjadi gangguan dimana terdapat 2 fasa yang saling terhubungan maka analisis yang digunakan yaitu arus hubungan singkat minimum. Arus hubungan singkat minimum 30 siklus digunakan untuk menentukan nilai pengaturan waktu seketika pada pengaturan rele dan waktu pendek pada tegangan rendah pemutus tenaga. Untuk pengaturan waktu tunda instant juga pada penjelasan teori dasar disebutkan bahwa terdapat kondisi pengaturan instant rele kembali menjadi 0,1 ketika arus hubungan singkat minimum primer trafo lebih besar daripada arus hubungan singkat maksimum pada sekunder trafo. Berikut merupakan data yang sudah disimulasikan menggunakan 30 siklus L-L dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Arus Hubungan Singkat Minimum Saat 30 Siklus.

No	ID Bus	Arus Hubungan Singkat L-L 30~ (KA)
1	030-SG-001	18,72
2	400-SG-001	9,02
3	300-SG-001	8,21
4	200-SG-001	5,34
5	420-SG-001	17,62
6	100-SG-101	10,83
7	100-SG-201	10,86
8	170-SG-101	10,23
9	100-SG-151	36,14
10	100-SG-251	36,16
11	100-SG-252	36,16
12	160-SG-201	10,49
13	170-SG-201	10,39

4.4 Penentuan Tipikal Koordinasi pada PT. Smelting

Untuk analisis koordinasi pengaman rele yang digunakan diperlukan pemilihan tipikal, agar pekerjaan untuk pengaturan rele dapat lebih dipermudah. Untuk sistem kelistrikan pada PT Smelting dipilih 4 tipikal karena sistem tersebut jarang ada kesamaan antar feeder. Tipikal tersebut dipilih berdasarkan kemudahan analisis sistem nantinya. Untuk penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada keterangan pemilihan tipikal berikut.

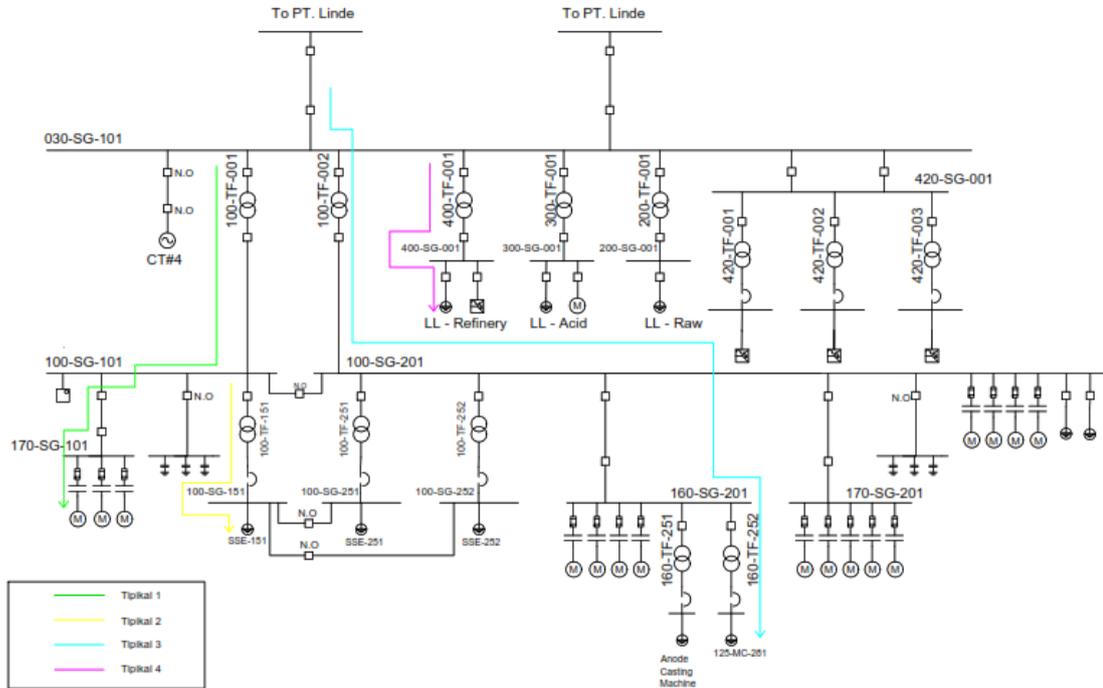
1. Tipikal 1 : Merupakan koordinasi pengaman antar pengaman mulai motor 170-CP-011 hingga 100-TF-101 pada sisi primer digunakan karena salah satu motor dengan beban terbesar.
2. Tipikal 2 : Merupakan koordinasi pengaman antar pengaman Mulai SSE151 hingga 100-TF-151 pada sisi primer digunakan berdasarkan saluran terpendek.
3. Tipikal 3 : Merupakan koordinasi pengaman antar pengaman mulai 165-MC-281 hingga penghubungan saluran kabel antara linde dan smelting digunakan berdasarkan saluran terpanjang.
4. Tipikal 4 : Merupakan koordinasi pengaman antar pengaman LL-Refinery hingga 400-TF-001 yang digunakan berdasarkan salah satu dari 3 komponen utama proses smelter.

Untuk pembacaan penentuan tipikal agar lebih jelas pada sistem kelistrikan PT Smelting dapat dilihat pada gambar 4.1

4.5 Koordinasi Pengaman Rele Arus lebih pada Fasa

Untuk koordinasi pengaman gangguan fasa ini dibutuhkan rele arus lebih. Rele ini berfungsi untuk mengamankan peralatan apabila terjadi adanya gangguan arus hubungan singkat maupun beban lebih. Untuk koordinasi pengaman antar pengaman juga dibutuhkan pengaturan arus dan waktu agar rele yang bekerja saling cadangan jika main rele tidak berhasil membuka pada saat terjadinya gangguan. Koordinasi rele pengaman ini juga bertujuan untuk mengamankan peralatan dari kerusakan yang disebabkan oleh hubungansingkat maupun beban lebih. Untuk memulai pengaturan rele terdapat beberapa kondisi yang harus dipenuhi seperti yang dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Untuk pengaturan rendah fasa rele arus lebih dibutuhkan parameter berikut, arus hubungan singkat maksimum 3 fasa 4 siklus dan 30 siklus, batas arus, beban penuh peralatan, waktu kerja dengan kurva yang digunakan dan jeda waktu. Sedangkan pengaturan tinggi fasa waktu seketika yaitu arus hubungan singkat minimum 30 siklus, jeda waktu berdasarkan rele utama

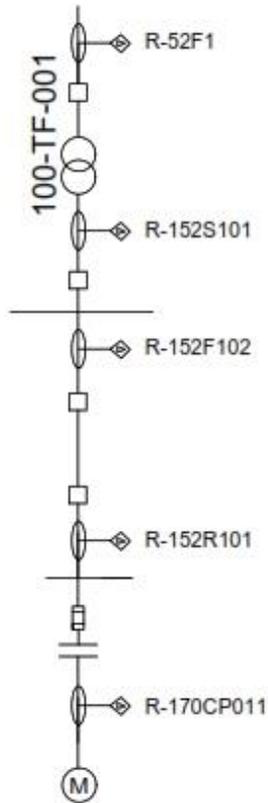
atau cadangan, arus pickup dan beban penuh peralatan. Untuk rele digital selisih waktu 0,2-0,3 detik tetapi untuk penelitian ini menggunakan selisih 0,2 detik. Setelah parameter tersebut telah di inputkan maka selanjutnya dapat di plot menggunakan pengamanan koordinasi kurva bintang (*star curve coordination protection*). Dengan demikian dapat dilihat plot kurva antar rele pengaman apakah terdapat kesalahan koordinasi ataupun tidak. Disini hal yang perlu diperhatikan yaitu motor - trafo inrush, dan tersinggunya kurva antar rele waktu terbalik. Sebaik mungkin kurva tersebut jangan sampai bersinggungan agar tidak terjadi kesalahan koordinasi.



Gambar 4.1 Tipikal-tipikal Koordinasi Pengaman pada PT Smelting.

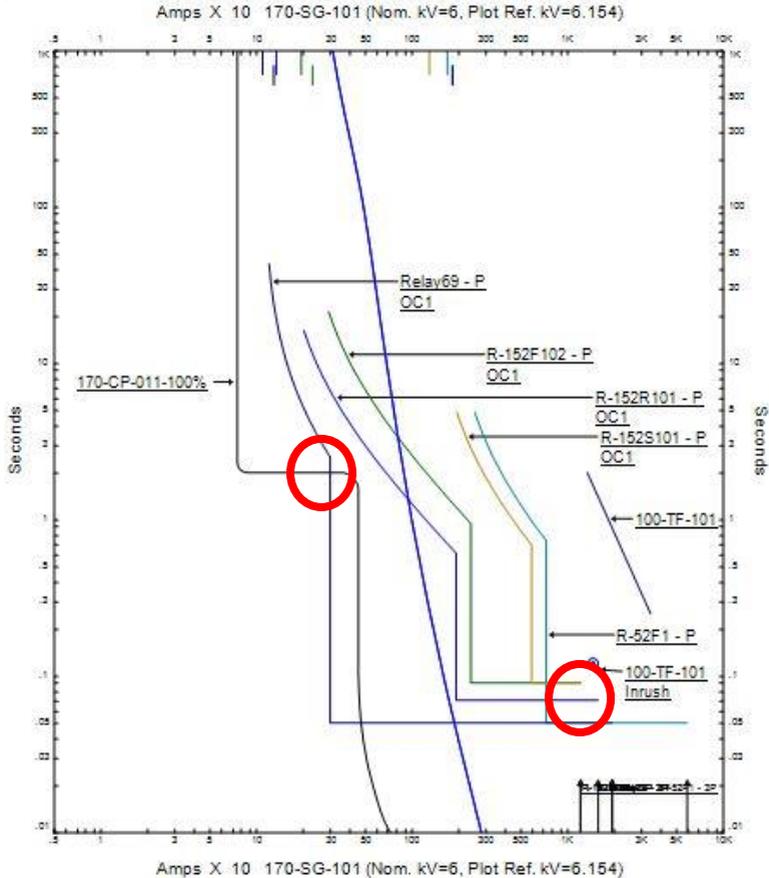
4.5.1 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Pada koordinasi pengaman pada tipikal 1 terdapat 5 rele untuk di pengaturan. Dimana untuk pengaturan waktu awal kali dimulai dari motor 170-CP-011 hingga melewati sisi primer trafo 100-TF-001 dengan kapasitas 15/19,5 MVA yang berakhir pada pengaturan rele R-52F1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2 Diagram satu garis tipikal 1.



Gambar 4.2 Diagram satu garis Tipikal 1

Setelah penentuan peralatan mana saja yang ingin di plot maka pada perangkat lunak ETAP dapat diarahkan kursor menuju peralatan koordinasi pengamanan bintang (*Star protective device coordination*) lalu pilih buat tampilan bintang (*create star view*) maka muncul tab baru hasil plot sistem eksisting tipikal 1 yang dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Data sistem Eksisting Tipikal 1

Untuk hasil plot kurva dapat dilihat bahwa sistem eksisting PT Smelting Gresik masih belum terkoordinasi dengan baik yang dapat diperhatikan pada tanda merah Gambar 4.3 :

1. Kurva waktu seketika rele 69 menyinggung kurva Motor 170-CP-11.

2. Jeda waktu antar rele terlalu cepat.

Tidak cukup dengan melihat kurva saja, tetapi juga harus memperhatikan grading dari antar rele pengaman apakah sudah sesuai standar untuk rele digital 0,2-0,3 detik. Prosedur pengecekan tersebut dapat melalui tampilan urutan (*sequence viewer*) ketika bus atau peralatan telah diberi gangguan. Analisis simulasi gangguan menggunakan 3 fasa dan 30 siklus yang diletakan antar 170-CP-011 dengan F-170CP011. tampilan urutan eksisting tipikal 1 dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.4 Sequence viewer Rele *Eksisting* Tipikal 1

Waktu (ms)	ID	Kondisi
10	F-170CP011	
50	R-52F1	Fasa-OC1-50
50	Relay 69	Fasa-OC1-50
70	R-152R101	Fasa-OC1-50
90	R-152F102	Fasa-OC1-50
90	R-152S101	Fasa-OC1-50
125	CB-170652R101	Trip oleh R-152R101
145	CB-100652F102	Trip oleh R-152F102
145	CB-100652S101	Trip oleh R-152S101

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.4 untuk sistem eksisting tipikal 1 kondisi tersebut dapat dikatakan tidak baik. Dengan demikian dibutuhkan pengaturan ulang agar sistem dapat terkoordinasi dengan baik sesuai standar yang ada. Untuk pengaturan ulang rele antar pengaman tipikal 1 harus menggunakan perhitungan manual sesuai standar yang berlaku, dan perhitungan manual dapat di lihat pada persamaan berikut .

