

TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN PT MEDCO E&P LEMATANG**

Muhammad Ulul Albab
NRP 07111745000045

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Vita Lystianingrum B.P., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN ARC FLASH PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT MEDCO E&P LEMATANG**

Muhammad Ulul Albab
NRP 07111745000045

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Vita Lystianingrum B.P., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - TE 141599

**PROTECTION COORDINATION CONSIDERING ARC
FLASH ON ELECTRICAL SYSTEM PT MEDCO E&P
LEMATANG**

Muhammad Ulul Albab
NRP 07111745000045

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Vita Lystianingrum B.P., M.Sc., Ph.D.

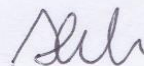
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Evaluasi Koordinasi Proteksi dengan Mempertimbangkan Arc Flash pada Sistem Kelistrikan PT Medco E&P Lematang”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2020



Muhammad Ulul Albab
NRP. 07111745000045

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN ARC FLASH PADA
SISTEM KELISTRIKAN PT MEDCO E&P
LEMATANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

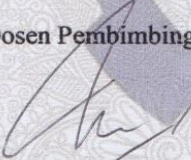
Pada


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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
NIP. 131925501


Vita Lytianingrum B.P., M.Sc., Ph.D.
NIP. 132318035

23/1/2020



EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN PT MEDCO E&P LEMATANG

Muhammad Ulul Albab
07111745000045

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

Dosen Pembimbing 2 : Vita Lystianingrum B.P., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Suatu sistem proteksi harus memiliki keandalan yang tinggi agar dapat menjaga kualitas dan ketahanan suatu sistem tenaga listrik terhadap gangguan. Salah satu sistem koordinasi proteksi yang sangat penting adalah sistem proteksi terhadap arus lebih dimana dapat melindungi sistem dari gangguan arus lebih sampai gangguan hubung singkat. Namun demikian energi yang ditimbulkan oleh adanya insiden busur api juga perlu untuk dipertimbangkan agar tidak menghasilkan energi yang terlalu besar sehingga dapat membahayakan pekerja. Analisa dan perhitungan insiden busur api berfungsi untuk menentukan jarak aman pekerja ke peralatan listrik dan juga pelindung apa yg harus dikenakan oleh pekerja ketika berada di sekitar peralatan listrik. Dalam penelitian ini dilakukan studi tentang kelayakan sistem koordinasi proteksi arus lebih dengan mempertimbangkan arc flash pada PT. Medco E&P Lematang Analisa busur api dilakukan dengan menggunakan standart IEEE 1584-2002. Analisa dan simulasi akan dilakukan menggunakan software ETAP Power Station 12.6. Dari hasil analisa, pada sistem koordinasi proteksi kondisi eksisting terdapat kesalahan pada grading time antar rele yang terlalu cepat sehingga perlu dilakukan setting rele kembali sesuai standart agar tidak terjadi kesalahan trip. Dengan melakukan pengaturan ulang didapatkan hasil sistem koordinasi yang sudah tepat. Setelah itu dilakukan evaluasi insiden busur api pada bus dengan level tegangan 6,6 KV. Dari hasil evaluasi menunjukkan adanya penurunan insiden energi sebesar 0,34 – 1,46 cal/cm² di beberapa bus.

**Kata kunci : koordinasi proteksi arus lebih, insiden busur api,
insiden energi**

Halaman ini sengaja dikosongkan

PROTECTION COORDINATION CONSIDERING ARC FLASH ON ELECTRICAL SYSTEM PT MEDCO E&P LEMATANG

Muhammad Ulul Albab
0711174500045

1st Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2nd Advisor : Vita Lystianingrum B.P., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

A protection system must have high reliability in order to maintain the quality and resistance of an electric power system to interference. One of the most important protection coordination systems is the overcurrent protection system which can protect the system from overcurrent disturbance to short circuit interference. However, the energy generated by the arc incident also needs to be considered so as not to produce energy that is too large so that it can endanger workers. The analysis and calculation of the arc incident serves to determine the safe distance of workers to electrical equipment and also what protection should be worn by workers when in the vicinity of electrical equipment. In this study a study of the feasibility of an overcurrent protection coordination system by considering the arc flash at PT. Medco E&P Lematang Arc analysis is carried out using the IEEE 1584-2002 standard. Analysis and simulation will be carried out using ETAP Power Station 12.6 software. From the results of the analysis, in the existing condition protection coordination system there is an error in the grading time between the relay which is too fast so that the relay setting needs to be done according to the standard so that no trip error occurs. By rearranging the results of the coordination system is already right. After that an evaluation of the incident arc on the bus with a voltage level of 6.6 KV. From the evaluation results showed a decrease in energy incidences of 0.34 - 1.46 cal / cm² on several buses.

Keywords :protection coordination, arc incident, energy incident

This Page is Left Blank

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul: **“Evaluasi Koordinasi Proteksi dengan Mempertimbangkan Arc Flash pada Sistem Kelistrikan PT Medco E&P Lematang”** Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir, terutama kepada :

1. Bapak dan Ibu serta adik yang selalu memberi dukungan dan doa
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara dan Ibu Vita Lystianingrum selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, serta perhatiannya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh kuliah.
4. Teman-teman di jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terutama rekan-rekan LJ-Power 2017 yang selalu memberikan sumbangan pemikiran serta semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh karyawan dan staf pegawai di Departemen Teknik Elektro – FTE ITS yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis bahwa buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro pada khususnya.

Surabaya, Desember 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan	1
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi dan Manfaat	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	4
2.1.1 Gangguan Beban Lebih	4
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat.....	5
2.2 Rele Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik	7
2.3 Rele Arus Lebih.....	7
2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika	8
2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	8
2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik	9
2.4 Setting Rele Arus Lebih.....	10
2.4.1 <i>Setting</i> Rele Arus Waktu Terbalik.....	10
2.4.2 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Seketika	11
2.5 Koordinasi Pengaman Rele Arus Lebih.....	11
2.6 Busur Api (<i>Arc Flash</i>)	11
2.7 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 - 2002	12
2.8 Jarak Aman Pelindung (<i>Arc Protection Boundary</i>)	14

2.9	Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api Terhadap <i>Personal Protective Equipment</i>	16
-----	--	----

BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT MEDCO E&P

LEMATANG	19
3.1 Sistem Kelistrikan PT Medco E&P Lematang.....	19
3.2 Kapasitas Pembangkitan	19
3.3 Sistem Distribusi PT Medco E&P Lematang.....	20

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI

PROTEKSI..... 29

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Medco Energi Singa Gas Field Lematang Block	29
4.2	Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi pada PT Medco Energi Singa Gas Field Lematang Block	29
4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	30
4.3.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	30
4.3.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	41
4.3.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	49
4.3.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4	56
4.3.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5	61
4.3.6	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 6	66
4.4	Koordinasi <i>Ground Fault Relay</i>	71
4.5	Perhitungan Insiden Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002 pada Sistem Eksisting	77
4.6	Simulasi Insiden Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002 pada Sistem Pengaturan Ulang	80
4.7	Perhitungan Insiden Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002 pada Sistem Pengaturan Ulang	81
4.8	Perbandingan Eksisting dan Pengaturan Ulang Insiden Energi Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 - 2002.....	85
4.9	Perhitungan Jarak Aman Pelindung (<i>Arc Protection Boundary</i>) Keadaan Pengaturan Ulang.....	86
4.10	Penentuan Peralatan Pelindung Diri	87

BAB V PENUTUP..... 91

5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran	91

DAFTAR PUSTAKA	93
RIWAYAT PENULIS.....	95
LAMPIRAN.....	97

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Flowchart</i> Metodologi	5
Gambar 2.1	Rangkaian Hubung Singkat 3 Fasa	8
Gambar 2.2	Rangkaian Hubung Singkat 2 Fasa	8
Gambar 2.3	Rangkaian Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah.....	9
Gambar 2.4	Rangkaian Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.....	9
Gambar 2.5	Kurva Periode Gangguan Hubung Singkat	10
Gambar 2.6	Blok Diagram Rele.....	11
Gambar 2.7	Blok Diagram Rele Arus Lebih.....	12
Gambar 2.8	(a) Karakteristik <i>Instantaneous Relay</i> ; (b) Karakteristik <i>Definite Relay</i> ; (c) Karakteristik <i>Inverse Relay</i>	13
Gambar 2.9	Karakteristik Arus Lebih Waktu Seketika	13
Gambar 2.10	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	13
Gambar 2.11	(a) Karakteristik Kurva Invers pada Standar ANSI; (b) Karakteristik Kurva Invers pada Standar IEC	14
Gambar 2.12	Rele Arus Lebih yang dipisahkan Trafo.....	16
Gambar 2.13	Skema Rele <i>Ground Fault</i>	17
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang.....	28
Gambar 4.1	Pemilihan Tipikal pada Sistem Kelistrikan PT Medco Energi Singa Gas di Blok Lematang	32
Gambar 4.2	Koordinasi Tipikal 1	33
Gambar 4.3	Plot Kurva TCC Tipikal 1 Kondisi <i>Existing</i>	35
Gambar 4.4	Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada Tipikal 1....	36
Gambar 4.5	Plot Kurva TCC Tipikal 1 Kondisi <i>Resetting</i>	43
Gambar 4.6	Koordinasi Tipikal 2	46
Gambar 4.7	Plot Kurva TCC Tipikal 2 Kondisi <i>Existing</i>	48
Gambar 4.8	Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada Tipikal 2....	49
Gambar 4.9	Plot Kurva TCC Tipikal 2 Kondisi <i>Resetting</i>	58
Gambar 4.10	Koordinasi Tipikal 3	62
Gambar 4.11	Plot Kurva TCC Tipikal 3 Kondisi <i>Existing</i>	63
Gambar 4.12	Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada Tipikal 3....	64
Gambar 4.13	Plot Kurva TCC Tipikal 3 Kondisi <i>Resetting</i>	70
Gambar 4.14	Koordinasi Tipikal 4	72
Gambar 4.15	Plot Kurva TCC Tipikal 4 Kondisi <i>Existing</i>	73
Gambar 4.16	Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada Tipikal 4....	74

Gambar 4.17	Plot Kurva TCC Tipikal 4 Kondisi <i>Resetting</i>	78
Gambar 4.18	Koordinasi Tipikal 5	80
Gambar 4.19	Plot Kurva TCC Tipikal 5 Kondisi <i>Existing</i>	81
Gambar 4.20	Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada Tipikal 5	82
Gambar 4.21	Plot Kurva TCC Tipikal 5 Kondisi <i>Resetting</i>	86
Gambar 4.22	Koordinasi Tipikal 6	88
Gambar 4.23	Plot Kurva TCC Tipikal 6 Kondisi <i>Existing</i>	89
Gambar 4.24	Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada Tipikal 6	90
Gambar 4.25	Plot Kurva TCC Tipikal 6 Kondisi <i>Resetting</i>	94
Gambar 4.26	Koordinasi <i>Ground Fault Relay</i> Tipikal 1.....	96
Gambar 4.27	Simulasi Gangguan Hubung Singkat pada Koordinasi GFR Tipikal 1	97
Gambar 4.28	Plot Kurva TCC GFR Tipikal 1 Kondisi <i>Existing</i>	98
Gambar 4.29	Plot Kurva TCC GFR Tipikal 1 Kondisi <i>Resetting</i> .	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Inverse <i>Time Dial</i>	15
Tabel 3.1	Data Kapasitas Pembangkit PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang	19
Tabel 3.2	Data Bus di PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang.....	20
Tabel 3.3	Data Transformator Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang.....	20
Tabel 3.4	Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang	21
Tabel 4.1	Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Minimum	30
Tabel 4.2	Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Maksimum	30
Tabel 4.3	Tabel Data <i>Existing</i> Koordinasi Rele Tipikal 1	34
Tabel 4.4	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada 35-NAP-681	36
Tabel 4.5	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada 41-MCC-02A.....	37
Tabel 4.6	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada B-P1TR01	37
Tabel 4.7	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada 35-NAP-681	44
Tabel 4.8	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada 41-MCC-02A.....	44
Tabel 4.9	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada B-P1TR01	44
Tabel 4.10	Tabel Data <i>Existing</i> Koordinasi Rele Tipikal 2	46
Tabel 4.11	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada 41-PDB-02.....	49
Tabel 4.12	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus 41-MCC-03-EMERGENCY	50
Tabel 4.13	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus 41-MCC-02B	51
Tabel 4.14	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus B-P1TR02.....	51
Tabel 4.15	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada 41-PDB-02.....	59