FUSE F-170CP011

Merk : ABB
 Tipe : CEF
 FLA motor 170-CP-011 : 75,79 A
 Isc min Bus 170-SG-101 : 10,07 kA

Current Rating

$$2x FLA Motor < I$$

$$2x 75,79 A < I$$

$$151,58 < I$$

Dipilih I : 160A

Max kV : 7,2kV

Rele R-170CP011

Merk : Siemens
Tipe : 7SJ62
FLA motor 170-CP-011 : 75,79 A
Isc min 30~ Bus 29-1 : 10,07 kA
Isc max 4~ Bus 29-1 : 13,47 kA
CT : 100/1

Batas waktu arus lebih

$$\begin{aligned}1,05x FLA Motor &< Iset < 1,4x FLA Motor \\1,05x 75,79 &< Iset < 1,4x 75,79 \\79,57 &< Iset < 106,1 \\ \frac{79,57}{100} &< Tap < \frac{106,1}{100} \\0,79 &< Tap < 1,06\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,83

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$\begin{aligned}TD &= \frac{Td \times \left(\left(\frac{Iscmax}{Ipp} \right)^1 - 1 \right)}{13,5} \\TD &= \frac{0,1 \times \left(\left(\frac{13470}{83} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}\end{aligned}$$

$$TD = 1,19$$

Dipilih TD : 1,19

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$\begin{aligned}1,6x FLA &< I_{s,} < 0,8 \times Isc \text{ min Bus } 29 - 1 \\1,6x 75,79 A &< I_{s,} < 0,8 \times 10070 A \\121,26 A &< I_{s,} < 8056 A \\ \frac{121,26 A}{100} &< Tap < \frac{8056 A}{100} \\1,21 &< Tap < 80,56\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 5,48
 Waktu tunda : 0,1 detik

Rele R-152R101

Merk : ABB
 Tipe : REF 543
 FLA FC100652F102 : 227 A
 Isc min 30~ Bus 170-SG-101 : 10,23 kA
 Isc max 4~ Bus 170-SG-101 : 13,59 kA
 CT : 300/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < Iset < 1,4x FLA$$

$$1,05x 227 < Iset < 1,4x 227$$

$$238,8 < Iset < 318,5$$

$$\frac{238,8}{300} < Tap < \frac{318,5}{300}$$

$$0,79 < Tap < 1,06$$

Dipilih Tap : 0,83

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

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

$$TD = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{13590}{249} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TD = 1,19$$

Dipilih TD : 1

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{,,} < 0,8 \times Isc \text{ min Bus } 170 - SG - 101$$

$$1,6x 227 A < I_{,,} < 0,8 \times 10230 A$$

$$363,2 A < I_{,,} < 8184 A$$

$$\frac{363,2 A}{300} < Tap < \frac{8184 A}{300}$$

$$1,2 < Tap < 27,28$$

Dipilih Tap : 8,55
Waktu tunda : 0,3 detik

Rele R-152F102

Merk : ABB
Tipe : REF 543
FLA FC100652F102 : 227 A
Isc min 30~ Bus F102 : 10,83 kA
Isc max 4~ Bus F102 : 14,55 kA
CT : 300/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < Iset < 1,4x FLA$$

$$1,05x 227 < Iset < 1,4x 227$$

$$238,8 < Iset < 318,5$$

$$\frac{238,8}{300} < Tap < \frac{318,5}{300}$$

$$0,79 < Tap < 1,06$$

Dipilih Tap : 0,83

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

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

$$TD = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{14550}{249} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TD = 1,2$$

Dipilih TD : 1

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$\begin{aligned}
1,6x FLA < I_{sc} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus F102} \\
1,6x 227 A < I_{sc} < 0,8 \times 10830 A \\
363,2 A < I_{sc} < 8184 A \\
\frac{363,2 A}{300} < Tap < \frac{8664 A}{300} \\
1,2 < Tap < 28,88
\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 8,55
Waktu tunda : 0,3 detik

Rele R-152S101

Merk : ABB
Tipe : REF 543
FLA 100-TF-201 : 1443 A
Isc min 30~ Bus 100-SG-101 : 10,83 kA
Isc max 4~ Bus 100-SG-101 : 13,56 kA
CT : 2000/5

Batas waktu arus lebih

$$\begin{aligned}
1,05x FLA < I_{set} < 1,4x FLA \\
1,05x 1443 < I_{set} < 1,4x 1443 \\
1515,5 < I_{set} < 2020,7 \\
\frac{1515,5}{2000} < Tap < \frac{2020,7}{2000} \\
0,75 < Tap < 1,01
\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,79

Waktu kerja

Jenis Kurva : Normal Inverse
Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$\begin{aligned}
TD &= \frac{Td \times \left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pp}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\
TD &= \frac{0,5 \times \left(\left(\frac{13560}{1580} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}
\end{aligned}$$

$$TD = 0,15$$

Dipilih TD : 0,16

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{sc} < 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus 100 - SG - 101}}$$

$$1,6x 1443 A < I_{sc} < 0,8 \times 10830 A$$

$$2309,4 A < I_{sc} < 8664 A$$

$$\frac{2309,4 A}{2000} < Tap < \frac{8664 A}{2000}$$

$$1,15 < Tap < 4,3$$

Dipilih Tap : 2,85

Waktu tunda : 0,5 detik

Rele R-52F1

Merk : ABB

Tipe : SPAJ 140C(SPCJ 4D29)

FLA 100-TF-201 : 787,3A

Isc min 30~ Bus 0152 : 17,7 kA

Isc max 4~ Bus 0152 : 26,65 kA

CT : 1250/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < I_{set} < 1,4x FLA$$

$$1,05x 787,3 < I_{set} < 1,4x 787,3$$

$$826,7 < I_{set} < 1102,2$$

$$\frac{826,7}{1250} < Tap < \frac{1102,2}{1250}$$

$$0,66 < Tap < 0,88$$

Dipilih Tap : 0,67

Waktu kerja

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,7 detik

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

$$TD = \frac{0,7 \times \left(\left(\frac{26650}{837,5} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$TD = 0,35$$

Dipilih TD : 0,34

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{\infty} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus 0152}$$

$$1,6x 787,3 A < I_{\infty} < 0,8 \times 17700 A$$

$$1259,67 A < I_{\infty} < 14160 A$$

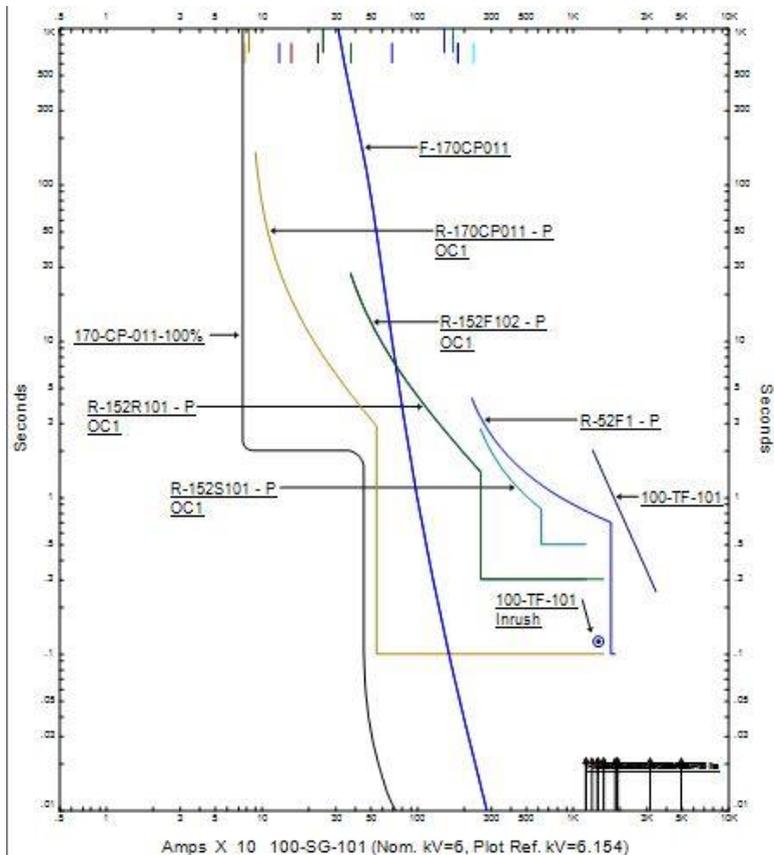
$$\frac{1259,67 A}{1250} < Tap < \frac{14160 A}{1250}$$

$$1 < Tap < 11,32$$

Dipilih Tap : 7,4

Waktu tunda : 0,1 detik

Setelah hasil perhitungan manual didapatkan maka prosedur berikutnya yaitu input data pengaturan ulang pada sistem dan dilakukan plot kurva untuk melihat apakah sistem telah terkoordinasi dengan baik dan grading time apakah sudah sesuai standar yang ada, ketika diberi gangguan hubungan singkat apakah koordinasi rele berjalan dengan baik dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Kurva Pengaturan ulang Fasa Tipikal 1

Dapat dilihat pada hasil kurva pengaturan ulang telah terkoordinasi dengan baik, untuk R-170CP011 sudah tidak menyinggung inrush motor 170-CP-011. Tidak hanya dengan kurva yang sudah didapatkan. Untuk hasil lebih lanjut dapat diamati menggunakan tampilan urutan, dengan sistem yang sudah direset apakah selisih waktu untuk rele digital yang ada sesuai standar atau belum dapat dilihat pada tabel 4.4 dengan diberi gangguan simetri 3 fasa yang diletakan pada bus antara 170-CP-011 dengan F-170CP011.

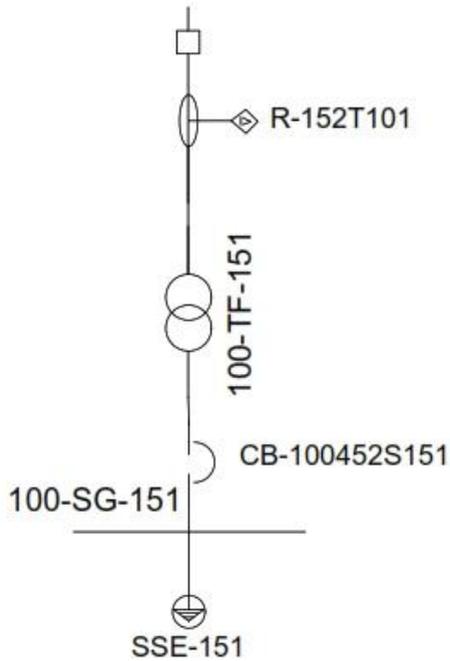
Tabel 4.5 Hasil tampilan urutan pengaturan ulang Tipikal 1

Waktu (ms)	ID	Kondisi
10	F-170CP011	
100	R-170CP011	Fasa-OC50
233	Cont23	Trip oleh R-170CP011
300	R-152F102	Fasa-OC50
300	R-152R101	Fasa-OC50
355	CB-170652R101	Trip oleh R-152R101
355	CB-S100652F102	Trip oleh R-152F102
500	R-152S101	Fasa-OC50
555	CB-100652S101	Trip oleh R-152S101
857	R-52F1	Fasa-OC51
957	52F1	Trip oleh R-52F1

Dari tabel 4.4 dapat diamati bahwa grading time sistem yang sudah dilakukan pengaturan ulang telah memenuhi standar yaitu antara 0,2-0,3 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada.

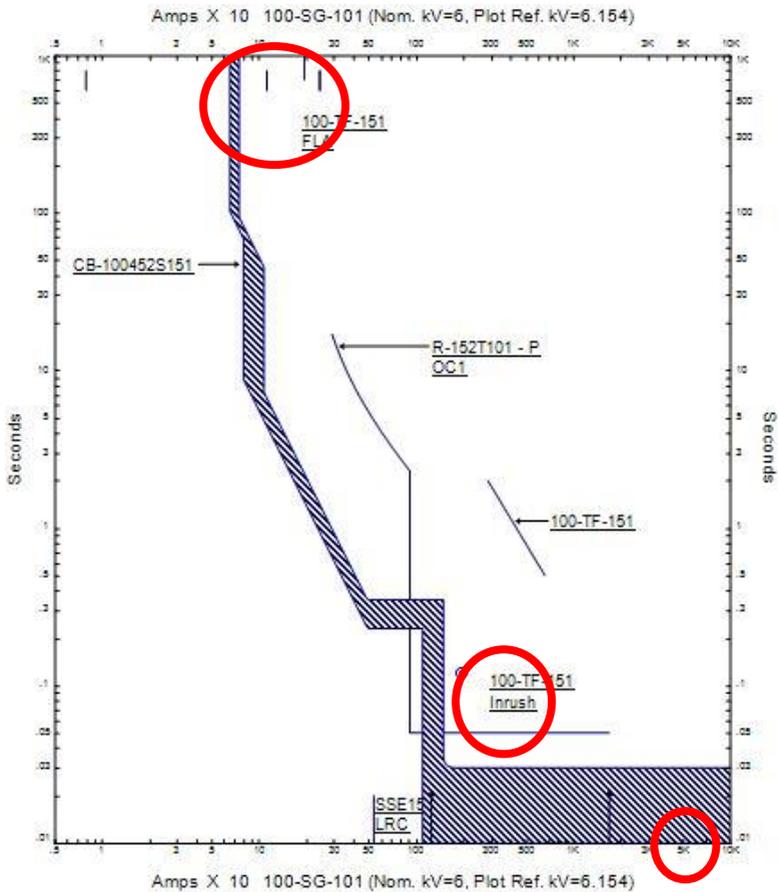
4.5.2 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2

Pada pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpendek dari sistem kelistrikan PT Smelting. Penentuan tipikal ini mulai dari beban yang ada di SSE-151 hingga sisi primer trafo 100-TF-151. Dimana saluran ini melewati peralatan pengaman CB-100452S151 dan R-152T101, yang dimana SSE-151 terhubungan dengan Bus 100-SG-151 dan 100-TF-151 terhubungan dengan Bus 100-SG-101. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat diagram satu garis tipikal 2 pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Diagram satu garis Tipikal2

Untuk melihat hasil kurva pengaturan rele antar pengaman dapat dilakukan pembuatan tampilan bintang pada tab koordinasi proteksi dengan bantuan perangkat lunak ETAP. Setelah muncul plot kurva pengaturan rele antar pengaman eksisting, dapat diperhatikan bahwa untuk tipikal 2 terdapat kesalahan koordinasi pengaturan antara rele R-152T101 dan CB-100452S151 yang lebih detailnya dapat dilihat pada kurva arus terhadap waktu Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kurva Eksisting pada Tipikal 2

Dari penjelasan sebelumnya dapat diamati lebih jelas lagi terdapat beberapa faktor koordinasi antar pengaman dikatakan kurang baik berikut analisis yang dapat diambil berdasarkan gambar 4.6 :

1. Instant CB-100452S151 jika mendeteksi gangguan pada bus 100-SG-151 akan segera padam dibawah 0,02 detik.
2. Pengaturan rele pada R-152T101 berada pada daerah kerja inrush trafo 100-TF-151. Dikarenakan rele tersebut merupakan rele yang

melindungi trafo tersebut, sedapat mungkin hal ini harus dihindari dengan cara menaikkan pickup arus sedikit lebih tinggi.

Tidak cukup dengan melihat kurva saja, tetapi juga harus memperhatikan grading dari antar rele pengaman apakah sudah sesuai standar untuk rele digital 0,2-0,3 detik. Prosedur pengecekan tersebut dapat melalui tampilan urutan ketika bus atau peralatan telah diberi gangguan. Analisis simulasi gangguan menggunakan 3 fasa dan 30 siklus yang diletakan antar SSE-151 dengan CB-1B100452S151. Tampilan urutan eksisting tipikal 2 dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.6 Waktu Operasi Kerja Rele Eksisting Tipikal 2

Waktu (ms)	ID	Kondisi
30	CB-100452S151	Fasa
50	R-152S151	Fasa-OC-50
50	R-152T101	Fasa-OC-50
50	CB-100452S151	Trip oleh R-152S151
150	CB-100652T101	Trip oleh R-152T101

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.5 untuk sistem eksisting tipikal 2 kondisi tersebut dapat dikatakan tidak baik. Dengan demikian dibutuhkan pengaturan ulang agar sistem dapat terkoordinasi dengan baik sesuai standar yang ada. Untuk pengaturan ulang rele antar pengaman tipikal 2 harus menggunakan perhitungan manual sesuai standar yang berlaku, dan perhitungan manual dapat di lihat pada persamaan berikut .