Tabel 4.16	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus 41-MCC-03-EMERGENCY.....	59
Tabel 4.17	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus 41-MCC-02B	60
Tabel 4.18	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus B-P1TR02.....	60
Tabel 4.19	Tabel Data <i>Existing</i> Koordinasi Rele Tipikal 3	62
Tabel 4.20	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus 10-PDB-01.....	64
Tabel 4.21	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus B-P110TR01 atau Sisi HV Trafo 10-TR-01	65
Tabel 4.22	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus 10-PDB-01.....	69
Tabel 4.23	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Bus B-P110TR01 atau Sisi HV Trafo 10-TR-01	70
Tabel 4.24	Tabel Data <i>Existing</i> Koordinasi Rele Tipikal 4	72
Tabel 4.25	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Motor 35-PBAM-331C.....	74
Tabel 4.26	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Motor 35-PBAM-331C.....	79
Tabel 4.27	Tabel Data <i>Existing</i> Koordinasi Rele Tipikal 5	80
Tabel 4.28	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Motor 35-PBAM-334A	82
Tabel 4.29	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Motor 35-PBAM-334A	87
Tabel 4.30	Tabel Data <i>Existing</i> Koordinasi Rele Tipikal 6	88
Tabel 4.31	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Motor 35-CBEM-325A	90
Tabel 4.32	Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Terjadi Gangguan 3 Fasa pada Motor 35-CBEM-325A	95

Tabel 4.33 Tabel Data <i>Existing</i> Koordinasi Rele GFR Tipikal 1.....	96
Tabel 4.34 Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Existing</i> Saat Tejadi Gangguan 1 Fasa ke Tanah pada Motor 35-PBAM-331B.....	99
Tabel 4.35 Urutan dan Waktu Operasi Rele Kondisi <i>Resetting</i> Saat Tejadi Gangguan 1 Fasa ke Tanah pada Motor 35-PBAM-331B.....	102

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan hubung singkat adalah salah satu gangguan yang dapat terjadi pada suatu sistem kelistrikan yang dapat menyebabkan suatu kerusakan yang besar jika tidak diamankan secara benar. Dalam mengamankan gangguan hubung singkat digunakan metode koordinasi proteksi. Relay disetting dan dikoordinasikan sesuai standart sehingga dapat bekerja mengamankan area yang terkena gangguan hubung singkat tanpa mematikan seluruh sistem.

Ketika terjadi gangguan hubung singkat arus yang besar menyebabkan terjadinya insiden busur api atau *arc flash*. Ketika terjadi *arc flash* yang besar, area sekitar akan menjadi berbahaya bagi lingkungan termasuk pekerja. Untuk mengurangi cedera yang diakibatkan oleh *arc flash* maka diperlukan alat pelindung diri yang tepat. Jenis alat pelindung diri ditentukan berdasarkan level bahaya yang ditimbulkan *arc flash*. *Arc flash* dikategorikan menurut nilai insiden energi dan *arching current*. Semakin tinggi nilai insiden energi semakin tinggi level bahaya yang timbul. Dengan mengetahui level bahaya yang ditimbulkan maka alat pelindung diri bagi pekerja dapat disesuaikan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan besar insiden energi *arc flash* yang ditimbulkan setelah dilakukan *setting* koordinasi proteksi menurut standart IEEE 1548-2002.
2. Menentukan alat pelindung diri dan jarak aman sesuai level bahaya menurut standart NFPA 70E-2015.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Memodelkan, mensimulasikan dan menganalisis sistem kelistrikan PT. Medco E&P Lapangan Singa di Blok Lematang.
2. Melakukan studi koordinasi proteksi rele arus lebih fasa (50/51) untuk memperoleh *setting interrupting device* sehingga dapat memilih dan mengisolasi hanya bagian sistem mengalami gangguan dan menjaga bagian yang lainnya tetap beroperasi.

3. Melakukan studi koordinasi proteksi rele pengaman gangguan ke tanah (50G/51G).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Koordinasi proteksi rele arus lebih fasa (50/51).
2. Koordinasi proteksi *ground fault relay* (50/51 G).
3. Bus yang dianalisa adalah bus pada level tegangan 6,6 KV.

1.5 Metodologi

Pada tugas akhir ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur untuk mempelajari konsep suatu sistem pengaman tenaga listrik bekerja. Juga dipelajari tentang parameter-parameter yang dibutuhkan untuk dapat merancang suatu sistem pengaman. Selain itu akan dicari standart-standart yang digunakan untuk menentukan level insiden energi *arc flash*

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dimana akan dicari parameter yang telah dipelajari pada tahap studi literatur

3. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem dilakukan untuk menampilkan sistem kelistrikan secara utuh sehingga mudah untuk dianalisa. Tampilan berupa *single line diagram* dengan parameter yang telah didapat saat pengumpulan data. Pemodelan dilakukan dengan *software* ETAP 12.6.

4. Analisa Data

Dari pemodelan yang telah dilakukan dapat dianalisa koordinasi proteksi dan besar insiden *arc flash* nya pada kondisi *existing*. Kemudian dilakukan *resetting* koordinasi proteksi dan *arc flash* sehingga didapat nilai yang sesuai standart.

5. Penarikan Kesimpulan

Setelah didapat hasil analisa sistem proteksi dan *arc flash* kemudian dapat ditarik kesimpulan sesuai hasil yang didapat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

- BAB 1 : PENDAHULUAN
Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi pengerjaan, dan sistematika penulisan.
- BAB 2 : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK DAN *ARC FLASH*
Bab ini secara garis besar menjelaskan mengenai teor-teori yang berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir ini seperti gangguan hubung singkat, koordinasi proteksi dan insiden energi *arc flash*
- BAB 3 : SISTEM KELISTRIKAN PT MEDCO E&P LEMATANG
Bab ini membahas sistem kelistrikan pada PT Medco E&P Lematang yang akan dianalisa
- BAB 4 : SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI DAN *ARC FLASH* PADA PT MEDCO E&P LEMATANG
Pada bab ini membahas mengenai perhitungan koordinasi rele dan *arc flash* baik pada kondisi *existing* maupun *resetting*.
- BAB 5 : PENUTUP
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil yang didapat pada pembahasan sebelumnya.

1.7 Relevansi dan Manfaat

Hasil yang didapat dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain :

1. Dapat digunakan sebagai acuan pada koordinasi proteksi rele arus lebih dan *arc flash* pada sistem kelistrikan PT Medco E&P Lematang.
2. Dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya tentang koordinasi proteksi dan *arc flash* pada sistem kelistrikan PT Medco E&P Lematang maupun sistem kelistrikan lain nya

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

Suatu sistem tenaga listrik membutuhkan suatu sistem proteksi terhadap gangguan-gangguan yang mungkin terjadi agar sistem tenaga listrik dapat bekerja dengan baik.

2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah suatu kejadian yang dapat menyebabkan suatu sistem tenaga listrik bekerja secara tidak normal. Gangguan dapat terjadi disebabkan oleh faktor internal maupun eksternal. Salah satu faktor internal diantaranya adalah menurunnya kondisi isolasi, tegangan surja dan lain sebagainya. Sedangkan faktor eksternal dapat diakibatkan oleh binatang yang masuk kedalam sistem dan merusak sistem dari dalam.

2.1.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih terjadi apabila arus yang mengalir pada sistem melebihi arus nominal. Bila arus beban lebih mengalir pada peralatan listrik seperti transformator, generator, motor, dan peralatan listrik lainnya akibatnya peralatan menjadi panas dan dapat merusak peralatan tersebut

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat

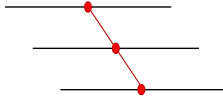
Gangguan hubung singkat adalah gangguan dimana semua sumber energi mengalir menuju titik hubung singkat dikarenakan adanya *short circuit* pada titik tertentu. Gangguan ini sangat berbahaya karna menyebabkan arus yang mengalir menjadi berkali lipat lebih besar. Bila gangguan hubung singkat tidak diamankan dengan tepat maka memungkinkan terjadi kerusakan yang fatal pada sistem tenaga listrik. gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua macam yaitu : gangguan hubung singkat simetri dan asimetri.

1. Gangguan hubung singkat simetri

- a. Hubung singkat 3 fasa (L-L-L)

Rangkaian gangguan hubung singkat 3 fasa ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Rumus : $I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1}$ (2.1)

Keterangan :

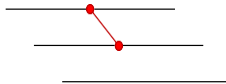
V_{LN} : tegangan *line to netral*

X_1 : reaktansi urutan positif

2. Gangguan hubung singkat asimetri

a. Hubung singkat 2 fasa (L-L)

Rangkaian gangguan hubung singkat 2 fasa terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubung Singkat 2 Fasa

Rumus : $I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times X_1} = 0,866 I_{sc\ 3\phi}$ (2.2)

Keterangan :

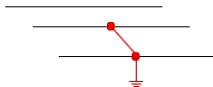
V_{LL} : tegangan *line to line*

X_1 : reaktansi urutan positif

X_2 : reaktansi urutan negatif

b. Hubung singkat 2 fasa ke tanah (2L-G)

Rangkaian gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Rumus : $I_{sc\ 2\phi\ ke\ tanah} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2 + X_0 / X_2 + X_0}$ (2.3)

Keterangan :

V_{LL} : tegangan *line to line*

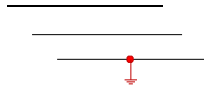
X_0 : reaktansi urutan nol

X_1 : reaktansi urutan positif

X_2 : reaktansi urutan negatif

c. Hubung singkat 1 fasa ke tanah (1L-G)

Rangkaian hubung singkat 1 fasa ke tanah terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

(2.4)

$$\text{Rumus : } I_{sc} \text{ ke tanah} = \frac{3V_{LL}}{X_1 + X_2 + X_0}$$

Keterangan :

V_{LL} : tegangan *line to line*

X_0 : reaktansi urutan nol

X_1 : reaktansi urutan positif

X_2 : reaktansi urutan negatif

2.2 Rele Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik

Rele adalah peralatan untuk memerintah kepada pemutus (CB) kapan harus bekerja. Rele menerima informasi gangguan kemudian mengolah informasi tersebut dan memberi sinyal kepada pemutus untuk memutus aliran listrik pada saat tertentu. Gambar 2.5 menunjukkan konsep kerja dari rele.



Gambar 2.5 Blok Diagram Rele

2.3 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih berfungsi untuk mengamankan sistem dari gangguan arus lebih. Pada dasarnya rele arus lebih bekerja berdasarkan arus yang disensing dari saluran. jika rele menerima arus yang tidak wajar maka rele akan merespon dengan memberikan sinyal kepada pemutus

untuk bekerja. Rele arus lebih akan bekerja apabila dalam keadaan sebagai berikut [1]:

- Jika $I_f > I_p$ rele bekerja (*trip*)
- Jika $I_f < I_p$ rele tidak bekerja (blok)

I_f : Besarnya arus gangguan

I_p : Arus minimum yang mengalir pada saat rele beroperasi

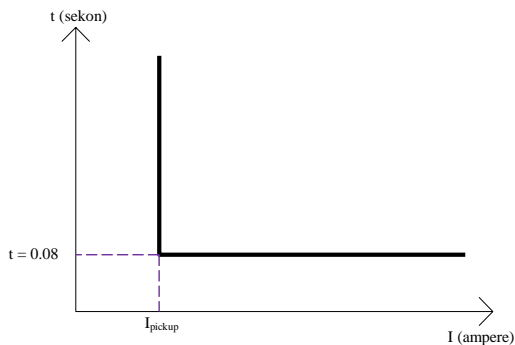
Berdasarkan karakteristik waktunya rele arus lebih terdiri dari 3

jenis yaitu [2]:

1. *Instantaneous Relay*.
2. *Definite Relay*.
3. *Inverse Relay*.

2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika

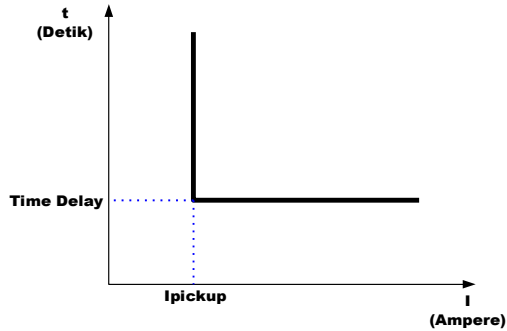
Instantaneous Relay akan seketika memutuskan jika mendeteksi arus yang melebihi nilai tertentu. Waktu rele memutuskan saluran tidak dapat diubah dan biasanya tetap pada nilai 0.8s. cara kerja dari rele arus waktu seketika dapat ditunjukkan dari kurva berikut ini.



Gambar 2.6 Karakteristik Arus Lebih Waktu Seketika

2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

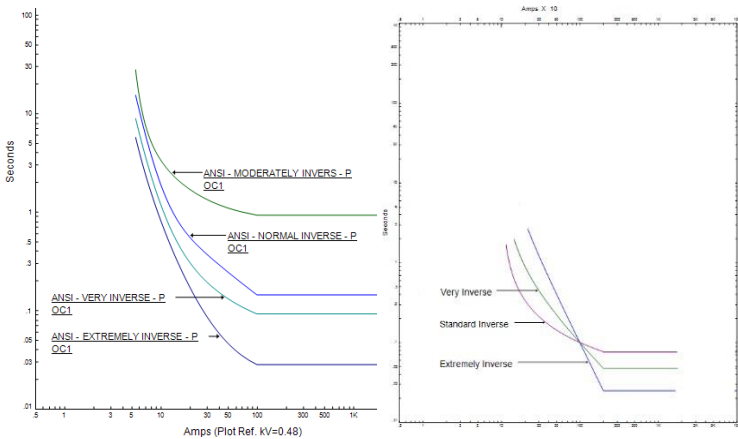
Definite Relay bekerja bila terdapat arus yang melebihi nilai tertentu dan akan bekerja pada waktu tertentu. Berbeda dengan *instantaneous relay* yang memiliki waktu *trip* yang tidak dapat diubah, *definite relay* dapat diatur waktu *trip* nya sesuai kebutuhan. Waktu *trip* rele ini tetap berapapun besar nilai arus gangguannya. Cara kerja dari rele arus lebih waktu tertentu dapat ditunjukkan dari kurva berikut ini.



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

Berbeda dengan rele waktu seketika dan waktu tertentu, rele waktu terbalik bekerja secara terbalik dengan besar arus gangguan yang ada. Jika arus gangguan kecil maka waktu putus rele akan semakin lama namun jika arus yang diterima besar maka waktu putus rele akan semakin cepat. dijelaskan dalam standar IEC 60255-3, BS 142, dan IEEE std 242-2001. Standar-standar ini menjelaskan karakteristik kurva yang dibedakan oleh gradien masing-masing, yaitu *standard inverse*, *very inverse*, *moderately inverse* dan *extremely inverse* [2]. Adapun karakteristik dapat dilihat pada



Gambar 2.8 (a) dan Gambar 2.8(b).

Gambar 2.8 (a) Karakteristik Kurva Invers pada Standar ANSI; **(b)** Karakteristik Kurva Invers pada Standar IEC

2.4 Setting Rele Arus Lebih

Dalam men-setting rele pengaman dibutuhkan dua parameter utama yaitu besar arus dan lama waktu putus. Untuk mensetting rele waktu seketika dilakukan dengan menentukan besar arus minimal gangguan. Untuk mensetting rele waktu tertentu dilakukan dengan menentukan besar arus pick up, time delay dan arus hubung singkat minimum. Untuk mensetting rele waktu terbalik dilakukan dengan menentukan arus pick up, time dial, dan time delay.

2.4.1 Setting Rele Arus Waktu Terbalik

Apabila arus gangguan melebihi arus setting operasi minimum (Ipick-up) maka rele arus lebih bekerja. Besarnya arus pickup ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun besarnya *tap* yang digunakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{Iset}{CT\ primary} \quad (2.5)$$

Berdasarkan pada standar BS 142 batas nilai *setting* adalah :
 $1,05\ FLA < Iset < 1,3\ FLA$ (2.6)

Rele arus terbalik memiliki waktu kerja yang terbalik terhadap arus gangguan dimana semakin besar arus gangguan semakin cepat waktu kerjanya. Untuk menentukan waktu kerja dari rele arus terbalik menggunakan persamaan 2.7. Terdapat beberapa jenis kurva dari rele arus terbalik berdasarkan gradient nya, dapat dilihat pada table 2.1.

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{Iset} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.7)$$

Dimana :

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- $Iset$ = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien invers
- α = koefisien invers
- β = koefisien invers

Tabel 2.1 Koefisien Inverse *Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

2.4.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Setting rele arus lebih waktu seketika mempunyai batasan untuk menentukan arus minimal rele mulai bekerja untuk memutus saluran yaitu dengan mempertimbangkan arus hubung singkat minimum sebagai berikut.

$$1,6 \cdot FLA \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min} \quad (2.8)$$

Arus hubung singkat minimum atau $I_{sc \min}$ terjadi saat adanya hubung singkat dua fasa pada 30 *cycle* yang melewati rele. Nilai 0,8 merupakan nilai faktor keamanan apabila terjadi gangguan yang mana nilai arus hubung singkatnya lebih kecil dari nilai arus hubung singkat minimum.

2.5 Koordinasi Pengaman Rele Arus Lebih

Koordinasi antar rele sangat penting dilakukan agar saat terjadi gangguan rele satu dengan rele yang lain tidak saling tumpang tindih. Rele harus dikoordinasikan dengan benar agar dapat bekerja sesuai gangguan yang ada. Koordinasi rele juga berfungsi saat suatu rele gagal bekerja maka ada rele back up di atasnya sehingga gangguan tetap dapat diamankan. Dalam standar IEEE 242 perbedaan waktu kerja rele utama dengan rele back-up adalah 0,2-0,4 detik [1]. Perbedaan waktu ini untuk memastikan bahwa gangguan disisi *downstream* dapat teratasi, sehingga tidak adanya rele yang bekerja secara bersamaan [9].

2.6 Busur Api (*Arcflash*)

Luka bakar yang diakibatkan busur listrik sebagian besar karena adanya kegagalan fungsi listrik [4]. Busur api sendiri bisa didefinisikan sebagai pelepasan energi sesaat yang disebabkan adanya *arcing fault* diantara bus bar satu dan bus lainnya. Disaat terjadinya *arcing fault* udara bersifat konduktor. Besarnya arus *arcing fault* biasanya lebih rendah daripada arus *bolted fault*, dan dibawah rating spesifikasi CB yang

digunakan. *Arcing fault* 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 [4]. Ketika *Arcflash* berlangsung energi yang dihasilkan sangat besar. Busur api menyebabkan suhu udara bisa mencapai hingga 35.000 derajat Fahrenheit, yang dimana lebih panas dari permukaan matahari [5]. *Arcflash* 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.

2.7 Perhitungan Energi Busur Api Menggunakan Standart IEEE 1584 – 2002 [4]

Untuk mencari nilai energi busur api, yang harus dilakukan yaitu mencari nilai arus *arcing fault* terlebih dahulu. Untuk perhitungan *arcing fault* dibagi menjadi 2. Bagian pertama untuk level tegangan kurang dari 1kV dan yang kedua untuk level tegangan 1kV-15kV.

Arus *arcing fault* untuk level tegangan <1kV dapat dilihat pada persamaan (2.9).

$$I_g I_a = K + 0.662 I_g I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V (I_g I_{bf}) - 0.00304 G (I_g I_{bf}) \quad (2.9)$$

Arus *arcing fault* untuk level tegangan $\leq 1kV$ dapat dilihat pada persamaan (2.10).

$$I_g I_a = 0.00402 + 0.983 I_g I_{bf} \quad (2.10)$$

Persamaan dari I_a adalah :

$$I_a = 10^{I_g I_a} \quad (2.11)$$

Keterangan :

I_g = Log_{10}

I_a = Arus *arcing* (kA)

K = Konstanta untuk konfigurasi terbuka = -0.153 dan konstanta untuk konfigurasi box = -0.097

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

V = Tegangan sistem (kV)

G = Jarak celah antar konduktor (mm)

Untuk menghitung besarnya insiden energi dibutuhkan parameter pendukung yang bisa dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Factor for equipment and voltage classes^a [4]

Level Tegangan (kV)	Jenis Peralatan	Gap antar konduktor (mm)	Jarak factor x (mm)
0.208-1	<i>Open air</i>	10-40	2.000
	<i>Switchgear</i>	32	1.473
	<i>MCC and panels</i>	25	1.641
	<i>Cable</i>	13	2.000
>1-5	<i>Open air</i>	102	2.000
	<i>Switchgear</i>	13-102	0.973
	<i>Cable</i>	13	2.000
>5-15	<i>Open air</i>	13-153	2.000
	<i>Switchgear</i>	153	0.973
	<i>Cable</i>	13	2.000

^ajarak factor x ini digunakan pada perhitungan insiden *energy*

Setelah mendapatkan nilai arus *arcing*, bisa menghitung nilai insiden energi *at working distance*. Dalam perhitungan besar energi normal, menggunakan referensi waktu arcing dengan durasi 0.2 detik dan jarak *arc point* ke manusia sebesar 610 mm. Formula insiden energi bisa dilihat pada persamaan (2.12).

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011 G \quad (2.12)$$

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 bisa dilihat pada tabel 2.3.

Besar energi, bisa digunakan persamaan berikut :

$$E_n = 10^{\lg E_n} \quad (2.13)$$

Untuk menghitung besar nya insiden energy bisa menggunakan persamaan 2.14

$$E = 4.182 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (2.14)$$

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 bisa dilihat pada tabel *Factor for equipment and voltage classes*
- D = Jarak, mm bisa dilihat pada tabel *Working distance*

2.8 Jarak Aman Pelindung (*Flash Protection Boundary*)

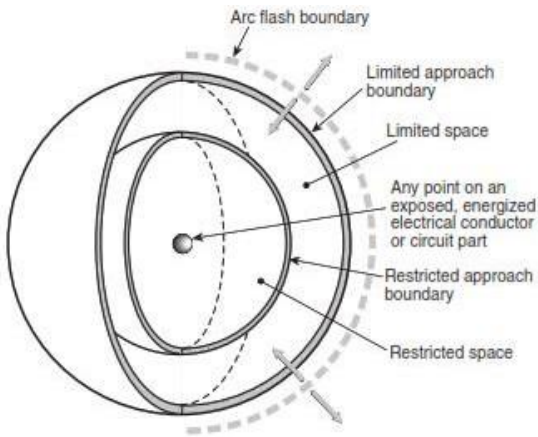
Flash protection Boundaries atau jarak aman pelindung merupakan batasan yang digunakan jika personel pada area menerima luka bakar tingkat dua yang diakibatkan busur api. Standar yang digunakan yaitu NFPA 70E-2015. Jarak aman proteksi ini bisa diibaratkan terdapat bola yang mempunyai beberapa lapisan, dimana lapisan paling dalam merupakan zona yang sangat berbahaya. Dalam hal ini apabila terdapat seorang teknisi yang berada pada area tersebut bisa berimbas kecelakaan luka bakar tingkat dua. Dalam beberapa kasus lain jarak aman pelindung ini bisa didefinisikan sebagai busur api yang sedang berlangsung ini berdasarkan energi yang timbul pada permukaan terhadap jarak tertentu. Berikut merupakan lapisan *flash boundary protection* yang bisa dilihat pada gambar 2.9.