CB-100452S151

Merk : Merlin Gerin
Tipe : M40 H1
FLA 165-MC-281 : 2887 A
Isc min Bus CB-160452S252 : 28,91 kA

Waktu Lama

Batas LT

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &< Iset < 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 2887 &< Iset < 1,4 \times 2887 \\
 3031,4 &< Iset < 4041,8 \\
 \frac{3031,4}{4000} &< tap < \frac{4041,8}{4000} \\
 0,75 &< tap < 1,01
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,92
 Iset : 3680 A
 LT Band : 30

Waktu Pendek
 Batas ST

$$1,6x FLA < Iset < 0,8 \times Isc \text{ min. Bus CB} - 100452S151$$

$$1,6 \times 2887 A < Iset < 0,8 \times 28910$$

$$4619,2 A < Iset < 23128A$$

$$\frac{4619,2 A}{4000} < tap < \frac{23128A}{4000}$$

$$1,15 < tap < 5,78$$

Dipilih Tap : 4
 ST Band : 0,3

Rele R-152T101

Merk : ABB
 Tipe : REF 543
 FLA 160-TF-252 : 192,5 A
 Isc min 30~ Bus CB-160652T202 : 10,83 kA
 Isc max 4~ Bus CB-160652T202 : 14,51 kA
 CT : 300/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA 160 - TF - 252 < Iset < 1,4x FLA 160 - TF - 252$$

$$1,05x 192,5 < Iset < 1,4x 192,5$$

$$202,1 < Iset < 269,4$$

$$\frac{202,1}{300} < Tap < \frac{269,4}{300}$$

$$0,67 < Tap < 0,89$$

Dipilih Tap : 0,85

Waktu kerja

Jenis Kurva : Extremely Inverse
 Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$TD = \frac{Td \times \left(\left(\frac{Iscmax}{Ipp} \right)^2 - 1 \right)}{80}$$

$$TD = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{4235}{255} \right)^2 - 1 \right)}{80}$$

$$TD = 1$$

Dipilih TD : 1

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{\infty} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus CB} - 160652T202$$

$$1,6x 192,5A < I_{\infty} < 0,8 \times 10830 A$$

$$308 A < I_{\infty} < 8664 A$$

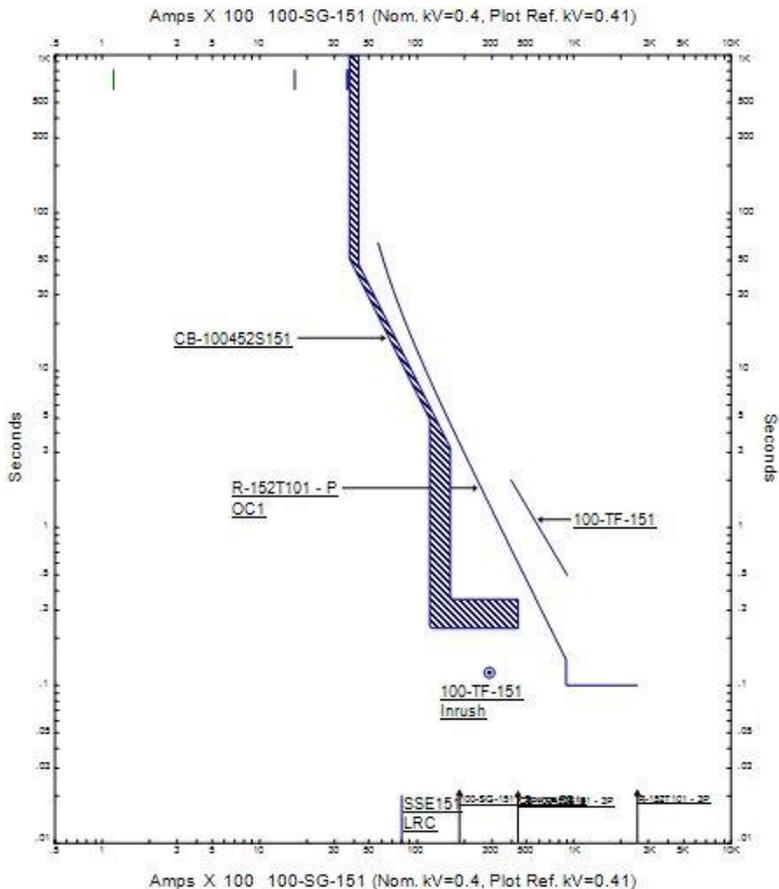
$$\frac{308 A}{300} < Tap < \frac{8664 A}{300}$$

$$1,02 < Tap < 28,8$$

Dipilih Tap : 20

Waktu tunda : 0,1 detik

Setelah hasil perhitungan manual didapatkan maka prosedur berikutnya yaitu masukan data pengaturan ulang pada sistem dan dilakukan plot kurva untuk melihat apakah sistem telah terkoordinasi dengan baik dan selisih waktu apakah sudah sesuai standar yang ada, ketika diberi gangguan hubungan singkat apakah koordinasi rele berjalan dengan baik dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Kurva Pengaturan ulang Fasa Tipikal 2

Dapat dilihat pada hasil kurva pengaturan ulang telah terkoordinasi dengan baik, untuk CB-100452S151 bekerja sesuai grading dengan standar industri yang ada dengan waktu operasi kerja 0,3 detik. Untuk rele R-152T101 sudah tidak lagi berada pada area kerja inrush trafo dengan mengganti karakteristik kurva menjadi extremely inverse dan pengaturan arus waktu seketika sedikit diperbesar. Tidak hanya dengan kurva yang sudah didapatkan. Untuk hasil lebih lanjut dapat diamati menggunakan tampilan urutan, dengan sistem yang sudah direset apakah selisih waktu

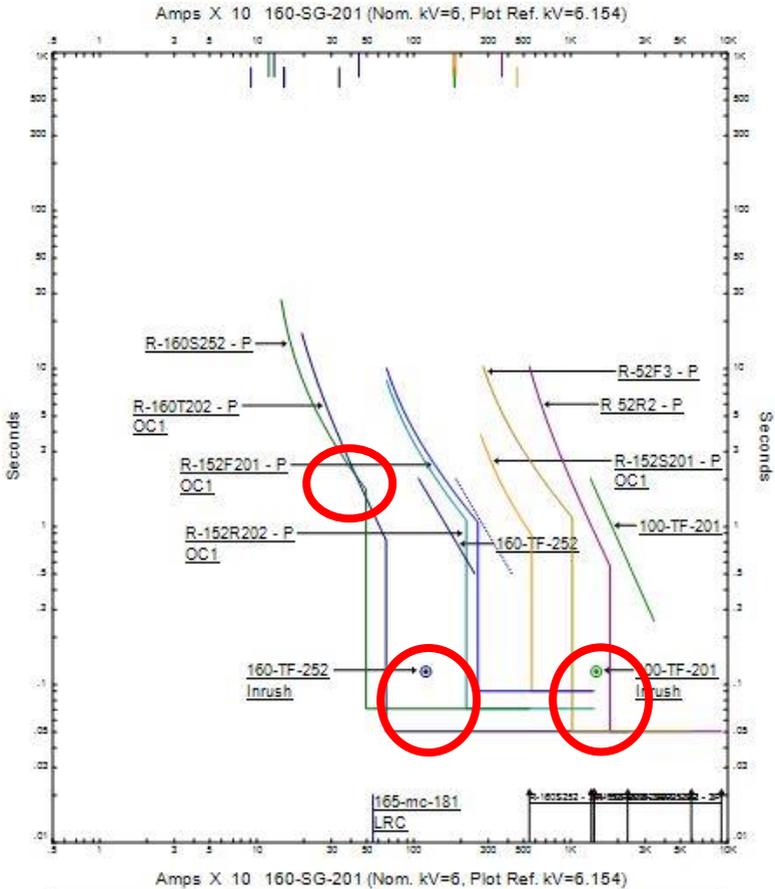
untuk rele digital yang ada sesuai standar atau belum dapat dilihat pada tabel 4.6 dengan diberi gangguan simetri 3 fasa yang diletakan pada bus antara CB-100452S151 dengan SSE-151.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi Urutan Rele yang bekerja

Waktu (ms)	ID	Kondisi
350	CB-100452S151	Fasa
686	R-152T101	Fasa-OC1-51
741	CB-100652T101	Trip oleh R-152T101

Dari tabel 4.6 dapat diamati bahwa selisih waktu sistem yang sudah dilakukan pengaturang ulang telah memenuhi standar yaitu antara 0,2-0,3 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan Pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada.

Setelah penentuan peralatan mana saja yang ingin di plot maka pada perangkat lunak ETAP dapat diarahkan kursor menuju koordinasi peralatan lalu pilih buat tampilan bintang maka muncul tab baru hasil plot sistem eksisting tipikal 3 yang dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Kurva Eksisting pada Tipikal 3

Untuk hasil plot kurva dapat dilihat bahwa sistem eksisting untuk tipikal 3 PT Smelting Gresik masih belum terkoordinasi dengan baik yang dapat diperhatikan pada tanda merah Gambar 4.9 :

1. Rele R-160T202 berada pada daerah kerja inrush trafo 160-TF-252, dimana rele tersebut seharusnya sebagai pengaman trafo tersebut.
2. Adanya kurva inverse yang menyinggung antara rele R-160T202 dan R-160S252, hal dibutuhkan perhitungan ulang agar kurva tersebut dapat terkoordinasi dengan baik.
3. Rele R-52F3 berada pada daerah kerja inrush trafo 100-TF-201, dimana rele tersebut seharusnya sebagai pengaman trafo tersebut.
4. Grading antar rele pengaman sangat tidak direkomendasikan karena tidak sesuai standar industri yang ada.

Tidak cukup dengan melihat kurva saja, tetapi juga harus memperhatikan selisih waktu dari antar rele pengaman apakah sudah sesuai standar untuk rele digital 0,2-0,3 detik. Prosedur pengecekan tersebut dapat melalui tampilan urutan ketika bus atau peralatan telah diberi gangguan. Analisis simulasi gangguan menggunakan 3 fasa dan 30 siklus yang diletakan antar 165-MC-181 dengan CB-160452S252. Tampilan urutan eksisting tipikal 3 dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.8 Waktu Operasi Kerja Rele Eksisting Tipikal 3

Waktu (ms)	ID	Kondisi
50	R-160T202	Fasa-OC-50
70	R-160S252	Fasa-OC-50
80	CB-160452S252	Trip oleh R-160S252
105	CB-160652T202	Trip oleh R-160T202
1183	R-152R202	Fasa-OC-51
1238	CB-160652R202	Trip oleh R-152R202
1411	R-152F201	Fasa-OC-51
1466	CB-100652F201	Trip oleh R-152F201
3780	R-152S201	Fasa-OC-51
3835	CB-100652S201	Trip oleh R-152S201
10260	R-52F3	Fasa-OC-51
10360	52F3	Trip oleh R-52F3

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.7 untuk sistem eksisting tipikal 3 kondisi tersebut dapat dikatakan tidak baik. Dengan demikian dibutuhkan pengaturan ulang agar sistem dapat terkoordinasi dengan baik sesuai standar yang ada. Untuk pengaturan ulang rele antar pengaman tipikal 3 harus menggunakan perhitungan manual sesuai standar yang berlaku, dan perhitungan manual dapat di lihat pada persamaan berikut .

CB-160452S252

Merk : Merlin Gerin
 Tipe : M32 H1
 FLA 165-MC-281 : 1386 A
 Isc min Bus CB-160452S252 : 26,6 kA

Waktu Lama

Batas LT

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &< Iset < 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 2309 &< Iset < 1,4 \times 2309 \\
 2424,5 &< Iset < 3232,6 \\
 \frac{2424,5}{3200} &< tap < \frac{3232,6}{3200} \\
 0,75 &< tap < 1
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,95
 Iset : 2850 A
 LT Band : 15

Waktu Pendek

Batas ST

$$\begin{aligned}
 1,6x FLA &< Iset < 0,8 \times Isc \text{ min. Bus CB} - 160452S252 \\
 1,6 \times 2309 A &< Iset < 0,8 \times 26600 \\
 3694,4 A &< Iset < 21280A \\
 \frac{3694,4 A}{3200} &< tap < \frac{21280A}{3200} \\
 1,15 &< tap < 6,65
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap : 4
 ST band : 0,3

Rele R-160T202

Merk : ABB
 Tipe : REF 543
 FLA 160-TF-252 : 154 A
 Isc min 30~ Bus CB-160652T202 : 10,49 kA
 Isc max 4~ Bus CB-160652T202 : 14,94 kA
 CT : 200/5
 Batas waktu arus lebih

$$1,05x \text{ FLA } 160 - \text{TF} - 252 < I_{set} < 1,4x \text{ FLA } 160 - \text{TF} - 252$$

$$1,05x 154 < I_{set} < 1,4x 154$$

$$161,7 < I_{set} < 215,5$$

$$\frac{161,7}{200} < Tap < \frac{215,5}{200}$$

$$0,8 < Tap < 1,07$$

Dipilih Tap : 0,81

Waktu kerja

Jenis Kurva : Extremely Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$TD = \frac{Td \times \left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right)}{80}$$

$$TD = \frac{0,1 \times \left(\left(\frac{4004}{200,2} \right)^2 - 1 \right)}{80}$$

$$TD = 0,498$$

Dipilih TD : 0,5

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x \text{ FLA} < I_{,,} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus CB} - 160652T202$$

$$1,6x 154 \text{ A} < I_{,,} < 0,8 \times 10490 \text{ A}$$

$$246,34 \text{ A} < I_{,,} < 8392 \text{ A}$$

$$\frac{246,34 \text{ A}}{200} < Tap < \frac{8392 \text{ A}}{200}$$

$$1,2 < Tap < 41,96$$

Dipilih Tap : 10,65

Waktu tunda : 0,1 detik

Rele R-152R202

Merk : ABB

Tipe : REF 543

FLA FC100652F102 : 256,5 A

Isc min 30~ Bus 170-SG-101 : 10,49 kA

Isc max 4~ Bus 170-SG-101 : 14,74 kA

CT : 500/5

Batas waktu arus lebih

$$\begin{aligned}1,05x FLA &< I_{set} < 1,4x FLA \\1,05x 256,5 &< I_{set} < 1,4x 256,5 \\269,3 &< I_{set} < 359,1 \\ \frac{269,3}{500} &< Tap < \frac{359,1}{500} \\0,53 &< Tap < 0,71\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,55

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

$$\begin{aligned}TD &= \frac{Td \times \left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pp}} \right)^1 - 1 \right)}{13,5} \\TD &= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{14740}{275} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}\end{aligned}$$

$$TD = 1,16$$

Dipilih TD : 1

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$\begin{aligned}1,6x FLA &< I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus } 170 - SG - 101 \\1,6x 256,5A &< I_{\gg} < 0,8 \times 10490 A \\410,4 A &< I_{\gg} < 8392 A \\ \frac{410,4 A}{500} &< Tap < \frac{8392 A}{500} \\0,82 &< Tap < 16,78\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 6,05