Penjelasan lapisan *flash protection boundaries* :

- *Limited Approach Boundary* : batas pendekatan pada jarak bagian bertegangan dimana adanya bahaya sengatan listrik.
- *Restricted approach boundary* : batas pendekatan pada jarak dari bagian bertegangan dimana adanya peningkatan resiko *shock* yang diakibatkan busur listrik dari gerakan yang tidak disengaja oleh *engineer* yang berada pada area tersebut.
- *Prohibited Approach Boundary*

Batas perlindungan jarak dari bagian konduktor aktif dimana *Engineer* dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif pada area.

- *Flash Protection Boundary* Batas perlindungan, dimana besar insiden energy sama dengan 1.2 cal/cm^2 . pada area ini sangat berbahaya bagi *engineer* karena dapat menyebabkan luka paling parah ketika arcflash sedang berlangsung.



Gambar 2. 5 *Limits of Approach*

Perhitungan Flash protection boundaries bisa menggunakan persamaan (2.15) :

$$D_B = [4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)^{\frac{1}{2}}] \quad (2.15)$$

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/cm^2 pada jarak arcflash boundary
- t = waktu (detik)
- x = Jarak eksponen
- I_{bf} = *Bolted fault current* (kA)

Arcflash boundary adalah jarak dimana orang tersebut menerima luka bakar *second degree*. Yang bisa diartikan ketika kulit manusia menerima 5.0 J/cm² dari insiden energi.

Pengaman busur api selalu didasari dari level 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 *typical working distance* yang bisa dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2. 2 Typical Working Distance [4]

Classes of equipment	Typical working distance ^a (mm)
15kV <i>Switchgear</i>	910
5 kV <i>Switchgear</i>	910
Low-Voltage <i>Switchgear</i>	610
<i>Low voltages MCCs and panelboards</i>	455
<i>Cable</i>	455

**Typical working distance* adalah kondisi diantara pekerja berdiri di depan peralatan, yang berpotensi menghasilkan busur api.

Pada *level* tegangan 15kV, jarak antar konduktor diluar batasan dari model, sehingga untuk menentukan insiden energi bisa menggunakan metode lee seperti pada persamaan 2.16

$$D_B = \sqrt{\frac{t}{2.142 \times 10 \times V \times I_{bf}(\frac{1}{D^2})}} \quad (2.16)$$

Keterangan :

- E = Insiden energi dalam J/cm²
- t = waktu arcing(detik)
- x = Jarak kerja
- V = Tegangan sistem (kV)
- Ig I_{bf} = *Bolted fault current* (kA)
- D = Jarak kerja (mm)

2.9 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api terhadap *Personal Protective Equipment*

Perhitungan energi busur api pada setiap bus dilakukan terlebih dahulu untuk mengelompokkan PPE (*Personal Protective Equipment*).

Perlengkapan keselamatan ini wajib digunakan oleh semua *engineer* yang berada dilapangan untuk mencegah hal yang tidak diinginkan yang berimbas pada produksi industri maupun keselamatan diri sendiri. Standart yang digunakan yaitu NFPA 70E-2015, sebagai acuan dasar insiden *energy* 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 bisa dilihat pada Tabel 2.4 [10] :

Tabel 2. 4 *Personal Protective Equipment NFPA 70E-2015*

Kategori Resiko Bahaya	Minimum Arc Rating of (Cal/cm ²)	<i>Arc-Rated Clothing and Protective Equipment</i>
1	4	Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		Pelindung Wajah
		<i>Arc-rated Jacket</i>
		<i>Hard Hat</i>
		<i>Safety Glasses</i>
		<i>Hearing Protection</i>
		<i>Heavy Duty Leather Glove</i>
		<i>Leather Footwear</i>
2	8	Kemeja Lengan Panjang
		Celana Panjang
		<i>Arc-rated flash suit hood</i>
		<i>Arc-rated Jacket</i>
		<i>Hard Hat</i>
		<i>Safety Glasses</i>
		<i>Hearing Protection</i>
		<i>Heavy Duty Leather Glove</i>
		<i>Leather Footwear</i>
3	25	<i>Arc-rated Long-sleeve</i>
		<i>Arc-rated coverall</i>
		<i>Arc-rated flash suit hood</i>
		<i>Arc-rated Jacket</i>
		<i>Arc-rated Gloves</i>
		<i>Hard Hat</i>
		<i>Safety Glasses</i>
<i>Hearing Protection</i>		

		<i>Heavy Duty Leather Glove</i>
		<i>Leather Footwear</i>
4	40	<i>Arc-rated Long-sleeve</i>
		<i>Arc-rated coverall</i>
		<i>Arc-rated flash suit hood</i>
		<i>Arc-rated Jacket</i>
		<i>Arc-rated Gloves</i>
		<i>Hard Hat</i>
		<i>Safety Glasses</i>
		<i>Hearing Protection</i>
		<i>Heavy Duty Leather Glove</i>
		<i>Leather Footwear</i>

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN PT MEDCO E&P LEMATANG

3.1 Sistem Kelistrikan PT Medco E&P Lematang

PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang merupakan perusahaan yang memproduksi 50 MMSCFD gas per hari. Sistem kelistrikan PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang memiliki empat unit generator dengan tiga unit generator utama dengan kapasitas 3 x 3,6 MW dan satu unit generator *emergency* dengan kapasitas 1 x 1 MW. Saat kondisi operasi normal untuk memenuhi suplai daya ke beban-bebannya, PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang disuplai oleh dua unit generator dengan kapasitas 2 x 3,6 MW dan satu unit generator dalam keadaan *standby*.

Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem radial dengan dua level tegangan yaitu 6,6 kV dan 0,4 kV. Pada rating tegangan rendah 0,4 kV digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke beban dengan kapasitas kecil. Pada rating tegangan menengah 6,6 kV digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke beban dengan kapasitas besar. Untuk lebih jelas dapat melihat Gambar 3.1 merupakan *Single Line Diagram* PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang.

3.2 Kapasitas Pembangkitan

PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang memiliki 4 unit generator yang terdiri dari 3 unit generator utama dan 1 unit generator *emergency*. Data spesifikasi pembangkit dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID	kV	MVA	MW	pf	% eff
1	41-ZAN-557A	6.6	4.5	3.6	0,8	95
2	41-ZAN-557B	6.6	4.5	3.6	0,8	95
3	41-ZAN-557C	6.6	4.5	3.6	0,8	95
4	41-ZAN-558	0.4	1.25	1	0,8	95

3.3 Sistem Distribusi PT Medco E&P Lematang

Sistem distribusi tenaga listrik yang digunakan oleh PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang adalah sistem distribusi radial. Daya dari generator 41-ZAN-557B dan 41-ZAN-557C disalurkan ke bus 41-MCC-01A dan 41-MCC-01B dengan level tegangan 6,6 kV, kemudian daya disalurkan ke bus 41-MCC-02A, 41-MCC-02B, 41-MCC-03-EMERGENCY, dan 10-PDB-01 dengan tegangan yang telah diturunkan pada level tegangan 0,4 kV. Data bus PT. Medco E&P Lematang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Bus di PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID	Tegangan (kV)	Phasa	Frekuensi (Hz)	Continuuous (A)	Asym m.rms (kA)
1	41-MCC-01A	6.6	3	50	1250	25
2	41-MCC-01B	6.6	3	50	1250	25
3	41-MCC-02A	0.4	3	50	4000	65
4	41-MCC-02B	0.4	3	50	4000	65
5	41-MCC-03-EMERGENCY	0.4	3	50	2500	65
6	10-PDB-01	0.4	3	50	630	15

PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang, memiliki tiga trafo yang berfungsi sama yaitu untuk mengubah tegangan pada level tegangan 6,6 kV ke level tegangan 0,4 kV. Data trafo dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Trafo Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID	Kapasitas (kVA)	Tegangan (kV)	% Z	Hubungan	Type
1	41-TR-01A	2500	6,6/0,4	7	Delta-Wye	ONAN
2	41-TR-01B	2500	6,6/0,4	7	Delta-Wye	ONAN
3	10-TR-01	350	6,6/0,4	4	Delta-Wye	ONAN

PT. Medco E&P lapangan singa gas di Blok Lematang memiliki sejumlah beban yang merupakan beban motor dan beban static. Dimana

pada saat kondisi operasi normal jumlah beban sebesar 5,601 MW dan 3,387 MVAR. Tabel 3.4 menjabarkan data beban yang terdapat pada sistem.

Tabel 3.4 Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Daya (kW)	PF (%)	RPM	Kondisi
41-MCC-01A/B (6,6 kV)						
1	35-PBAM-331A	Motor	1119	87,8	3000	<i>Standby</i>
2	35-PBAM-331B	Motor	1119	87,8	3000	<i>Continuous</i>
3	35-PBAM-331C	Motor	1119	87,8	3000	<i>Continuous</i>
4	35-PBAM-334A	Motor	335,70	88,9	1500	<i>Continuous</i>
5	35-PBAM-334B	Motor	335,70	88,9	1500	<i>Standby</i>
6	35-PBAM-325A	Motor	186,50	80	1000	<i>Continuous</i>
7	35-PBAM-325B	Motor	186,50	80	1000	<i>Standby</i>
8	10-PDB-01	<i>Static</i>	280	80	-	<i>Continuous</i>
41-MCC-02A/B (0,4 kV)						
1	WO-01	<i>Static</i>	17,5	80	-	<i>Intermittent</i>
2	WO-02	<i>Static</i>	17,5	80	-	<i>Intermittent</i>

Lanjutan Tabel 3.4 Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Daya (kW)	PF (%)	RPM	Kondisi
3	31-HALM-201AA	Motor	37	84	1500	<i>Continuous</i>
4	31-HALM-201AB	Motor	37	84	1500	<i>Continuous</i>
5	31-HALM-201BCA	Motor	30	84	1500	<i>Continuous</i>
6	31-HALM-201BCB	Motor	30	84	1500	<i>Continuous</i>
7	34-PBAM-342A	Motor	1,5	83,1	1500	<i>Intermittent</i>
8	34-PBAM-342B	Motor	1,5	83,1	1500	<i>Standby</i>
9	35-HALM-203A	Motor	18,5	88	1500	<i>Continuous</i>
10	35-HALM-203B	Motor	18,5	88	1500	<i>Continuous</i>
11	35-PBAM-333A	Motor	30	86	1500	<i>Continuous</i>
12	35-PBAM-333B	Motor	30	86	1500	<i>Standby</i>

13	35- PBAM- 332A	Motor	7,5	90,5	1500	<i>Continuous</i>
----	----------------------	-------	-----	------	------	-------------------

Lanjutan Tabel 3.4 Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Daya (kW)	PF (%)	RPM	Kondisi
14	35- PBAM- 332B	Motor	7,5	90,5	1500	<i>Standby</i>
15	35- PBAM- 337A	Motor	75	90	1500	<i>Continuous</i>
16	35- PBAM- 337B	Motor	75	90	1500	<i>Standby</i>
17	35- HALM- 202AA	Motor	11	84	1500	<i>Continuous</i>
18	35- HALM- 202AB	Motor	11	84	1500	<i>Continuous</i>
19	35- HALM- 202BA	Motor	11	84	1500	<i>Continuous</i>
20	35- HALM- 202BB	Motor	11	84	1500	<i>Continuous</i>
21	35- PBAM- 335A	Motor	11	88	1500	<i>Continuous</i>
22	35- PBAM- 335B	Motor	11	88	1500	<i>Standby</i>
23	35-PBEM- 350	Motor	0,75	77	1500	<i>Intermittent</i>