Waktu tunda : 0,3 detik

Rele R-152F201

Merk : ABB

Tipe : REF 543

FLA FC100652F102 : 256,5 A

Isc min 30~ Bus F102 : 10,49 kA
 Isc max 4~ Bus F102 : 14,74 kA
 CT : 500/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < Iset < 1,4x FLA$$

$$1,05x 256,5 < Iset < 1,4x 256,5$$

$$269,3 < Iset < 359,1$$

$$\frac{269,3}{500} < Tap < \frac{359,1}{500}$$

$$0,53 < Tap < 0,71$$

Dipilih Tap : 0,55

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

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

$$TD = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{14740}{275} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TD = 1,16$$

Dipilih TD : 1

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{s1} < 0,8 \times Isc \text{ min Bus } 170 - SG - 101$$

$$1,6x 256,5A < I_{s1} < 0,8 \times 10490 A$$

$$410,4 A < I_{s1} < 8392 A$$

$$\frac{410,4 A}{500} < Tap < \frac{8392 A}{500}$$

$$0,82 < Tap < 16,78$$

Dipilih Tap : 6,05

Waktu tunda : 0,3 detik

Rele R-152S201

Merk : ABB
Tipe : REF 543
FLA 100-TF-201 : 1443 A
Isc min 30~ Bus 100-SG-201 : 10,86 kA
Isc max 4~ Bus 100-SG-201 : 13,54 kA
CT ratio : 2000/5

Batas waktu arus lebih

$$\begin{aligned}1,05x FLA &< I_{set} < 1,4x FLA \\1,05x 1443 &< I_{set} < 1,4x 1443 \\1515,5 &< I_{set} < 2020,7 \\ \frac{1515,5}{2000} &< Tap < \frac{2020,7}{2000} \\0,75 &< Tap < 1,01\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,79

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$\begin{aligned}TD &= \frac{Td \times \left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pp}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \\TD &= \frac{0,5 \times \left(\left(\frac{13540}{1580} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}\end{aligned}$$

$$TD = 0,16$$

Dipilih TD : 0,16

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$\begin{aligned}1,6x FLA < I_{\setminus} < 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus } 100 - SG - 201} \\1,6x 1443 A < I_{\setminus} < 0,8 \times 10860 A \\2309,4 A < I_{\setminus} < 8688 A \\ \frac{2309,4 A}{2000} &< Tap < \frac{8216 A}{2000} \\1,15 &< Tap < 4,1\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 2,85
 Waktu tunda : 0,5 detik

Rele R-52F3

Merk : ABB
 Tipe : SPAJ 140C(SPCJ 4D29)
 FLA 100-TF-201 : 787,3A
 Isc min 30~ Bus 0254 : 17,85 kA
 Isc max 4~ Bus 0254 : 26,51 kA
 CT : 1250/5
 Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < Iset < 1,4x FLA$$

$$1,05x 787,3 < Iset < 1,4x 787,3$$

$$826,7 < Iset < 1102,2$$

$$\frac{826,7}{1250} < Tap < \frac{1102,2}{1250}$$

$$0,66 < Tap < 0,88$$

Dipilih Tap : 0,8

Waktu kerja

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,7 detik

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

$$TD = \frac{0,7 \times \left(\left(\frac{26510}{1000} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$TD = 0,25$$

Dipilih TD : 0,25

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{s,} < 0,8 \times Isc \text{ min Bus } 100 - SG - 201$$

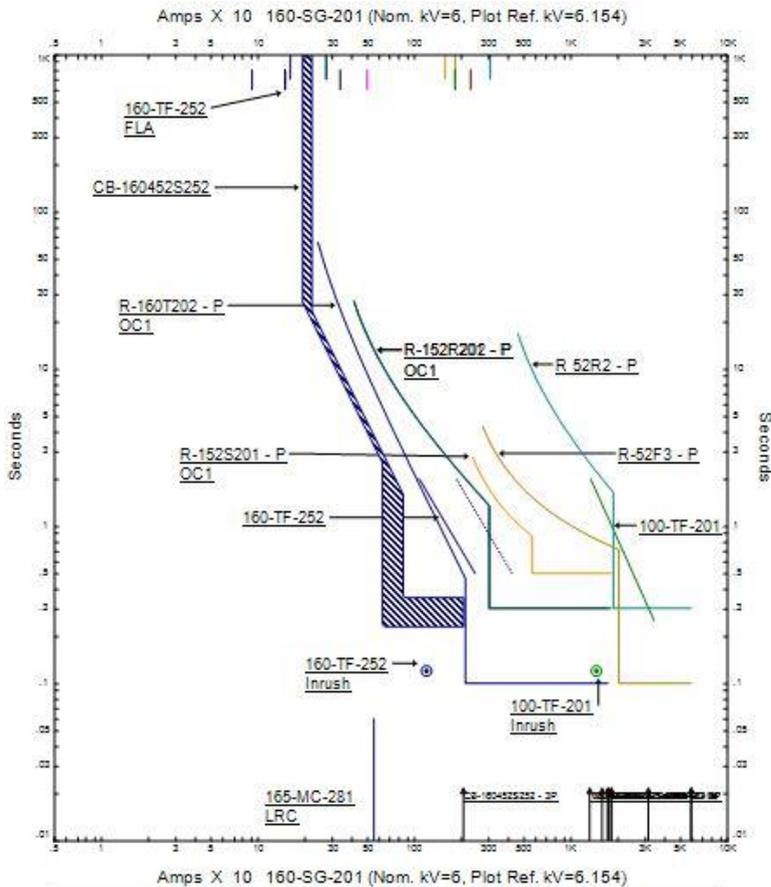
$$1,6x 787,3 A < I_{s,} < 0,8 \times 17850 A$$

$$1259,67A < I_{s,} < 14280 A$$

$$\frac{1259,67 A}{1250} < Tap < \frac{14280 A}{1250}$$
$$1 < Tap < 11,42$$

Dipilih Tap : 8,9
Waktu tunda : 0,1 detik

Setelah hasil perhitungan manual didapatkan maka prosedur berikutnya yaitu masukan data pengaturan ulang pada sistem dan dilakukan plot kurva untuk melihat apakah sistem telah terkoordinasi dengan baik dan selisih waktu apakah sudah sesuai standar yang ada, ketika diberi gangguan hubungan singkat apakah koordinasi rele berjalan dengan baik dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Kurva Pengaturan ulang Fasa Tipikal 3.

Dapat dilihat pada hasil kurva pengaturan ulang telah terkoordinasi dengan baik, untuk CB-160452S252 bekerja sesuai grading dengan standar industri yang ada dengan waktu operasi kerja 0,3 detik. Rele R-160T202 sudah tidak lagi berada pada area kerja inrush trafo 160-TF-252 dengan pembaruan pengaturan arus waktu seketika sedikit diperbesar dan kurva disarankan diubah menjadi extremely inverse. Rele R-160T202 dan R-160S252. Rele R-52F3 sudah tidak lagi berada pada area kerja inrush trafo 100-TF-201 dengan pembaruan pengaturan arus waktu seketika sedikit diperbesar. Untuk hasil lebih lanjut dapat diamati menggunakan

tampilan urutan, dengan sistem yang sudah direset apakah selisih waktu untuk rele digital yang ada sesuai standar atau belum dapat dilihat pada tabel 4.8 dengan diberi gangguan simetri 3 fasa yang diletakan pada bus antara 165-MC-281 dengan CB-160452S252.

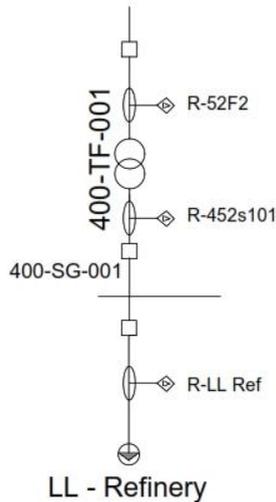
Tabel 4.9 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan diantara 165-MC-281 dengan CB-160452S252.

Waktu (ms)	ID	Kondisi
350	CB-160452S252	-
508	R-160T202	Fasa-OC-51
563	CB-160652T202	Fasa-OC50
2105	R-152F201	Fasa-OC-51
2105	R-152R202	Fasa-OC-51
2160	CB-160652R202	Trip oleh R-152S101
2160	CB-S100652F201	Trip oleh R-152S101
2751	R-152S201	Fasa-OC51
2806	CB-100652S201	Trip oleh R-52F1
4299	R-52F3	Fasa-OC51
4399	52F3	Trip oleh R-52F1

Dari tabel 4.8 dapat diamati bahwa selisih waktu sistem yang sudah dilakukan pengaturan ulang telah memenuhi standar yaitu antara 0,2-0,3 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan Pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada. Dengan demikian rele antar pengaman saling cadangan, ketika rele utama gagal membuka.

4.5.4 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 4

Pada pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran yang sedikit tidak sejenis dari yang lain dan merupakan salah satu sistem yang sangat penting bagi kelangsungan produksi PT Smelting Gresik. Penentuan tipikal ini mulai dari beban pada gardu LL-Refinery hingga sisi sekunder trafo 400-TF-001. Peralatan pengaman yang bekerja pada zona tersebut yaitu rele R-LL Ref, R-452S101, dan R-52F2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat diagram satu garis tipikal 4 pada gambar 4.11.

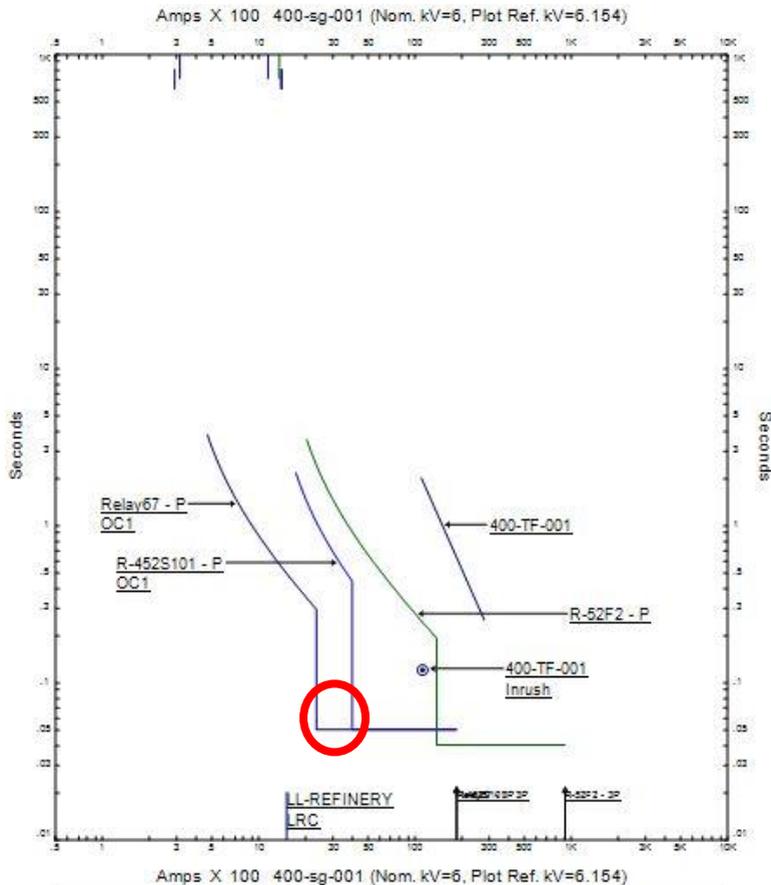


Gambar 4.11 Diagram satu garis Tipikal4

Setelah penentuan peralatan mana saja yang ingin di plot maka pada perangkat lunak ETAP dapat diarahkan kursor menuju koordinasi peralatan lalu pilih buat tampilan bintang maka muncul tab baru hasil plot sistem eksisting tipikal 3 yang dapat dilihat pada gambar 4.12.

Untuk hasil plot kurva dapat dilihat bahwa sistem eksisting untuk tipikal 4 PT Smelting Gresik masih belum terkoordinasi dengan baik yang dapat diperhatikan pada tanda merah Gambar 4.12 :

1. Rele R-LL Ref dan R-452S101 bekerja pada waktu seketika 0,05 detik yang menandakan selisih waktu kurva tersebut juga tidak sesuai dengan standar yang digunakan



Gambar 4.12 Kurva Eksisting pada Tipikal 4

Tidak cukup dengan melihat kurva saja, tetapi juga harus memperhatikan grading dari antar rele pengaman apakah sudah sesuai standar untuk rele digital 0,2-0,3 detik. Prosedur pengecekan tersebut dapat melalui tampilan urutan ketika bus atau peralatan telah diberi gangguan. Analisis simulasi gangguan menggunakan 3 fasa dan 30 siklus yang diletakan pada saluran LL-Refiney.

Tabel 4.10 Waktu Operasi Kerja Rele Eksisting gangguan berada pada saluran LL-Refinery Tipikal 3

Waktu (ms)	ID	Kondisi
50	R-452S101	Fasa-OC-50
50	R- LL Ref	Fasa-OC-50
60	CB-400652F001	Trip oleh R-452S101
60	CB-400652S101	Trip oleh R- LL Ref
268	R-52F2	Fasa-OC-51
368	52F2	Trip oleh R-52F2

Dapat diperhatikan pada Tabel 4.9 untuk sistem eksisting tipikal 4 kondisi tersebut dapat dikatakan tidak baik. Dengan demikian dibutuhkan pengaturan ulang agar sistem dapat terkoordinasi dengan baik sesuai standar yang ada. Untuk pengaturan ulang rele antar pengaman tipikal 4 harus menggunakan perhitungan manual sesuai standar yang berlaku, dan perhitungan manual dapat di lihat pada persamaan berikut .

Rele R-LL Refinery

Merk : ABB
 Tipe : REF 545
 FLA LL-Refinery : 292,2A
 Isc min 30~ Bus 0254 : 9,02 kA
 Isc max 4~ Bus 0254 : 11,04 kA
 CT : 400/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < Iset < 1,4x FLA$$

$$1,05x 292,2 < Iset < 1,4x 292,2$$

$$306,81 < Iset < 409,08$$

$$\frac{306,81}{400} < Tap < \frac{409,08}{400}$$

$$0,76 < Tap < 1,02$$

Dipilih Tap : 0,85

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

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

$$TD = \frac{0,1 \times \left(\left(\frac{11040}{340} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TD = 0,23$$

Dipilih TD : 0,25

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{s,} < 0,8 \times Isc \text{ min Bus } 100 - SG - 201$$

$$1,6x 292,2A < I_{s,} < 0,8 \times 9020 A$$

$$467,52A < I_{s,} < 7216 A$$

$$\frac{467,52 A}{400} < Tap < \frac{7216 A}{400}$$

$$1,16 < Tap < 18,04$$

Dipilih Tap : 7,85

Waktu tunda : 0,1 detik

Rele R-452S101

Merk : ABB

Tipe : REF 545

FLA LL-Refinery : 1443 A

Isc min 30~ Bus 0254 : 9,02 kA

Isc max 4~ Bus 0254 : 11,04 kA

CT : 2000/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < Iset < 1,4x FLA$$

$$1,05x 1443 < Iset < 1,4x 1443$$

$$1515,5 < Iset < 2020,7$$

$$\frac{1515,5}{2000} < Tap < \frac{2020,7}{2000}$$

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

Dipilih Tap : 0,76

Waktu kerja

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

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

$$TD = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{11040}{1520} \right)^1 - 1 \right)}{13,5}$$

$$TD = 0,13$$

Dipilih TD : 0,13

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{set} < 0,8 \times Isc \text{ min Bus } 100 - SG - 201$$

$$1,6x 1443 < I_{set} < 0,8 \times 9020 A$$

$$2308,8 A < I_{set} < 7216 A$$

$$\frac{2308,8 A}{2000} < Tap < \frac{7216 A}{2000}$$

$$1,15 < Tap < 3,6$$

Dipilih Tap : 2

Waktu tunda : 0,3 detik

Rele R-52F2

Merk : ABB

Tipe : SPAJ 140C(SPCJ 4D29)

FLA LL-Refinery : 787,3 A

Isc min 30~ Bus 0254 : 17,66 kA

Isc max 4~ Bus 0254 : 25,62 kA

CT : 1200/5

Batas waktu arus lebih

$$1,05x FLA < Iset < 1,4x FLA$$

$$1,05x 787,3 < Iset < 1,4x 787,3$$

$$826,7 < Iset < 1102,2$$

$$\frac{826,7}{1200} < Tap < \frac{1102,2}{1200}$$

$$0,68 < Tap < 0,91$$

Dipilih Tap : 0,87

Waktu kerja

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

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

$$TD = \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{25620}{1044} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

$$TD = 0,14$$

Dipilih TD : 0,15

Pengaturan waktu seketika

Pengaturan Batas Arus

$$1,6x FLA < I_{\gg} < 0,8 \times Isc \text{ min Bus } 100 - SG - 201$$

$$1,6x 787,3 < I_{\gg} < 0,8 \times 17660 A$$

$$1259,67 A < I_{\gg} < 14128 A$$

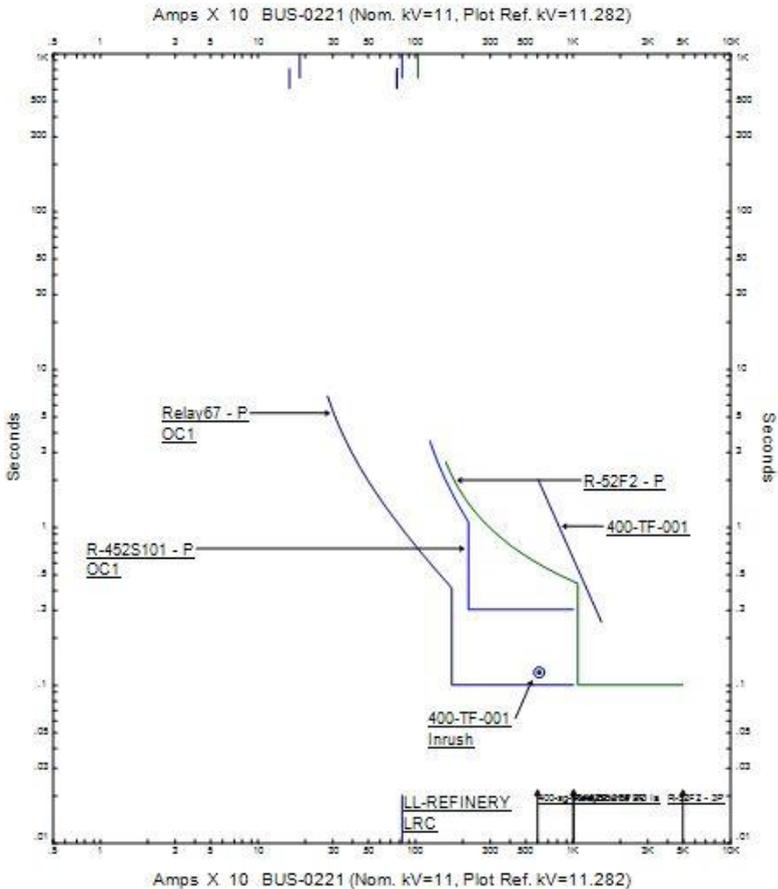
$$\frac{1259,67 A}{1200} < Tap < \frac{14128 A}{1200}$$

$$1,04 < Tap < 11,77$$

Dipilih Tap : 9

Waktu tunda : 0,1 detik

Setelah hasil perhitungan manual didapatkan maka prosedur berikutnya yaitu masukan data pengaturan ulang pada sistem dan dilakukan plot kurva untuk melihat apakah sistem telah terkoordinasi dengan baik dan selisih waktu apakah sudah sesuai standar yang ada, ketika diberi gangguan hubungan singkat apakah koordinasi rele berjalan dengan baik dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Kurva Pengaturan ulang *Tipikal 4*

Dapat dilihat pada hasil kurva pengaturan ulang telah terkoordinasi dengan baik, waktu operasi kerja antar rele telah memenuhi standar. Dan rele tersebut dapat dikoordinasikan dengan baik sebagai rele utama dan cadangan rele. Dapat dilihat pada hasil plot bahwa Relay 67(R-LL Ref) jika tidak berhasil membuka CB-400652F001 maka R-452S101 menjadi cadangan rele pengaman dengan selisih waktu 0,2 detik. Untuk hasil lebih lanjut dapat diamati menggunakan tampilan utama, dengan sistem yang sudah direset apakah selisih waktu untuk rele digital yang ada

sesuai standar atau belum dapat dilihat pada tabel 4.11 dengan diberi gangguan simetri 3 fasa yang diletakan pada saluran LL-Refinery.

Tabel 4.11 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan pada saluran LL-Refinery.

Waktu (ms)	ID	Kondisi
100	R-LL Ref	Fasa-OC50
110	CB-400652F001	Trip oleh R-LL Ref
300	R-452S101	Fasa-OC50
310	CB-400652S101	Trip oleh R-452S101
617	R-52F2	Fasa-OC51
717	52F2	Trip oleh R- R-52F2

Dari tabel 4.11 dapat diamati bahwa selisih waktu sistem yang sudah dilakukan pengaturan ulang telah memenuhi standar yaitu antara 0,2-0,3 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan Pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada. Dengan demikian rele antar pengaman saling cadangan, ketika rele utama gagal membuka.

Tabel 4.12 Perbandingan Pengaturan Rele Arus Lebih

Pengaturan terendah						
ID Bus	Eksisting			Pengaturan ulang		
	Tipe Kurva	Pickup	TD	Tipe Kurva	Pickup	TD
Rele R-170CP011	IEC-Very Inverse	110	0,32	Very Inverse	83	1,19
Rele R-152R101	Very Inverse	135	0,6	Very Inverse	249	1
Rele R-152F102	Very Inverse	195	0,79	Very Inverse	249	1
Rele R-152S101	Very Inverse	1300	0,18	Normal Inverse	1580	0,16
Rele R-52F1	IEC-Very Inverse	925	0,18	Normal Inverse	837.5	0,34
Rele R-152T101	Very Inverse	195	0,63	Extremely Inverse	255	1
Rele R-160T202	Extremely Inverse	130	0,26	Extremely Inverse	162	0,5

Rele R-152R202	Very Inverse	450	0,31	Very Inverse	275	1
Rele R-152F201	Very Inverse	450	0,31	Very Inverse	275	1
Rele R-152S201	Very Inverse	1800	0,14	Very Inverse	1580	0,16
Rele R-52F3	IEC-Very Inverse	1013	0,38	Normal Inverse	1000	0,25
Rele R-LL Refinery	Very Inverse	315	0,14	Very Inverse	340	0,25
Rele R-452S101	Very Inverse	1160	0,08	Very Inverse	1520	0,13
Rele R-52F2	IEC-Very Inverse	744	0,13	Normal Inverse	1044	0,15
High Set						
ID Bus	Eksisting			Pengaturan ulang		
	Tipe Kurva	Pickup	Td	Tipe Kurva	Pickup	Td
Rele R-170CP011	Pengaturan waktu seketika	300	0,05	Pengaturan waktu seketika	548	0,1
Rele R-152R101	Pengaturan waktu seketika	1935	0,07	Pengaturan waktu seketika	2565	0,3
Rele R-152F102	Pengaturan waktu seketika	2400	0,09	Pengaturan waktu seketika	2565	0,3
Rele R-152S101	Pengaturan waktu seketika	5900	0,09	Pengaturan waktu seketika	5700	0,5
Rele R-52F1	Pengaturan waktu seketika	4000	0,05	Pengaturan waktu seketika	9250	0,1
Rele R-152T101	Pengaturan waktu seketika	915	0,05	Pengaturan waktu seketika	6000	0,1

Rele R-160T202	Pengaturan waktu seketika	670	0,05	Pengaturan waktu seketika	2130	0,1
Rele R-152R202	Pengaturan waktu seketika	2175	0,07	Pengaturan waktu seketika	3025	0,3
Rele R-152F201	Pengaturan waktu seketika	2175	0,07	Pengaturan waktu seketika	3025	0,3
Rele R-152S201	Pengaturan waktu seketika	5700	0,09	Pengaturan waktu seketika	5700	0,5
Rele R-52F3	Pengaturan waktu seketika	5625	0,05	Pengaturan waktu seketika	11125	0,1
Rele R-LL Refinery	Pengaturan waktu seketika	2355	0,05	Pengaturan waktu seketika	3140	0,1
Rele R-452S101	Pengaturan waktu seketika	4000	0,05	Pengaturan waktu seketika	4000	0,3
Rele R-52F2	Pengaturan waktu seketika	7560	0,04	Pengaturan waktu seketika	10800	0,1

4.6 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Untuk gangguan hubungan singkat ke tanah dibutuhkan koordinasi pengaman arus lebih gangguan ke tanah, koordinasi ini biasa disebut juga dengan gangguan ketanah pengaman rele. Seperti penjelasan sebelumnya pada dasar teori bahwa gangguan ini adalah gangguan hubungan singkat yang paling sering terjadi. Untuk mengkoordinasikan rele pengaman ini juga dipengaruhi oleh sistem pentanahan. Sistem pentanahan ini berpengaruh pada peralatan seperti trafo dan pembangkit (Generator). Untuk trafo sendiri sistem pentanahannya biasanya diberi *neutral grounding resistor* (NGR), dikarenakan arus hubungan singkat ke tanah yang terjadi arusnya hampir sama dengan arus NGR yang terpasang. Untuk pengaturan rele pengaman gangguan hubungan singkat ke tanah ini parameter yang dibutuhkan yaitu pengaturan waktu tunda dan

penggunaan kurva definite atau pengaturan waktu seketika. Sistem kelistrikan PT Smelting mempunyai 3 buah tingkatan tegangan dengan sistem distribusi radial. Untuk data jenis pentanahan dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Pentanahan yang digunakan di peralatan PT. Smelting

No.	ID Generator	Jenis pentanahan
1	1-TGK-CTG 1	Y-NGR 100A
2	1-TGA-STG 1	Y-NGR 100A
3	1-TGA-STG 2	Y-NGR 100A
4	1-TGK-CTG 2	Y-NGR 100A
5	1-TGK-CTG 3	Y-NGR 100A
6	1-TGG-GEG 4	Y-NGR 100A

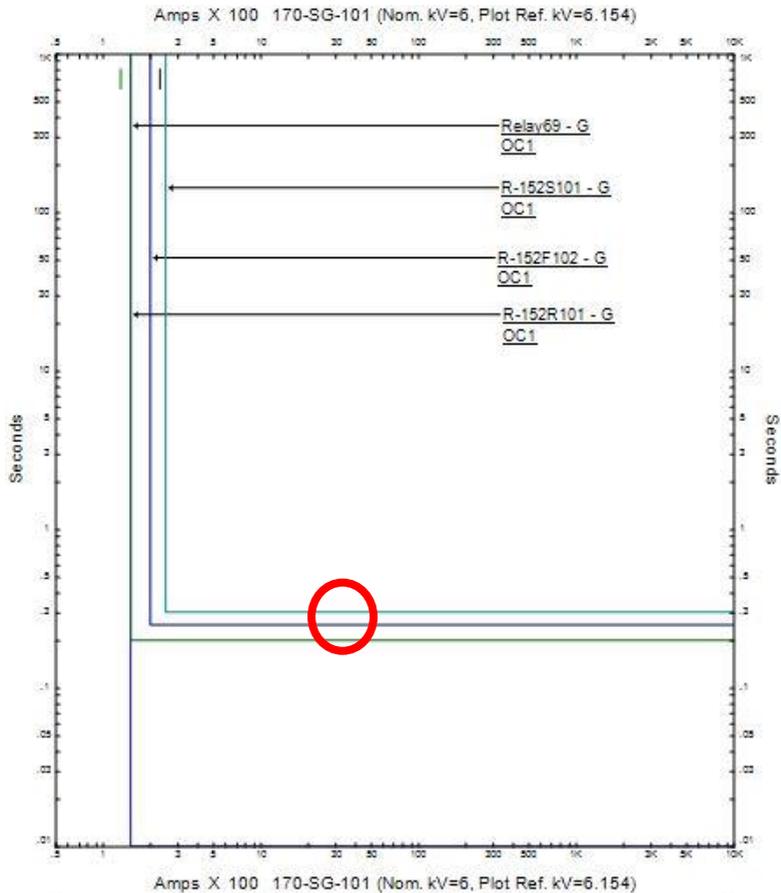
Tabel 4.14 Lanjutan Pentanahan yang digunakan di peralatan PT. Smelting

No.	ID Generator	Jenis pentanahan
7	1-TGG-GEG 1	Y-NGR 100A
8	1-TGG-GEG 2	Y-NGR 100A
9	1-TGG-GEG 3	Y-NGR 100A
10	CT#4	Y-NGR 100A
11	100-TF-101	D-Y NGR 600A
12	100-TF-201	D-Y NGR 600A
13	400-TF-001	D-Y NGR 600A
14	300-TF-001	D-Y NGR 600A
15	200-TF-001	D-Y NGR 600A
16	420-TF-001	D-Y SOLID
17	420-TF-002	D-Y SOLID
18	420-TF-0053	D-Y SOLID
19	100-TF-151	D-Y SOLID
20	100-TF-251	D-Y SOLID
21	100-TF-252	D-Y SOLID
22	160-TF-251	D-Y SOLID
23	160-TF-252	D-Y SOLID

4.6.1 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1

Untuk penentuan tipikal 1 arus lebih gangguan ke tanah dipilih mulai dari motor dengan kapasitas daya terbesar 170-CP-011 hingga trafo pada sisi primer 100-TF-101. Nilai arus line to ground pada tipikal ini

tenaga membuka juga harus diperhitungkan agar Pemutus tenaga tersebut saling cadangan dengan benar. Dengan demikian sistem eksisting pada tipikal 1 dibutuhkan pengaturan ulang dengan perhitungan manual dengan standar yang sudah ada.