24	35-ZBEM-511	Motor	0,25	62	1500	<i>Intermittent</i>
25	35-HALM-210A	Motor	5,5	81	1500	<i>Continuous</i>

Lanjutan Tabel 3.4 Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Daya (kW)	PF (%)	RPM	Kondisi
26	35-HALM-210B	Motor	5,5	81	1500	<i>Continuous</i>
27	35-PBHM-336	Motor	5,5	81	1500	<i>Intermittent</i>
28	36-PBHM-339	Motor	1,1	77	1500	<i>Intermittent</i>
29	36-ZZZ-501-CP-501	<i>Static</i>	40	85,7	-	<i>Continuous</i>
30	37-CBEM-326	Motor	75	87	1500	<i>Continuous</i>
31	41-PBEM-351A	Motor	30	86	1500	<i>Continuous</i>
32	41-PBEM-351B	Motor	30	86	1500	<i>Standby</i>
33	41-PBEM-352	Motor	5,5	81	1500	<i>Intermittent</i>
34	41-PBEM-364A	Motor	11	89	1500	<i>Continuous</i>
35	41-PBEM-364B	Motor	11	89	1500	<i>Standby</i>
36	41-PBEM-368	Motor	15	88	1500	<i>Continuous</i>
37	41-PBEM-369B	Motor	150	91	1500	<i>Continuous</i>

38	41-PBEM-369C	Motor	150	91	1500	<i>Standby</i>
39	41-PBEM-376	Motor	5,5	81	1500	<i>Continuous</i>

Lanjutan Tabel 3.4 Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Daya (kW)	PF (%)	RPM	Kondisi
40	41-CBEM-322	Motor	4	84	1500	<i>Continuous</i>
41	41-PBEM-375	Motor	5,5	89	1500	<i>Continuous</i>
42	35-NAP-681	<i>Static</i>	610	85,7	-	<i>Continuous</i>
41-MCC-03 (0,4 kV)						
1	10-HVAC-01	<i>Static</i>	60	80	-	<i>Intermittent</i>
2	41-BC-01A	<i>Static</i>	10	80	-	<i>Continuous</i>
3	10-UPS-01A/B	<i>Static</i>	36	80	-	<i>Continuous</i>
4	10-UPS-01C	<i>Static</i>	36	80	-	<i>Standby</i>
5	41-PDB-02	<i>Static</i>	400	80	-	<i>Continuous</i>
6	41-HVAC-01	<i>Static</i>	80	80	-	<i>Continuous</i>
7	41-BC-01B	<i>Static</i>	10	80	-	<i>Standby</i>
8	30-CPTR-01	<i>Static</i>	5	80	-	<i>Continuous</i>
9	30-CPTR-02	<i>Static</i>	0,4	80	-	<i>Continuous</i>
10	41-CPTR-01	<i>Static</i>	0,4	80	-	<i>Continuous</i>

11	35-PZZM-345A	Motor	0,75	77	1500	<i>Intermittent</i>
12	35-PZZM-345B	Motor	0,75	77	1500	<i>Intermittent</i>

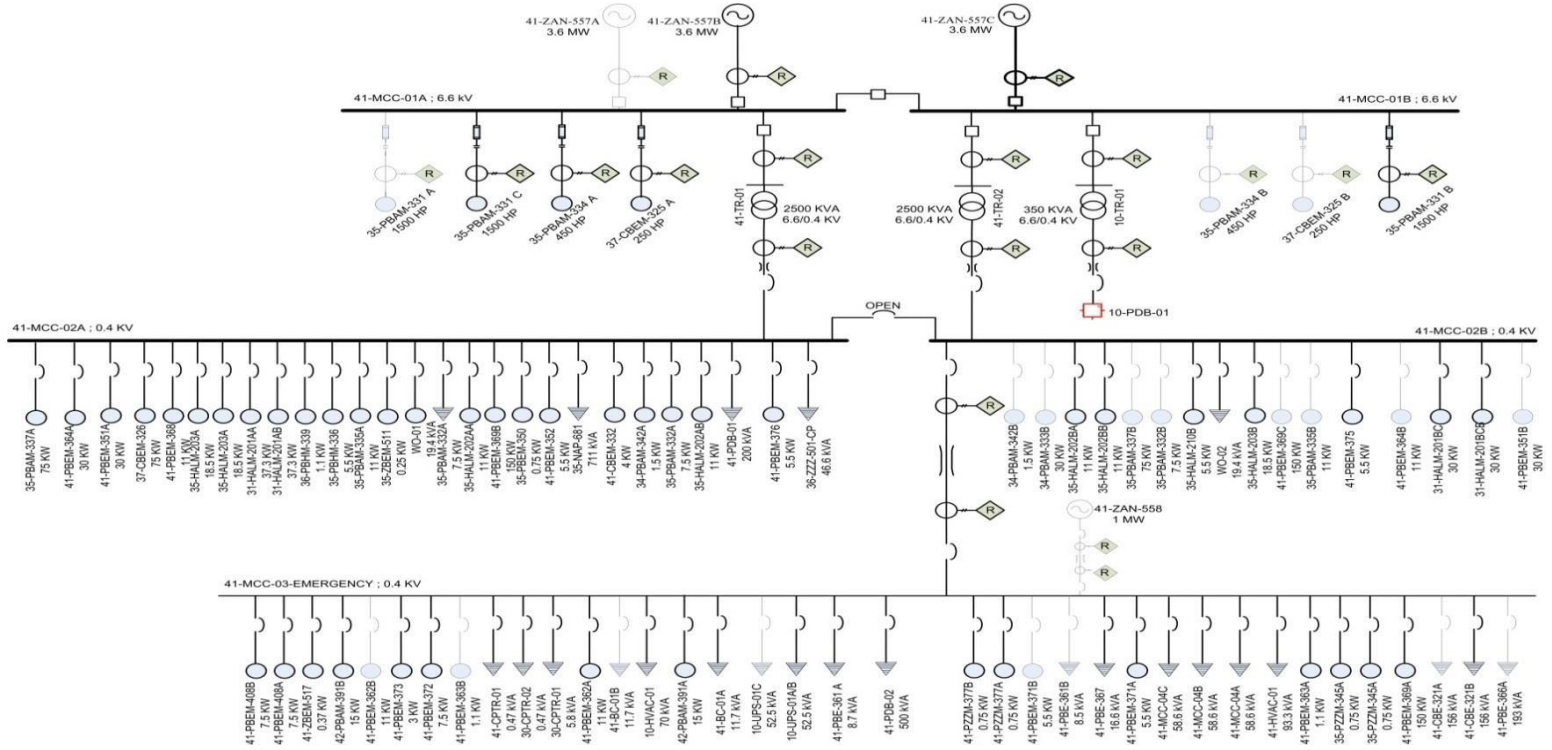
Lanjutan Tabel 3.4 Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Daya (kW)	PF (%)	RPM	Kondisi
13	41-PBE-366A-CP-501	<i>Static</i>	155	90	-	<i>Standby</i>
14	41-PBE-367-CP-501	<i>Static</i>	15	88	-	<i>Intermittent</i>
15	41-PBE-361A-CP-501	<i>Static</i>	7,5	84	-	<i>Intermittent</i>
16	41-PBE-361B-CP-501	<i>Static</i>	7,5	84	-	<i>Standby</i>
17	41-PBEM-362A	Motor	11	89	1500	<i>Intermittent</i>
18	41-PBEM-362B	Motor	11	89	1500	<i>Standby</i>
19	41-PBEM-363A	Motor	1,1	77	1500	<i>Continuous</i>
20	41-PBEM-363B	Motor	1,1	77	1500	<i>Standby</i>
21	41-PBEM-369A	Motor	150	91	1500	<i>Continuous</i>
22	41-PBEM-371A	Motor	5,5	85	1500	<i>Intermittent</i>
23	41-PBEM-371B	Motor	5,5	85	1500	<i>Standby</i>
24	41-PBEM-372	Motor	7,5	90	1500	<i>Intermittent</i>

25	41-PBEM-373	Motor	3	83	1500	<i>Intermittent</i>
26	41-PZZM-377A	Motor	0,75	77	1500	<i>Intermittent</i>

Lanjutan Tabel 3.4 Data Beban Sistem Distribusi PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

No	ID Peralatan	Jenis Peralatan	Rating Daya (kW)	PF (%)	RPM	Kondisi
27	41-PZZM-377B	Motor	0,75	77	1500	<i>Intermittent</i>
28	42-PBAM-391A	Motor	15	90	1500	<i>Intermittent</i>
29	42-PBAM-391B	Motor	15	90	1500	<i>Intermittent</i>
30	41-ZBEM-517	Motor	0,37	62	1500	<i>Continuous</i>
31	41-PBEM-408A	Motor	7,5	84	1500	<i>Continuous</i>
32	41-PBEM-408B	Motor	7,5	84	1500	<i>Standby</i>
33	41-CBE-321A-CP-501	Motor	143,2	80	1500	<i>Standby</i>
34	41-CBE-321B-CP-501	Motor	143,2	80	1500	<i>Intermittent</i>
35	41-MCC-04A	<i>Static</i>	58,6	85,7	-	<i>Continuous</i>
36	41-MCC-04B	<i>Static</i>	58,6	85,7	-	<i>Continuous</i>
37	41-MCC-04C	<i>Static</i>	58,6	85,8	-	<i>Continuous</i>



Gambar 3.1 Single Line Diagram of PT. Medco E&P Lapangan Singa Gas di Blok Lematang

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Medco Energi Singa Gas Field Lematang Block

Sebelum melakukan koordinasi proteksi, sistem kelistrikan PT Medco Energi Singa Gas Field Lematang Block terlebih dahulu dimodelkan agar mudah untuk dianalisa. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6. *Single line diagram* dimodelkan kemudian dimasukkan data-data berupa data generator dan data-data beban seperti motor, kabel, transformator, dan motor.

Selanjutnya dilakukan analisa aliran daya untuk memastikan sistem kelistrikan pada PT Medco Energi Singa Gas Field Lematang Block dalam keadaan baik. Selanjutnya dilakukan analisa hubung singkat dimana data hubung singkat ini digunakan untuk mendesain suatu koordinasi proteksi. Setelah dilakukan koordinasi secara baik maka dilakukan analisa mengenai *arc-flash* pada bus-bus yang ada.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi pada PT Medco Energi Singa Gas Field Lematang Block

Setelah dilakukan analisa hubung singkat kemudian dipilih tipikal yang akan disetting koordinasi proteksinya. Pemilihan tipikal berfungsi untuk mempermudah perhitungan karna fungsinya yang dapat mewakili sistem keseluruhan sehingga tidak perlu untuk menganalisa semua sistem satu persatu. Pemilihan tipikal dapat dilihat pada Gambar 4.1. Terdapat 7 tipikal pada sistem kelistrikan PT Medco Energi Singa Gas Field Lematang Block adalah sebagai berikut :

- 1) Tipikal 1: Pada bus 41-MCC-03-EMERGENCY terdapat beban motor dan beban *static* dengan kapasitas yang berbeda-beda. Beban kapasitas terbesar adalah beban *static* ID 41-PDB-02 dengan kapasitas 500 kVA seperti terlihat pada Gambar 4.1. Pada tipikal 1 melakukan koordinasi rele arus lebih fasa dari beban *static* dengan ID 41-PDB-02 hingga generator dengan ID 41-ZAN-557C
- 2) Tipikal 2 : Pada bus 41-MCC-02A terdapat beban motor dan beban *static* yang berkapasitas berbeda-beda. Beban kapasitas terbesar adalah beban *static* ID 35-NAP-681 dengan kapasitas

711 kVA seperti terlihat pada Gambar 4.1. Pada tipikal 2 melakukan koordinasi rele arus lebih fasa dari beban *static* dengan ID 35-NAP-681 hingga generator dengan ID 41-ZAN-557B.

3) Tipikal 3 : Pada tipikal 3 men-*setting* koordinasi rele pengaman arus lebih fasa dari 10-PDB-01 hingga generator dengan ID 41-ZAN-557C Gambar 4.1.

4) Tipikal 4 : Pada tipikal 4 men-*setting* koordinasi rele pengaman arus lebih fasa dari beban motor dengan ID 35-PBAM-331C hingga generator dengan ID 41-ZAN-557B.

5) Tipikal 5 : Pada tipikal 5 men-*setting* koordinasi rele pengaman arus lebih fasa dari beban motor dengan ID 35-PBAM-334A hingga generator dengan ID 41-ZAN-557B.

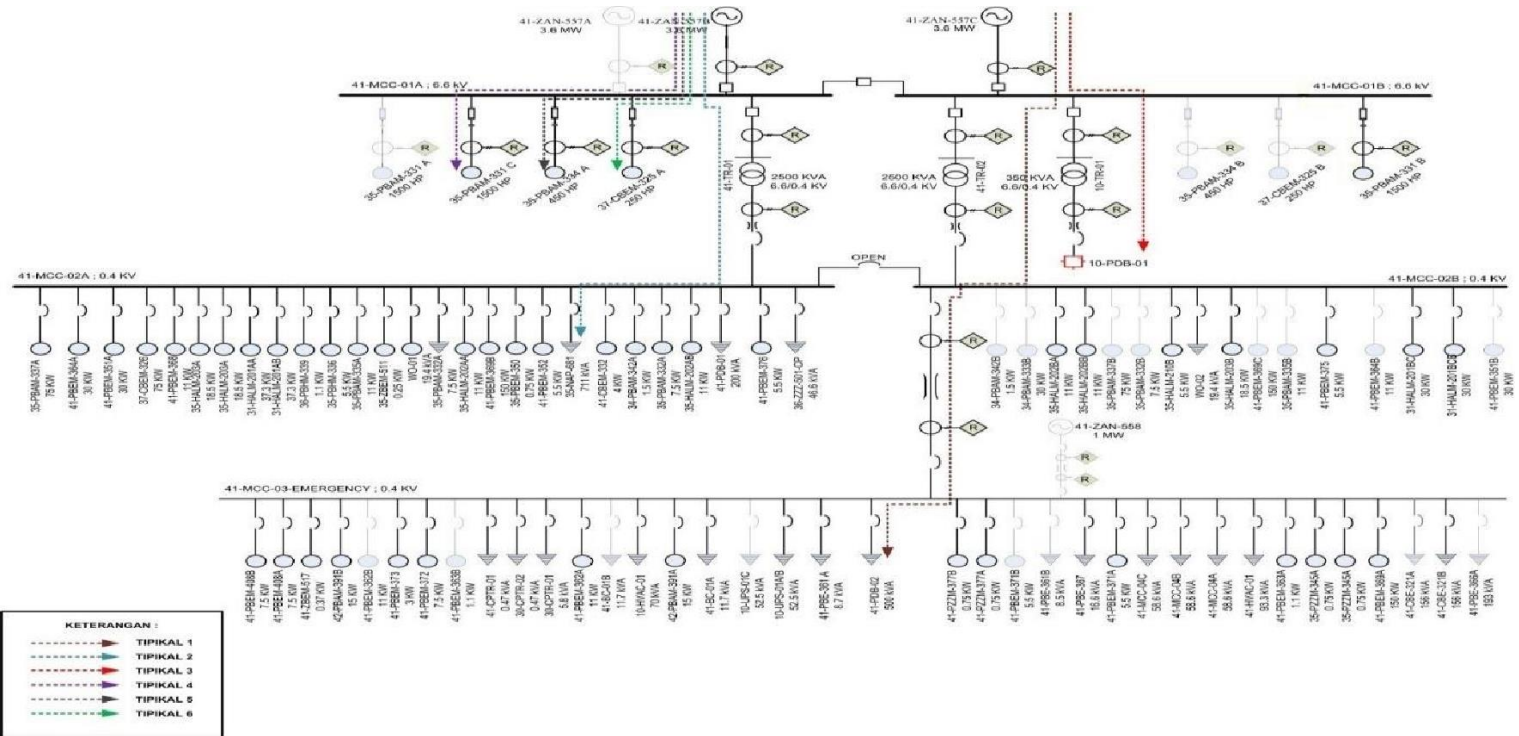
6) Tipikal 6 : Pada tipikal 6 men-*setting* koordinasi rele pengaman arus lebih fasa dari beban motor dengan ID 37-CBEM-325C hingga generator dengan ID 41-ZAN-557B.

4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

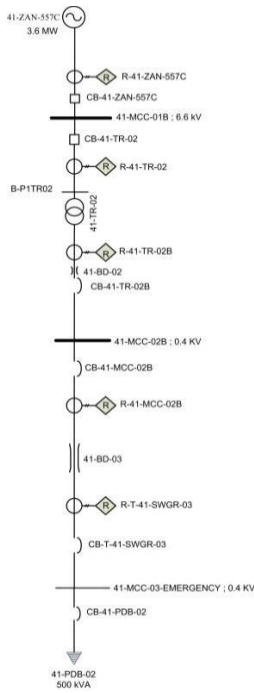
Setting dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa bertujuan mengamankan gangguan arus lebih dan gangguan hubung singkat. Terdapat dua macam gangguan hubung singkat fasa yaitu hubung singkat tiga fasa langsung dan hubung singkat antar fasa. Hubung singkat tiga fasa langsung adalah hubung singkat dengan nilai terbesar atau maksimum dan hubung singkat antar fasa adalah hubung singkat dengan nilai terkecil atau minimum. Rele yang akan di-*setting* adalah rele arus lebih waktu tertentu dan rele arus lebih waktu terbalik (50/51). Untuk *setting* koordinasi rele waktu terbalik dilakukan dengan mengatur nilai *pickup low set*, *time dial*, *high set*, dan *time delay*. Pengaturan parameter tersebut mengacu pada standart IEEE 242. Agar antar rele tidak saling bekerja bersamaan maka dipilih *grading time* sebesar 0,2 s. dalam men-*setting* rele arus lebih juga mempertimbangkan arus *inrush* trafo dan arus *starting* motor agar rele tidak mendeteksi bahwa arus-arus tersebut adalah arus gangguan.

4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi tipikal 1 merupakan koordinasi rele arus lebih dari beban *static* 41-PDB-01 pada bus LV 41-MCC-03-EMERGENCY hingga generator 41-ZAN-557C. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2. Adapun data *existing* terdapat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1 Pemilihan Tipikal pada Sistem Kelistrikan PT Medco Energi Singa Gas Lematang Block



Gambar 4.2 Koordinasi Tipikal 1

Tabel 4.1 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 1

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
CB-41-PDB-02	Merlin Gerin	STR 35GE		<i>sensor</i>	800
				<i>long time pickup</i>	1
				<i>long time band</i>	15
				<i>short time pickup</i>	4
				<i>short time band</i>	0.1 s
				<i>instantaneous pickup</i>	<i>None</i>

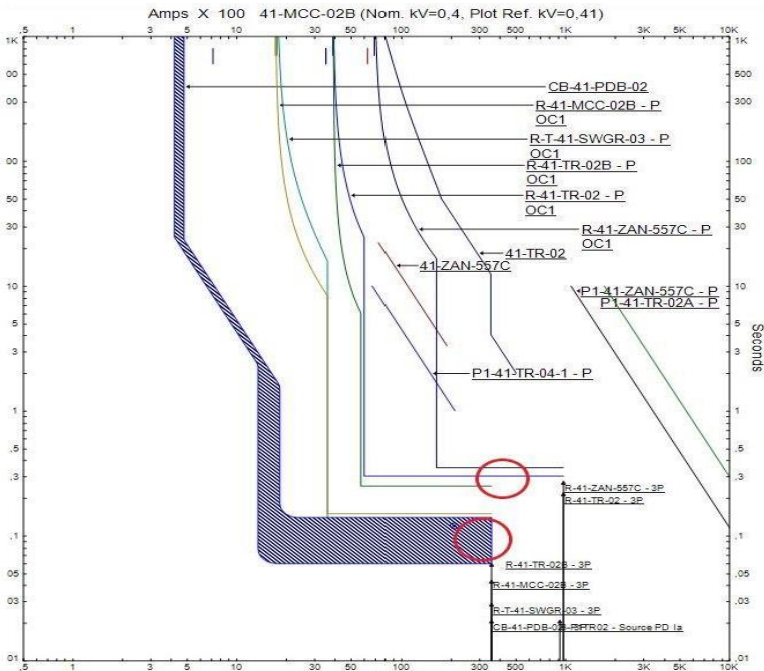
Lanjutan Tabel 4.1 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 1

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-T-41- SWGR-03	Merlin Gerin	Sepam 40	2000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.886
				<i>Time Dial</i>	0.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.8
				<i>Delay</i>	0.1 s
R-41-MCC- 02B	Merlin Gerin	Sepam 40	2000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.866
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.8
				<i>Delay</i>	0.15 s
R-41-TR-02B	Merlin Gerin	Sepam 40	4000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.977
				<i>Time Dial</i>	1
R-41-TR-02	Merlin Gerin	Sepam 40	250/5	<i>Instantaneous Pickup</i>	1.44
				<i>Delay</i>	0.25 s
				<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.965
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.5
				<i>Delay</i>	0.3 s

Lanjutan Tabel 4.1 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 1

ID	Manuf acturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Very Inverse
R-41-ZAN- 557C	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	Pickup	0.72
				Time Dial	2.5
				Instantaneous Pickup	1.7
				Delay	0.35 s

Untuk melihat kurva koordinasi proteksi pada *existing* dapat dilihat melalui *star TCC (Time Current Curve)*. Koordinasi pada kurva *star TCC* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Plot Kurva TCC Tipikal 1 Kondisi *Existing*

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa pada *setting* rele masih terdapat beberapa kesalahan yg tidak sesuai dengan standart IEEE 202 diantaranya, waktu trip CB-41-PDB-02 terlalu cepat. Kemudian *setting* rele-rele diatasnya terlihat juga memiliki *grading time* yang terlalu cepat sehingga mampu menyebabkan *trip* bersamaan atau pun salah *trip*. Maka hal ini perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan harus memperhatikan manufaktur rele yang dipakai dan *grading time* harus sesuai dengan standar IEEE 242 [1]. Perhitungan pada tipikal ini untuk *setting* rele dapat dilakukan dengan perhitungan secara manual adalah sebagai berikut :

☑ LVCB-41-PDB-02

Manufacturer : Merlin Gerin
Type : C801H
Frame ID : 800
Rating Plug : 800
 FLA : 721,7 A

Isc.min kontribusi bus 41-MCC-03-EMERGENCY : 18,44 kA
 Isc.max 4 cycle kontribusi bus 41-MCC-03-EMERGENCY: 26,77 kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 721,7 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 721,7$$

$$757,785 \leq I_{set} \leq 1010,38$$

Dipilih $I_{set} = 760 \text{ A}$

$$LT \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating Plug}} = \frac{760}{800} = 0,95$$

Long Time Band

Dipilih *LT band* = 15

Short Time Pickup

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

$$1,6 \times 721,7 < I_{set} < 0,8 \times 18440$$

$$1154,72 < I_{set} < 14752$$

Dipilih $I_{set} = 1520 \text{ A}$

$$ST \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating Plug}} = \frac{1520}{800} = 2$$