Gambar 4.15 Kurva Eksisting Gangguan ke Tanah Tipikal 1

Berikut merupakan pengaturan rele antar pengaman untuk sistem eksisting gangguan ke tanah tipikal 1 :

Rele R-170CP011

Merk	: Siemens
Tipe	: 7SJ62
Isc L-G	: 600 A
CT	: 100/1

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 1,8I_n

Delay : 0,1 detik

Rele-R-152R101

Merk : ABB

Tipe : REF543

Isc L-G : 600 A

CT : 100/5

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 1,8I_n

Delay : 0,3 detik

Rele-R-152F102

Merk : ABB

Tipe : REF543

Isc L-G : 600 A

CT : 100/5

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 1,8I_n

Delay : 0,3 detik

Rele-R-152S101

Merk	: ABB
Tipe	: REF543
Isc L-G	: 600 A
CT	: 100/5

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

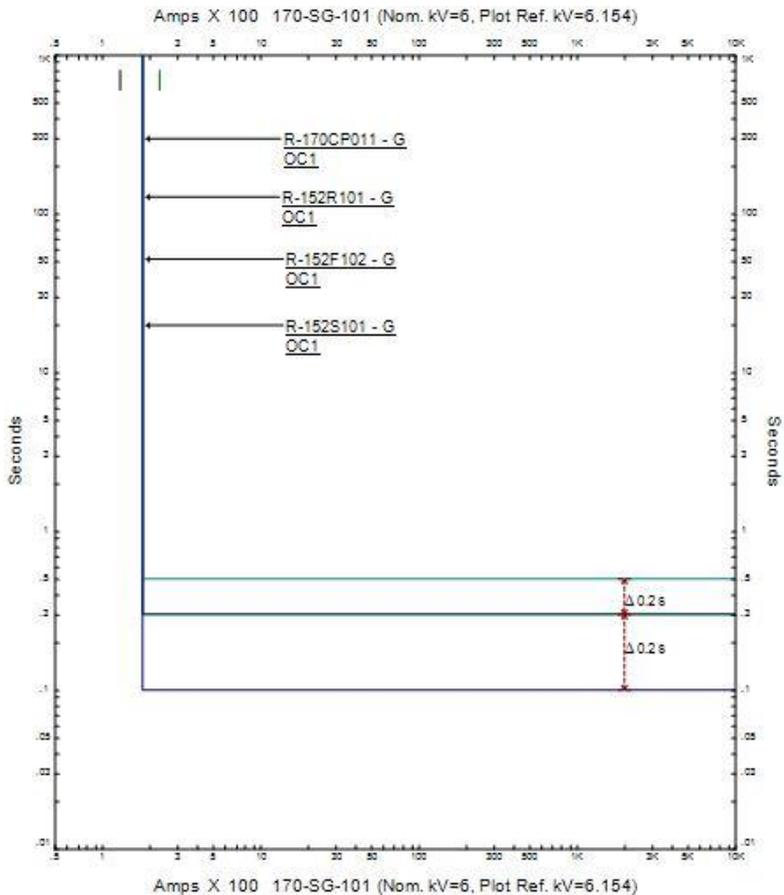
$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap	: 1,8I _n
Delay	: 0,5 detik

Dapat dilihat pada hasil kurva pengaturan ulang telah terkoordinasi dengan baik, waktu operasi kerja antar rele telah memenuhi standar dapat dilihat pada gambar 4.16. Dan rele tersebut dapat dikoordinasikan dengan baik sebagai rele utama dan cadangan rele. Dapat dilihat pada hasil plot bahwa rele R-170CP11 waktu tunda sudah lebih baik dengan pengaturan 0,1 detik. Dan grading antar rele pengaman yaitu 0,2 detik. Untuk hasil lebih lanjut dapat diamati menggunakan tampilan urutan, dengan sistem yang sudah direset apakah selisih waktu untuk rele digital yang ada sesuai standar atau belum dapat dilihat pada tabel 4.14 dengan diberi gangguan Line to Ground pada saluran antara bus 170-SG-101 dan Motor 170-CP-011.



Gambar 4.16 Kurva Pengaturan ulang Gangguan ketanah Tipikal1

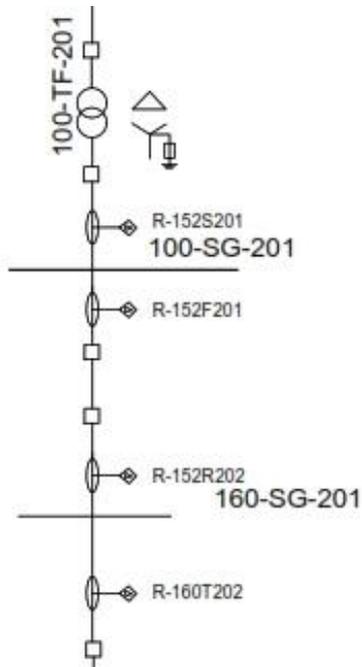
Dari tabel 4.15 dapat diamati bahwa grading time sistem yang sudah dilakukan pengaturan ulang telah memenuhi standar yaitu antara 0,2-0,3 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan Pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada. Dengan demikian rele antar pengaman saling cadangan, ketika rele utama gagal membuka.

Tabel 4.15 Hasil Simulasi Urutan Rele Saat diberikan Gangguan *Line to Ground* pada saluran antara bus 170-SG-101 dan Motor 170-CP-011.

Waktu (ms)	ID	Kondisi
100	R-170CP011	Ground -OC1-50
233	Cont23	Trip oleh R-170CP011
300	R-152F102	Ground -OC1-50
300	R-152R101	Ground -OC1-50
355	CB-170652R101	Trip oleh R-152R101
355	CB-S100652F102	Trip oleh R-152F102
500	R-152S101	Ground -OC1-50
555	CB-100652S101	Trip oleh R-152S101

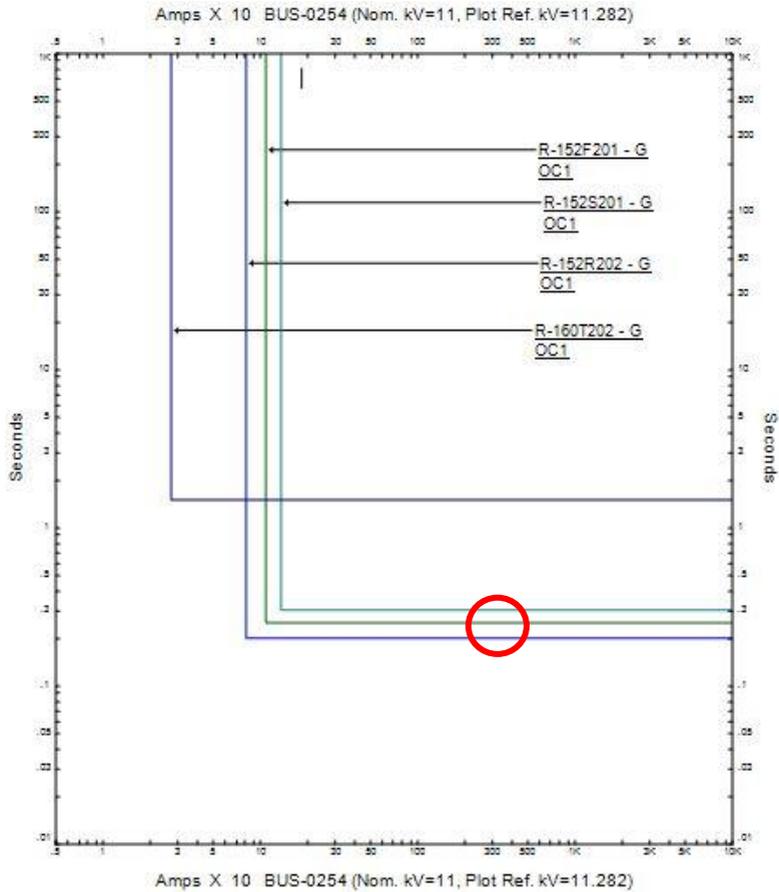
4.5.2 Koordinasi Pengaman Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 2

Untuk penentuan tipikal 2 arus lebih gangguan ke tanah dipilih mulai dari saluran sisi primer trafo 160-TF-252 hingga trafo pada sisi primer 100-TF-201. Nilai arus line to ground pada tipikal ini dipengaruhi oleh R0 yang terpasang pada sistem NGR Trafo 100-TF-201. Dengan R0 yang terpasang arus line to ground pada saluran ini bernilai hampir mendekati 600 ampere. Pada koordinasi antar pengaman rele yang merasakan arus tersebut yaitu R-160T202,R-152R202,R-152F201, dan R-52F3. Dengan keadaan tersebut maka diperlukan pengaturan rele gangguan ketanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram satu garis tipikal 2 gangguan ketanah sistem kelistrikan PT Smelting pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Diagram satu garis Gangguan ke Tanah Tipikal 2

Berdasarkan data eksisting PT Smelting yang ada maka dapat dilakukan plot kurva pada kurva arus terhadap waktu yang dapat diamati pada gambar 4.18 untuk dianalisis apakah pengaturan rele antar pengaman dapat dikatakan sudah sesuai ataupun belum.



Gambar 4.18 Kurva Eksisting Gangguan ke Tanah Tipikal 2

Dengan plot kurva yang ada dapat di analisis bahwa koordinasi rele pada sistem eksisting masih belum terkoordinasi dengan baik. Dari selisih waktu antar pengaman masih belum direkomendasikan karena koordinasi antar pengaman sangat cepat yaitu 0,05 detik. Dengan demikian sistem eksisting pada tipikal 2 dibutuhkan pengaturan ulang dengan perhitungan manual dengan standar yang sudah ada.

Berikut merupakan pengaturan rele antar pengaman untuk sistem eksisting gangguan ke tanah tipikal 2 :

Rele R-160T202

Merk : ABB
Tipe : REF543
Isc L-G : 600 A
CT : 100/5

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 1,8In

Delay : 0,1 detik

Rele R-152R202

Merk : ABB
Tipe : REF543
Isc L-G : 600 A
CT : 100/5

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 1,8In

Delay : 0,3 detik

Rele R-152F201

Merk : ABB
Tipe : REF543
Isc L-G : 600 A
CT : 100/5

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 1,8I_n
 Delay : 0,3 detik

Rele R-152S201

Merk : ABB
 Tipe : REF543
 Isc L-G : 600 A
 CT : 100/5

Pengaturan waktu seketika

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

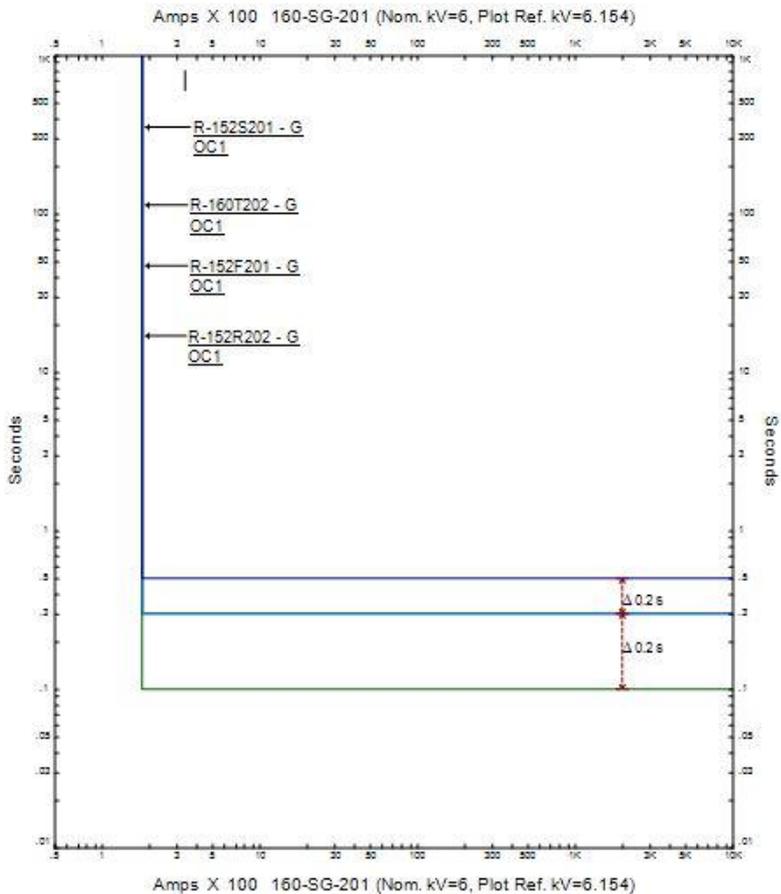
$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{100} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 1,8I_n
 Delay : 0,5 detik

Dapat dilihat pada hasil kurva pengaturan ulang telah terkoordinasi dengan baik, waktu operasi kerja antar rele telah memenuhi standar dapat dilihat pada gambar 4.19. Dan rele tersebut dapat dikoordinasikan dengan baik sebagai rele utama dan cadangan rele. Selisih antar rele pengaman yaitu 0,2 detik.



Gambar 4.19 Kurva Pengaturan ulang Gangguan ketanah Tipikal 2

Untuk hasil lebih lanjut dapat diamati menggunakan tampilan urutan, dengan sistem yang sudah direset apakah selisih waktu untuk rele digital yang ada sesuai standar atau belum dapat dilihat pada tabel 4.16 dengan diberi gangguan Line to Ground pada saluran antara bus 100-SG-201 dan Trafo 160-TF-252.

Dari tabel 4.16 dapat diamati bahwa selisih waktu sistem yang sudah dilakukan pengaturan ulang telah memenuhi standar yaitu antara 0,2-0,3 detik. Dan hasil urutan operasi kerja rele hingga pembukaan Pemutus tenaga juga sesuai dengan perhitungan manual yang ada. Dengan

demikian rele antar pengaman saling cadangan, ketika rele utama gagal membuka.

Tabel 4.16 Hasil Simulasi Urutan Rele saat diberi gangguan Line to Ground pada saluran antara bus 100-SG-201 dan Trafo 160-TF-252.