Short Time Band

Dipilih *ST band* = 0.3s

☑ R-T-41-SWGR-03

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Standard Invers*
FLA : 1974 A
CT Ratio : 2000 / 5
Isc.min bus 41-MCC-03-EMERGENCY : 20,92 kA
Isc.max 4 cycle kontribusi bus 41-MCC-03-EMERGENCY : 31,22 kA

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 1974 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 1974$$

$$2072,7 < I_{\text{set}} < 2763,6$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 2200$ A

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{2200}{2000} = 1,1$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,5 s

$$t_d = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$0,5 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{31220}{2200} \right)^1 - 1 \right]$$

$$\text{TDS} = \frac{0,5 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{31220}{2200} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$\text{TDS} = 0,733$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 1974 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 20920$$

$$3158,4 < I_{\text{set}} < 16736$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 4400$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{4400}{2000} = 2,2$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,5 detik

☑ R-41-TR-02B

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Standard Invers*
FLA : 3608 A
CT Ratio : 4000 / 5
Isc.min bus 41-MCC-02B : 20,92 kA
Isc.max 4 cycle kontribusi bus 41-MCC-02B : 31,22 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 3608 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 3608$
 $3788,4 < I_{\text{set}} < 5051,2$
Dipilih $I_{\text{set}} = 4000 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{4000}{4000} = 1$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,7 s

$$t_d = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}$$
$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$
$$\text{TDS} = \frac{0,7 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{31220}{4000} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

TDS = 0,529

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$
 $1,6 \times 3608 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 20920$
 $5772,8 < I_{\text{set}} < 16736$
Dipilih $I_{\text{set}} = 7600$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{7600}{4000} = 1,9$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,7 detik

☑ R-41-TR-02

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Standard Invers*
 FLA : 218,7 A
 CT Ratio : 250 / 5
 Isc min B-P1TR02 : 2,51 kA
 Isc max 4cycle kontribusi B-P1TR02 : 5,04 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$
 $1,05 \times 218,7 < I_{set} < 1,4 \times 218,7$
 $229,635 < I_{set} < 306,18$
 Dipilih $I_{set} = 275 \text{ A}$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{275}{250} = 1,1$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,7 s

$$t_d = \frac{13,5 \times TDS}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TDS = \frac{0,7 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{5040}{275} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

TDS = 1,348

Instantaneous Pickup

Isc max < I_{set} < 0,8 x Isc min

$$31220 \times \left(\frac{0,4}{6,6}\right) < I_{\text{set}} < 0,8 \times 2510$$

$$1892 < I_{\text{set}} < 2008$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 1900$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{1900}{250} = 7,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

☑ R-41-ZAN-557C

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA : 393,6 A

CT Ratio : 600 / 5

Isc min 41-MCC-01B : 1,32 kA

Isc max 4cycle kontribusi 41-MCC-01B : 1,92 kA

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 393,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 393,6$$

$$413,28 < I_{\text{set}} < 511,68$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 480$ A

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{480}{600} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,9 s

$$t_d = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^1 - 1\right]}$$

$$t_d = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^1 - 1\right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480}\right)^1 - 1\right]}{13,5}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480}\right)^1 - 1\right]}{13,5}$$

TDS = 0,3

Instantaneous Pickup

$$0,5 \times I_{set} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$0,5 \times 1900 < I_{set} < 0,8 \times 1320$$

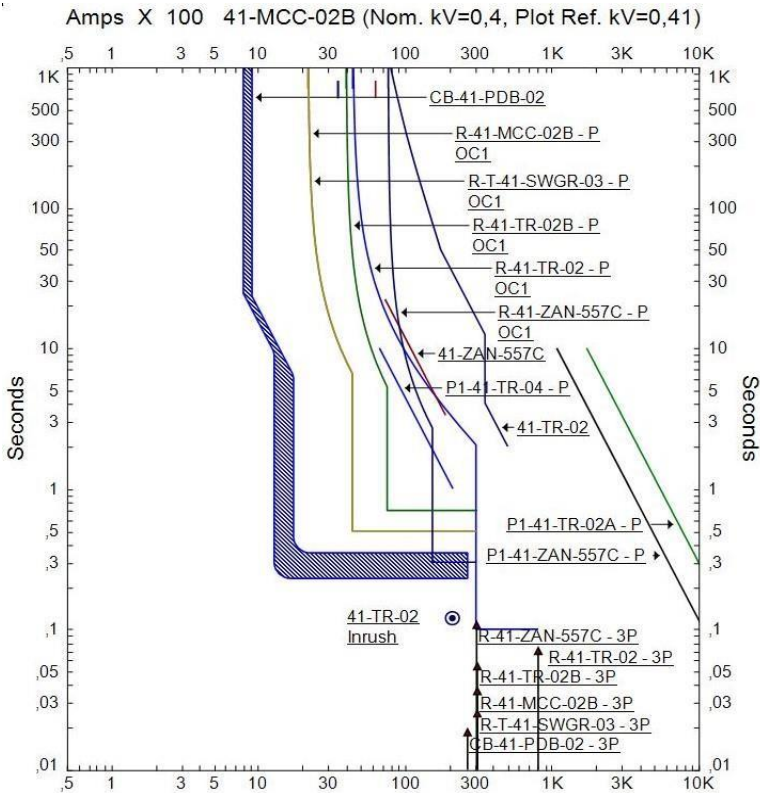
$$950 < I_{set} < 1056$$

Dipilih $I_{set} = 960$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{960}{600} = 1,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

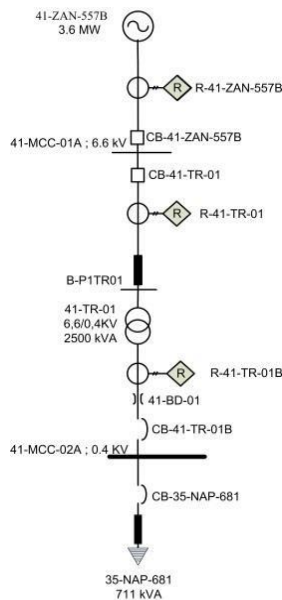


Gambar 4.4 Plot Kurva TCC Tipikal 1 Kondisi *Resetting*

Setelah perhitungan untuk *resetting* tipikal 1 diperoleh, selanjutnya melakukan plot kurva TCC *resetting* tipikal 1. Pada Gambar 4.4 merupakan plot kurva TCC *resetting* tipikal 1.

4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi tipikal 2 merupakan koordinasi rele arus lebih dari beban *static* 35-NAP-681 pada bus LV 41-MCC-02A hingga generator 41-ZAN-557B. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa CB-35-NAP-681, CB-41-TR-01B, R-41-TR-01B, R-41-TR-01, CB-41-TR-01, CB-41-ZAN-557B, dan R-41-ZAN-557B. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



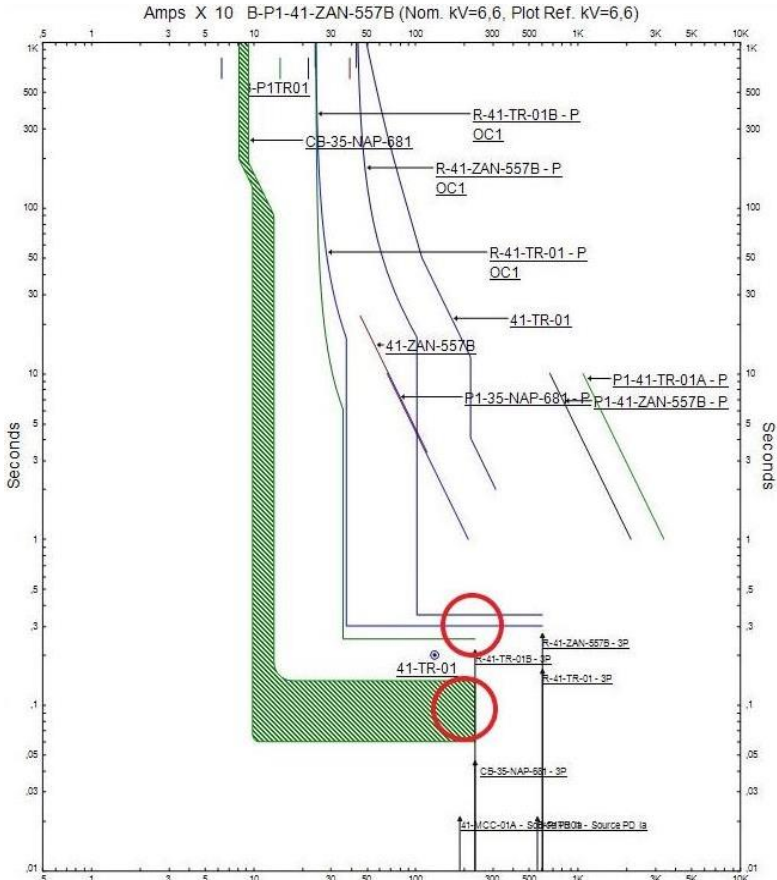
Gambar 4.5 Koordinasi Tipikal 2

Adapun data *existing* terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 2

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
CB-35-NAP-681	Merlin Gerin	STR 45AE		<i>sensor</i>	1250
				<i>long time pickup</i>	1
				<i>long time band</i>	0.5
				<i>short time pickup</i>	1.5
				<i>short time band</i>	0.1 s
				<i>instantaneous pickup</i>	<i>None</i>
R-41-TR-01B	Merlin Gerin	Sepam 40	4000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.977
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.44
				<i>Delay</i>	0.25 s
R-41-TR-01	Merlin Gerin	Sepam 40	250/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.965
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.5
				<i>Delay</i>	0.3 s
R-41-ZAN-557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1.1
				<i>Time Dial</i>	2.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	4.7
				<i>Delay</i>	0.35 s

Agar koordinasi proteksi dapat di analisa dengan mudah maka digunakan plot kurva TCC (*Time Current Curve*). Kurva TCC keadaan *existing* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Plot Kurva TCC Tipikal 2 Kondisi *Existing*

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih terdapat beberapa kesalahan diantaranya yaitu waktu *trip* CB-35-NAP-681 terlalu cepat. Selain itu grading antar rele pengaman juga terlihat terlalu cepat sehingga dapat terjadi *trip* bersamaan. Maka kesalahan-kesalahan ini perlu diperbaiki agar bisa didapatkan koordinasi

rele pengaman yang tepat. Perhitungan harus memperhatikan manufaktur rele yang dipakai dan *grading time* harus sesuai dengan standart IEEE 242 [1]. Perhitungan pada tipikal ini untuk *setting* rele dapat dilakukan dengan perhitungan secara manual adalah sebagai berikut :

☑ LVCB-35-NAP-681

Manufacturer : Merlin Gerin
Type : C1251H
Frame ID : 1250
Rating Plug : 1250
 FLA : 1027 A
 Isc.min bus 41-MCC-02A to 35-NAP-681 : 19,33 kA
 Isc.max 4 cycle kontribusi bus 41-MCC-02A to 35-NAP-681: 29,27 kA

Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA ≤ Iset ≤ 1,4 x FLA
 1,05 x 1027 ≤ Iset ≤ 1,4 x 1437,8
 1078,35 ≤ Iset ≤ 1437,8

Dipilih $I_{set} = 1125 \text{ A}$
 $LT \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating Plug}} = \frac{1125}{1250} = 0,9$

Long Time Band

Dipilih *LT band* = 15

Short Time Pickup

1,6 x FLA < Iset < 0,8 x Isc min
 1,6 x 1027 < Iset < 0,8 x 19330
 1643,2 < Iset < 15464

Dipilih $I_{set} = 3750 \text{ A}$
 $ST \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating Plug}} = \frac{3750}{1250} = 3$

Short Time Band

Dipilih *ST band* = 0.3s

Instantaneous Pickup

Instantaneous pickup tidak diaktifkan.