Waktu (ms)	ID	Kondisi
100	R-160T202	Ground -OC1-50
155	CB-160652T202	Trip oleh R-160T202
300	R-152F201	Ground -OC1-50
300	R-152R202	Ground -OC1-50
355	CB-160652R202	Trip oleh R-152R202
355	CB-S100652F201	Trip oleh R-152F201
500	R-152S201	Ground -OC1-50
555	CB-100652S201	Trip oleh R-152S201

4.7 Perhitungan Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002 Pada Sistem Eksisting

Bab ini menjelaskan mengenai insiden energi yang mungkin terjadi berdasarkan data eksisting perusahaan. Besaran yang dicari yang pertama kali yaitu arus busur dan dilanjutkan perhitungan insiden energi Busur Api. Berikut merupakan data pendukung yang akan digunakan pada perhitungan arus busur dan Insiden Energi dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4.17 Data Bus Untuk Perhitungan Insiden Energi Busur Api

Bus ID	Tegangan (kV)	I _{bf} (kA)	FCT (detik)	Jarak Pekerja (mm)	Gap (mm)	Jarak faktor x (mm)
170-SG-101	6	15,8	0,145	457,2	153	0,973
100-SG-151	0,4	50,31	0,1	457,2	25	1,641
160-SG-201	6	17,42	0,145	457,2	153	0,973
100-SG-101	6	17,03	0,15	914,4	153	0,973
30-SG-001	11	31,03	0,13	914,4	153	0,973

Dengan data seperti pada tabel 4.17 maka dapat dilakukan perhitungan pada masing-masing bus :

- A. Perhitungan Insiden Energi Busur Api pada tingkatan tegangan 1-15 kV (0,4-11 kV)

Formula yang digunakan sebagai berikut :

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf}$$

$$I_g = 10^{\lg I_a}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

1. Bus 170-SG-101

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf}$$

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 \times I_g(15,8) \\
I_g I_a &= 1,18 \\
I_a &= 10^{I_g I_a} \\
I_a &= 10^{1,18} = 15,22 \text{ kA} \\
I_g E_n &= K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \\
I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,18) + (0,0011 \times 153) \\
I_g E_n &= 0,78 \\
E_n &= 10^{I_g E_n} \\
E_n &= 10^{0,78} = 6 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
E &= 4,182 \times 1 \times 6 \times \left(\frac{0,145}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}} \right) \\
E &= 24,09 \text{ J/cm}^2 = 5,75 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

2. Bus 100-SG-151

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= K + 0,662 I_g I_{bf} + 0,0966V + 0,000526G \\
&\quad + 0,5588V(I_g I_{bf}) - 0,00304G(I_g I_{bf}) \\
I_g I_a &= K + 0,662 I_g(50,31) + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526(25) + \\
&\quad 0,5588V(I_g(50,31)) - 0,00304G(I_g(50,31)) \\
I_g I_a &= 1,33 \\
I_a &= 10^{I_g I_a} \\
I_a &= 10^{1,33} = 21,49 \text{ kA} \\
I_g E_n &= K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \\
I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 21,49) + (0,0011 \times 25) \\
I_g E_n &= 0,80 \\
E_n &= 10^{I_g E_n} \\
E_n &= 10^{0,80} = 6 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
E &= 4,182 \times 1,5 \times 15 \times \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,64}}{457,2^{1,64}} \right) \\
E &= 31,73 \text{ J/cm}^2 = 7,58 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

3. Bus 160-SG-201

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \\
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 \times I_g(17,42) \\
I_g I_a &= 1,22 \\
I_a &= 10^{I_g I_a} \\
I_a &= 10^{1,22} = 16,75 \text{ kA} \\
I_g E_n &= K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \\
I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,22) + (0,0011 \times 153) \\
I_g E_n &= 0,82 \\
E_n &= 10^{I_g E_n} \\
E_n &= 10^{0,82} = 7 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
E &= 4,182 \times 1 \times 7 \times \left(\frac{0,145}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}} \right) \\
E &= 26,67 \text{ J/cm}^2 = 6,37 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

4. Bus 100-SG-101

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \\
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 \times I_g(17,03) \\
I_g I_a &= 1,21 \\
I_a &= 10^{I_g I_a} \\
I_a &= 10^{1,21} = 16,38 \text{ kA} \\
I_g E_n &= K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \\
I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,21) + (0,0011 \times 153) \\
I_g E_n &= 0,81 \\
E_n &= 10^{I_g E_n} \\
E_n &= 10^{0,81} = 7 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
E &= 4,182 \times 1 \times 6 \times \left(\frac{0,15}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right) \\
E &= 13,73 \text{ J/cm}^2 = 3,28 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

5. Bus 30-SG-001

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \\
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 \times I_g(32,48)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 1,49 \\
I_a &= 10^{I_g I_a} \\
I_a &= 10^{1,49} = 30,9 \text{ kA} \\
I_g E_n &= K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \\
I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 30,9) + (0,0011 \times 153) \\
I_g E_n &= 1,11 \\
E_n &= 10^{I_g E_n} \\
E_n &= 10^{1,11} = 13 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\
E &= 4,182 \times 1 \times 13 \times \left(\frac{0,13}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right) \\
E &= 23,50 \text{ J/cm}^2 = 5,61 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

4.8 Simulasi Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002 pada sistem Pengaturan ulang

Dengan menggunakan perangkat lunak pendukung ETAP 12.6 maka dapat disimulasikan Busur Api yang terjadi pada bus tingkatan tegangan 6 kV pada sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik dengan pengaturan pentanahan (Sistem Pentanahan). Berikut dilampirkan hasil simulasi Busur Api pada bus tertentu dengan koordinasi pengaman yang sudah di atur ulang dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Simulasi Busur Api menggunakan ETAP 12.6

Bus ID	Tegangan (kV)	Ibf (kA)	FCT (detik)	Arus busur (kA)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Tingkatan Energi
170-SG-101	6	15,8	0,355	15,22	14,10	2
100-SG-151	0,4	50,31	0,355	21,52	26,57	3
160-SG-201	6	17,42	0,355	16,75	15,65	2

100-SG-101	6	17,03	0,555	16,38	12,16	2
30-SG-001	11	31,03	0,38	29,54	15,76	2

4.9 Perhitungan Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002 pada sistem Pengaturan ulang

Perhitungan insiden energi pada saat pengaturan ulang ini sangat berpengaruh terhadap nilai FCT, bila sistem telah di koordinasikan dengan baik maka akan sangat berpengaruh pada data insiden energi Busur Api pengaturan ulang. Hal demikian dapat dilihat pada tabel 4.19 sebagai data pendukung untuk perhitungan insiden energi dan arus busur yang terjadi.

Tabel 4.19 Data Bus Untuk Perhitungan Insiden Energi Busur Api

Bus ID	Tegangan (kV)	I _{bf} (kA)	FCT (detik)	Jarak Pekerja (mm)	Gap (mm)	Jarak faktor x (mm)
170-SG-101	6	15,8	0,355	457,2	153	0,973
100-SG-151	0,4	50,31	0,355	457,2	25	1,641
160-SG-201	6	17,39	0,355	457,2	153	0,973
100-SG-101	6	17,01	0,555	914,4	153	0,973
30-SG-001	11	32,27	0,38	914,4	153	0,973

Dengan data seperti pada tabel 4.19 maka dapat dilakukan perhitungan pada masing-masing bus keadaan sistem pentanahan:

- A. Perhitungan Insiden Energi Busur Api pada tingkatan tegangan 1-15 kV (0,4-11 kV)

Formula yang digunakan sebagai berikut :

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf}$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

1. Bus 170-SG-101

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf}$$

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(15,8)$$

$$I_g I_a = 1,18$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_a = 10^{1,18} = 15,22 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,18) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,78$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E_n = 10^{0,78} = 6 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,182 \times 1 \times 6 \times \left(\frac{0,355}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}} \right)$$

$$E = 58,9 \text{ J/cm}^2 = 14,09 \text{ cal/cm}^2$$

2. Bus 100-SG-151

$$I_g I_a = K + 0,662 I_g I_{bf} + 0,0966V + 0,000526G$$

$$+ 0,5588V(I_g I_{bf}) - 0,00304G(I_g I_{bf})$$

$$I_g I_a = K + 0,662 I_g(50,31) + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526(25) +$$

$$0,5588V(I_g(50,31)) - 0,00304G(I_g(50,31))$$

$$I_g I_a = 1,33$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_a = 10^{1,33} = 21,49 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 21,49) + (0,0011 \times 25)$$

$$I_g E_n = 0,80$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E_n = 10^{0,80} = 6 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,182 \times 1,5 \times 15 \times \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,64}}{457,2^{1,64}}\right)$$

$$E = 111,07 \text{ J/cm}^2 = 26,54 \text{ cal/cm}^2$$

3. Bus 160-SG-201

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf}$$

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(17,42)$$

$$I_g I_a = 1,22$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_a = 10^{1,22} = 16,75 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,22) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,82$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E_n = 10^{0,82} = 7 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,182 \times 1 \times 7 \times \left(\frac{0,355}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}}\right)$$

$$E = 65,43 \text{ J/cm}^2 = 15,6 \text{ cal/cm}^2$$

4. Bus 100-SG-101

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf}$$

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(17,03)$$

$$I_g I_a = 1,21$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_a = 10^{1,21} = 16,38 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 1,21) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,81$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E_n = 10^{0,81} = 7 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,182 \times 1 \times 7 \times \left(\frac{0,555}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 50,8 \text{ J/cm}^2 = 12,16 \text{ cal/cm}^2$$

5. Bus 30-SG-001

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_{gl_{bf}}$$

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(32,48)$$

$$I_g I_a = 1,49$$

$$I_a = 10^{I_g I_a}$$

$$I_a = 10^{1,49} = 30,9 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 30,9) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 1,11$$

$$E_n = 10^{I_g E_n}$$

$$E_n = 10^{1,11} = 13 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,182 \times 1 \times 13 \times \left(\frac{0,38}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}} \right)$$

$$E = 69,18 \text{ J/cm}^2 = 16,53 \text{ cal/cm}^2$$

4.10 Perbandingan Eksisting dan Pengaturan ulang Insiden Energi Busur Api menggunakan Standar IEEE 1584-2002

Setelah dilakukan perhitungan dan simulasi pada sistem eksisting dan pengaturan ulang maka dapat dilihat perbedaan insiden energi yang terukur dengan menggunakan standar IEEE 1584-2002 dengan bantuan perangkat lunak pendukung ETAP 12.6 dan perhitungan manual. Data tersebut dapat diamati pada tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20 Perbandingan hasil eksisting dan pengaturan ulang

Bus ID	Pengaturan Awal		Pengaturan ulang	
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Tingkatan	Insiden Energi (cal/cm ²)	Tingkatan
170-SG-101	5,75	1	14,09	2
100-SG-151	7,58	1	26,54	3

160-SG-201	6,37	1	15,6	2
100-SG-101	3,28	1	12,16	2
30-SG-001	5,61	1	16,53	2

4.11 Perhitungan Jarak Aman Pelindung (*Flash Protection Boundary*) keadaan Pengaturan ulang

Pada penjelasan teori mendasar bahwa batas busur api adalah jarak dimana orang tersebut menerima luka bakar tingkat dua. Yang dapat diartikan ketika kulit manusia menerima 5.0 J/cm^2 dari insiden energi. Fungsi dari perhitungan tersebut yaitu untuk mengamankan pekerja ketika berada pada daerah tersebut agar tidak terjadi kecelakaan luka bakar yang dapat mengakibatkan cedera dan yang paling parah adalah kematian.

Perhitungan jarak aman pelindung untuk tingkatan tegangan kurang dari sama dengan 15 kV maka digunakan formula berikut.

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

1. Untuk perhitungan pada Bus 170-SG-101 maka,

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 6 \times \left(\frac{0,355}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 5779,4 \text{ mm} = 5,78 \text{ m}$$

2. Untuk perhitungan pada Bus 100-SG-151 maka,

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 15 \times \left(\frac{0,355}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,64}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,64}}$$

$$D_B = 3029,3 \text{ mm} = 3,02 \text{ m}$$

3. Untuk perhitungan pada Bus 160-SG-201 maka,

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 7 \times \left(\frac{0,355}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 6429,5 \text{ mm} = 6,43 \text{ m}$$

4. Untuk perhitungan pada Bus 100-SG-101 maka,

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 7 \times \left(\frac{0,555}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 9928,6 \text{ mm} = 9,93 \text{ m}$$

5. Untuk perhitungan pada Bus 30-SG-001 maka,

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 13 \times \left(\frac{0,38}{0,2} \right) \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 13615,82 \text{ mm} = 13,62 \text{ m}$$

Dengan demikian, jarak aman pelindung pada setiap bus dapat diketahui besarnya. Dalam keadaan pengaturan ulang ini nilai insiden energi cenderung menurun yang berakibat pada jarak pekerja pada peralatan. Dengan mengetahui nilai tersebut maka resiko terjadinya kecelakaan pekerja juga akan menurun karena batasan daerah kerja telah diperhitungkan. Namun dalam kondisi seperti sekarang juga belum cukup karena masih adanya peralatan pendukung atau biasa disebut protective equipment untuk pekerja disekitar area dimana ditentukan oleh kategori resiko bahaya yang akan ditunjukkan pada sub bab berikutnya.

Berikut rekap data hasil perhitungan jarak aman pelindung keadaan pengaturan ulang yang dapat dilihat pada tabel 4.21

Tabel 4.21 Jarak aman pelindung keadaan Pengaturan ulang

Bus ID	Pengaturan Awal	Pengaturan ulang
	Hasil simulasi Jarak Aman Pelindung (m)	Hasil Perhitungan Jarak Aman Pelindung (m)
170-SG-101	2,29	5,78
100-SG-151	1,45	4,03
160-SG-201	1,73	6,43

100-SG-101	2,57	9,93
30-SG-001	4,47	13,62

4.12 Penentuan Peralatan Pelindung Diri

Seperti pada penjelasan sebelumnya landasan ini digunakan agar teknisi yang berada dilapangan sedikit merasa aman dalam hal mencegah hal yang tidak diinginkan yang berimbas pada produksi industri maupun keselamatan diri sendiri. Standar yang digunakan yaitu NFPA 70E-2015, sebagai acuan dasar insiden energi yang terjadi dan peralatan yang digunakan pada area tertentu atau yang berpotensi terjadinya Busur Api. Berikut merupakan Kategori dan penentuan peralatan pelindung diri pada PT. Smelting Gresik yang dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.22 PPE PT. Smelting Gresik

No.	Bus ID	Kategori Resiko Bahaya	Peralatan Pelindung Diri
1.	170-SG-101	2	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
2.	100-SG-151	3	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
3.	160-SG-201	2	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api

			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
4.	100-SG-101	2	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
5.	30-SG-001	2	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis mulai dari kondisi pengaturan awal dan pengaturan ulang didapatkan kesimpulan bahwa kondisi sistem kelistrikan eksisting perlu adanya evaluasi koordinasi antar rele pengaman. Berikut merupakan hasil evaluasi yang harus dilakukan.

1. Untuk rele pengaman motor yang dapat dilihat pada tipikal 1, kurva waktu terbalik rele pengaman masuk daerah kerja arus awal mula motor yang tinggi. Keadaan ini akan mengakibatkan pada saat motor tersebut pertama kali dioperasikan rele tersebut akan merasakan adanya seperti arus gangguan hubungan singkat yang sebenarnya adalah arus awal motor. Kondisi ini akan menimbulkan gangguan sesaat ketika sistem tersebut beroperasi pertama kali. Dengan keadaan tersebut disarankan untuk dilakukan pengaturan ulang agar performa sistem pada daerah tersebut meningkat dan terkoordinasi dengan baik
2. Ketika adanya kurva waktu terbalik rele pengaman memotong kurva waktu lama pengaman pada tegangan rendah pemutus tenaga dalam satu penyulang disarankan untuk mengganti karakteristik kurva rele pengaman tersebut, dalam kasus ini sistem pengaturan awal menggunakan kurva karakteristik standar *inverse* untuk diganti menggunakan kurva *extremely inverse*.
3. Besar nilai insiden energi yang terjadi pada sistem pengaturan awal terdapat perbedaan pada kondisi pengaturan ulang. Dimana insiden energi pada pengaturan ulang sedikit lebih tinggi daripada kondisi pengaturan awal, dikarenakan faktor waktu buka rele hingga pemutus tenaga terbuka kondisi eksisting yang lebih kecil daripada kondisi pengaturan ulang yang sudah terkoordinasi lebih baik. Seperti contoh kasus pada bus 30-SG-001 insiden energi antara kondisi pengaturan awal dan pengaturan ulang mempunyai selisih $10,92 \text{ cal/m}^2$.

5.2 Saran

Dalam koordinasi rele antar pengaman waktu jeda antar rele harus lebih diperhatikan karena berhubungan juga dengan kemampuan pembukaan pemutus tenaga, ketika dalam 1 penyulang terdapat jeda

waktu antar rele yang dapat dikatakan cukup cepat dapat mengakibatkan terjadinya simpatetik. Sehingga rele antar pengaman tidak terkoordinasi dengan baik dan performa sistem kelistrikan tidak sehandal semestinya. Juga disarankan untuk berpedoman pada standar yang sudah ada, penelitian untuk Tugas Akhir menggunakan standar IEEE 242-2001. Untuk saluran paralel kabel penghubungan antara PT Linde dan PT Smelting disarankan untuk perusahaan, dipasang rele differensial agar jika terjadi hubungan singkat pada salah satu saluran tersebut. PT Smelting tidak sampai mengalami adanya pemadaman pada sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation, New York: IEEE Std 1584-2002, 2002.
- [2] C. G. Clark, "The Basic Of Arc Flash," *GE Industrial Solution*, 2008.
- [3] N. F. P. A. 70E, "Standard for Electrical Safety in the Workplace," 2015.
- [4] IEEE Std 242-2001, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001.
- [5] Nagsarkar and Sukhija, *Power System Analysis*, New Delhi: Oxford University, 2014.
- [6] IEEE Std 551-2006, IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2006.
- [7] M. E. Valdes and J. J. Dougherty, "Advances in Protective Device Interlocking for Improved Protection and Selectivity," *IEEE transaction on Industry*, vol. 50, 2014.
- [8] M. Singh and A. Agrawal, "Cluster Based Protection Coordination using a new Voltage Current Time Inverse Relay," *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2018.
- [9] K. Anupreyaa, "Relay Coordination for Distribution System," *St. Joseph's college of engineering*, pp. 1-4, 2016.
- [10] J. Simms and G. Johnson, "Protective Relaying Methods for Reducing Arcflash Energy," *IEEE Transaction On Industry Applications*, vol. 49, 2013.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

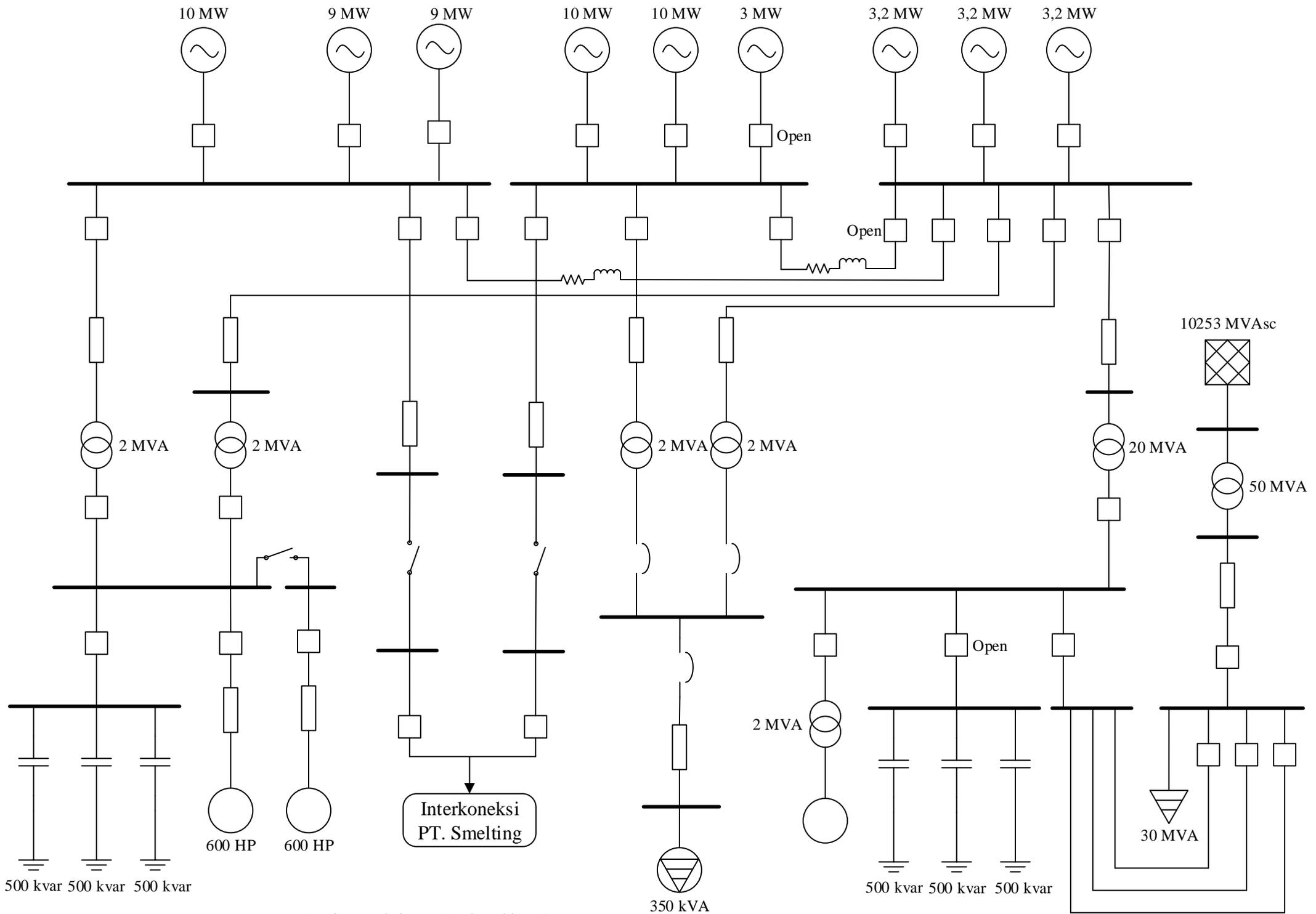
RIWAYAT PENULIS



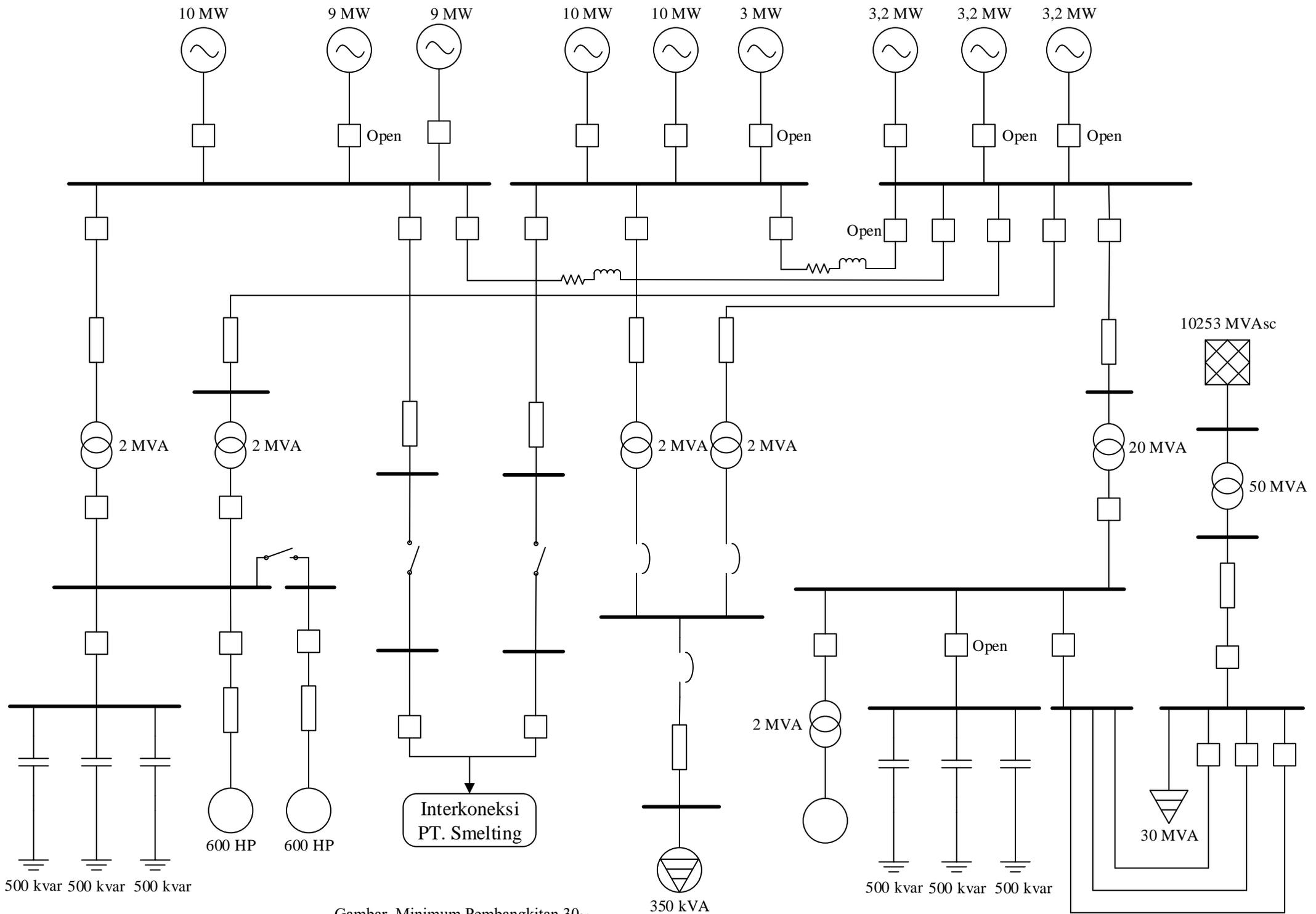
Penulis memiliki nama lengkap Derry Prakasa, anak ke 2 dari 3 bersaudara. Lahir di Surabaya pada tanggal 2 Februari 1995. Penulis mempunyai Hobi memancing ikan, mempunyai karakter sedikit pemalas dan pendiam. Pada tahun 2013 penulis diterima menjadi mahasiswa D3 Teknik Elektro Prodi Computer Control Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Setelah lulus dan mendapatkan gelar A.Md, Kemudian Penulis berniat melanjutkan Studi ke jenjang S1. Pada tahun 2017 penulis diterima sebagai Mahasiswa lagi di Program Lintas Jalur S1 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember hingga saat ini pada tahun 2019 penulis masih aktif dan sedang dalam proses pengerjaan Tugas Akhir dengan Judul Evaluasi Koordinasi Proteksi dengan mempertimbangkan Arcflash pada sistem kelistrikan PT. Smelting Gresik.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



Gambar. Maksimum Pembangkitan 4~



Gambar. Minimum Pembangkitan 30~

INDEX

A

arcing fault, 1, 17, 18
arus, xix, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11,
12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19,
29, 30, 31, 32, 48, 51, 63, 74,
75, 76, 82, 89, 93, 101

B

backup, xi, 32, 64, 71, 72, 77, 80,
81, 86, 88
Bolted fault current, 18, 21
bus, 1, 3, 12, 17, 22, 26, 27, 29, 30,
37, 44, 47, 48, 52, 55, 64, 66,
80, 82, 87, 88, 89, 92, 93, 98,
101
Busur api, ix, 1, 2, 17, 21

C

Circuit Breaker, ix, 1, 12, 17, 45,
52, 64, 72, 76, 81, 87
create star view, 36
current transformer, 13

D

downstream, 3

E

ETAP 12.6, ix, xi, 1, 3, 30, 92, 96

F

Flash Protection Boundary, xvi,
xvii, 20, 21, 97
fuse, 10, 11

G

grading, 37, 43, 45, 48, 51, 63, 66,
80, 81
ground fault, 4, 74, 76, 82
Ground Fault Relay, 2
gypsum, 25

H

hubung singkat, ix, xix, 1, 2, 3, 4, 6,
7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17,
18, 29, 30, 31, 32, 43, 50, 62,
70, 74, 101, 102

I

insiden energi, ix, 1, 2, 3, 4, 19, 21,
22, 89, 93, 96, 97, 98, 99, 101
Instantaneous, 38, 39, 40, 42, 43,
50, 57, 58, 59, 60, 61, 68, 69,
70, 73, 74, 79, 80, 85, 86
inverse, xix, 14, 16, 51, 55, 63
isolator, 8

L

Limited Approach Boundary, 20
line to ground, 75, 82
line to line, 9
line to neutral, 9, 10

load flow, 3

M

motor, 7, 12, 27, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 44, 75, 101

N

negative sequence, 9, 10

O

over travel, 13

Over travel, 13

Overcurrent relay, 2

overvoltage, 3

P

pickup, 13, 14, 15, 32, 48

positive sequence, 9, 10

potential transformer, 13

Prohibited Approach Boundary, 21

protection, xi, 20, 33, 74

PT. Smelting Gresik, v, vii, ix, xi, xiii, xvi, 2, 3, 4, 25, 29, 92, 99, 102

R

ratio, 38, 41, 42, 49, 56, 58, 59, 60, 61, 67, 68, 69

relay, ix, xi, 14, 16, 64, 72, 81, 88

Restricted approach boundary, 21

S

sequence viewer, 37, 44, 48, 51, 52, 64, 71, 80, 87

Single Line Diagram, xix, 3, 12, 28, 35, 46, 53, 65, 76, 83

software, ix, xi, 1, 29, 36, 46, 54, 65, 92, 96

star curve coordination protection, 33

Star protective device coordination, 36, 65

steady state, 7

sub transient, 7, 8

T

tap, 3, 16, 79, 80, 85, 86

time current curve, 13, 14, 46

Time Dial, 38, 39, 40, 41, 42, 49, 57, 58, 59, 60, 61, 67, 68, 70

Time Overcurrent Pick-up, 38, 39, 40, 41, 42, 49, 56, 58, 59, 60, 61, 67, 68, 69

tipikal, xix, 32, 34, 35, 36, 37, 45, 46, 48, 53, 54, 55, 64, 65, 67, 75, 77, 78, 82, 84, 101

U

undervoltage, 3