☑ R-41-TR-01B

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Standard Invers*
FLA : 3608 A
CT Ratio : 4000 / 5
Isc min 41-MCC-02A : 20,91 kA
Isc max 4cycle kontribusi 41-MCC-02A : 31,07 kA

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 3608 < I_{set} < 1,4 \times 3608$$

$$3788,4 < I_{set} < 5051,2$$

Dipilih $I_{set} = 4000$ A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{4000}{4000} = 1$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,5 s

$$t_d = \frac{13,5 \times TDS}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right] + t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{13,5}{0,5 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{31070}{4000} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$TDS = 0,376$$

Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 3608 < I_{set} < 0,8 \times 20910$$

$$5772,8 < I_{set} < 16728$$

Dipilih $I_{set} = 7600$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{7600}{4000} = 1,9$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,5 detik

☑ R-41-TR-01

- Manufacturer* : Merlin Gerin
- Model* : Sepam 40
- Curve Type* : IEC *Very Invers*
- FLA* : 218,7 A
- CT Ratio* : 250 / 5
- Isc min B-P1TR01* : 2,51 kA
- Isc max 4cycle kontribusi B-P1TR01* : 4,98 kA

Time Overcurrent Pickup

- $1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$
- $1,05 \times 218,7 < I_{set} < 1,4 \times 218,7$
- $229,635 < I_{set} < 306,18$
- Dipilih $I_{set} = 275 \text{ A}$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{275}{250} = 1,1$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,5 s

$$t_d = \frac{13,5 \times TDS}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TDS = \frac{0,5 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{4980}{275} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$TDS = 1,348$$

Instantaneous Pickup

- $Isc \text{ max} < I_{set} < 0,8 \times Isc \text{ min}$
- $31070 \times \left(\frac{0,4}{6,6} \right) < I_{set} < 0,8 \times 2510$
- $1883 < I_{set} < 2008$

Dipilih $I_{set} = 1900$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{1900}{250} = 7,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

☑ R-41-ZAN-557B

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA : 393,6 A

CT Ratio : 600 / 5

Isc min 41-MCC-01A : 1,2 kA

Isc max 4cycle kontribusi 41-MCC-01A : 1,92 kA

Time Overcurrent Pickup

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

$1,05 \times 393,6 < I_{set} < 1,4 \times 393,6$

$413,28 < I_{set} < 511,68$

Dipilih $I_{set} = 480$ A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT \text{ primary}} = \frac{480}{600} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,9 s

$13,5 \times TDS$

$$t_d = \frac{13,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{0,9 \times 13,5}{13,5}$$

$$0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480} \right)^1 - 1 \right]$$

$$TDS = \frac{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

TDS = 0,3

Instantaneous Pickup

$0,5 \times I_{set} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$

$0,5 \times 1900 < I_{set} < 0,8 \times 1200$

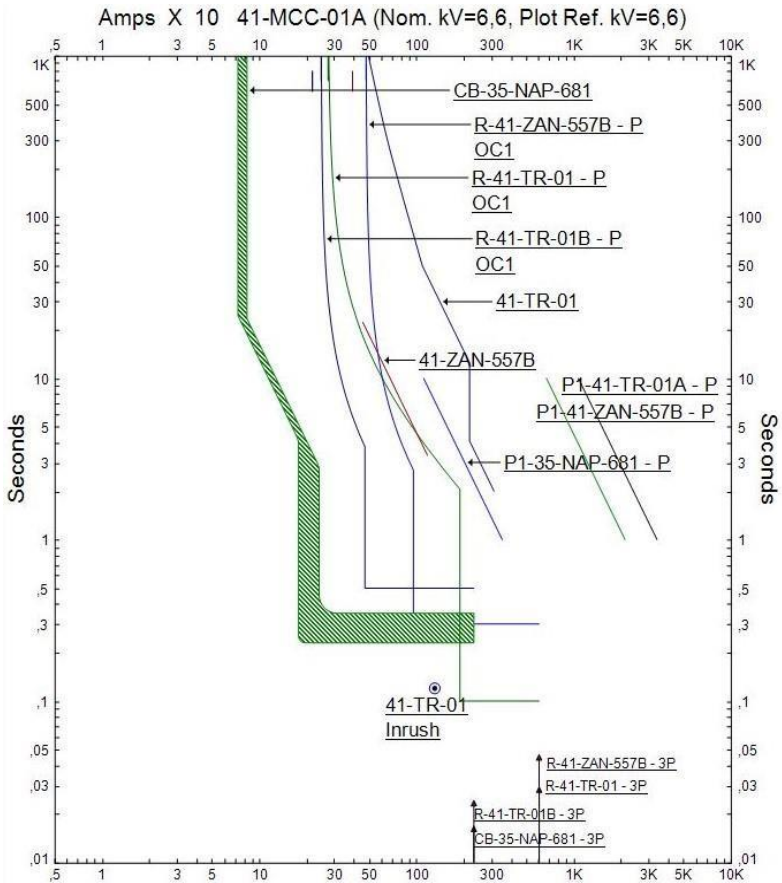
$$950 < I_{set} < 960$$

Dipilih $I_{set} = 960$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{960}{600} = 1,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

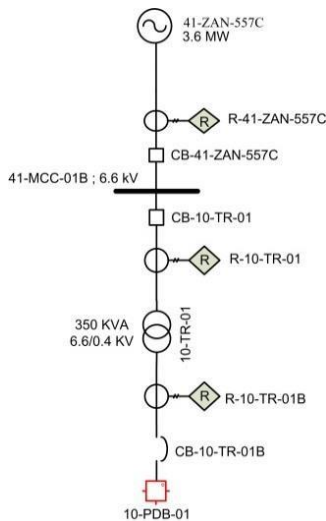


Gambar 4.7 Plot Kurva TCC Tipikal 2 Kondisi *Resetting*

Setelah perhitungan untuk *resetting* tipikal 2 diperoleh, selanjutnya melakukan plot kurva TCC *resetting* tipikal 2. Pada Gambar 4.7 merupakan plot kurva TCC *resetting* tipikal 2.

4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi tipikal 3 merupakan koordinasi rele arus lebih dari sekunder trafo 10-TR-01 hingga generator 41-ZAN-557C. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa CB-10-TR-01B, R-10-TR-01B, CB-10-TR-01, R-10-TR-01, CB-41-ZAN-557C, dan R-41-ZAN-557C. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Koordinasi Tipikal 3

Adapun data *existing* terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 3

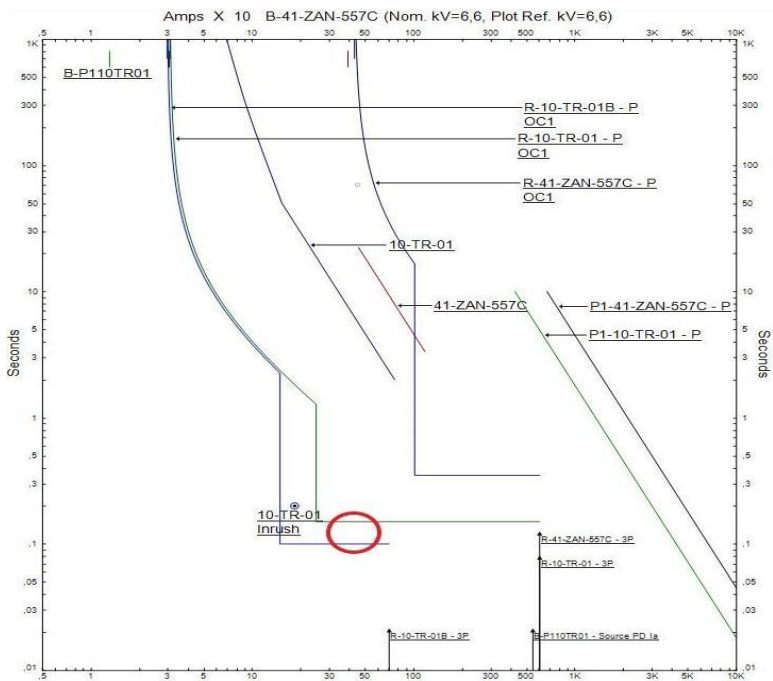
ID	Manuf acturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Very Inverse
R-10-TR-01B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	Curve Type	Very Inverse
				Pickup	0.8

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	4
				<i>Delay</i>	0.1 s
R-10-TR-01	Merlin Gerin	Sepam 40	2000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.62
				<i>Time Dial</i>	1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	5
				<i>Delay</i>	0.15 s

Lanjutan Tabel 4.3 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 3

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-41-ZAN- 557C	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.72
				<i>Time Dial</i>	2.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1.7
				<i>Delay</i>	0.35 s

Untuk melihat kurva koordinasi proteksi pada *existing* dapat dilihat melalui *star* TCC (*Time Current Curve*). Koordinasi pada kurva *star* TCC dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Plot Kurva TCC Tipikal 3 Kondisi *Existing*

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa masih terdapat kesalahan koordinasi. Terlihat bahwa waktu *grading* antara rele R-10-TR-01B-P dan R-10-TR-01-P masi terlalu cepat sehingga dapat mengakibatkan *trip* bersamaan atau salah *trip*. *Setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan harus memperhatikan manufaktur rele yang dipakai dan *grading time* harus sesuai dengan standar IEEE 242[1]. Perhitungan pada tipikal ini untuk *setting* rele dapat dilakukan dengan perhitungan secara manual adalah sebagai berikut :

☑ R-10-TR-01B

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC Standard Invers
FLA : 505,2 A

CT Ratio : 600 / 5

Isc.min bus 10-PDB-01 : 8,67 kA

Isc.max 4 cycle kontribusi bus 10-PDB-01 : 10,94 kA

Time Overcurrent Pickup

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

1,05 x 505,2 < I_{set} < 1,4 x 505,2

530,46 < I_{set} < 707,28

Dipilih I_{set} = 600 A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT\ primary} = \frac{600}{600} = 1$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{0,14 \times TDS}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$
$$t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]$$
$$TDS = \frac{0,14}{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{10940}{600} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$
$$TDS = \frac{0,14}{0,38}$$

TDS = 0,38

Instantaneous Pickup

1,6 x FLA Beban < I_{set} < 0,8 x Isc min

1,6 x 505,2 < I_{set} < 0,8 x 8670

808,32 < I_{set} < 6936

Dipilih I_{set} = 4000

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT\ primary} = \frac{4000}{600} = 6,67$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

☑ R-10-TR-01

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40
Curve Type : IEC Standard Invers
 FLA : 30,62 A
CT Ratio : 50 / 5
 Isc.min bus B-P110TR-01 : 2,43 kA
 Isc.max 4 cycle kontribusi bus 10-PDB-01 : 4,79 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 30,62 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 30,62$
 $32,151 < I_{\text{set}} < 42,868$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 40 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{40}{50} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,1 s

$$t_d = \frac{0,14 \times \text{TDS}}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$t \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]$$

$$\text{TDS} = \frac{0,14}{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4790}{40} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,14}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,639$$

Instantaneous Pickup

$\text{Isc max} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$

$$10940 \times \left(\frac{0,4}{6,6} \right) < I_{\text{set}} < 0,8 \times 2430$$

$$680 < I_{\text{set}} < 1944$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 6$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{800}{50} = 16$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

☑ R-41-ZAN-557C

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC Standard Invers
 FLA : 393,6 A
CT Ratio : 600 / 5
 Isc min 41-MCC-01B : 1,32 kA
 Isc max 4cycle kontribusi 41-MCC-01B : 1,92 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 393,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 393,6$
 $413,28 < I_{\text{set}} < 511,68$

Dipilih $I_{\text{set}} = 480 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{480}{600} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,9 s

$$t_d = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

TDS = 0,3

Instantaneous Pickup

$0,5 \times I_{\text{set}} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$
 $0,5 \times 800 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 1320$
 $400 < I_{\text{set}} < 1056$

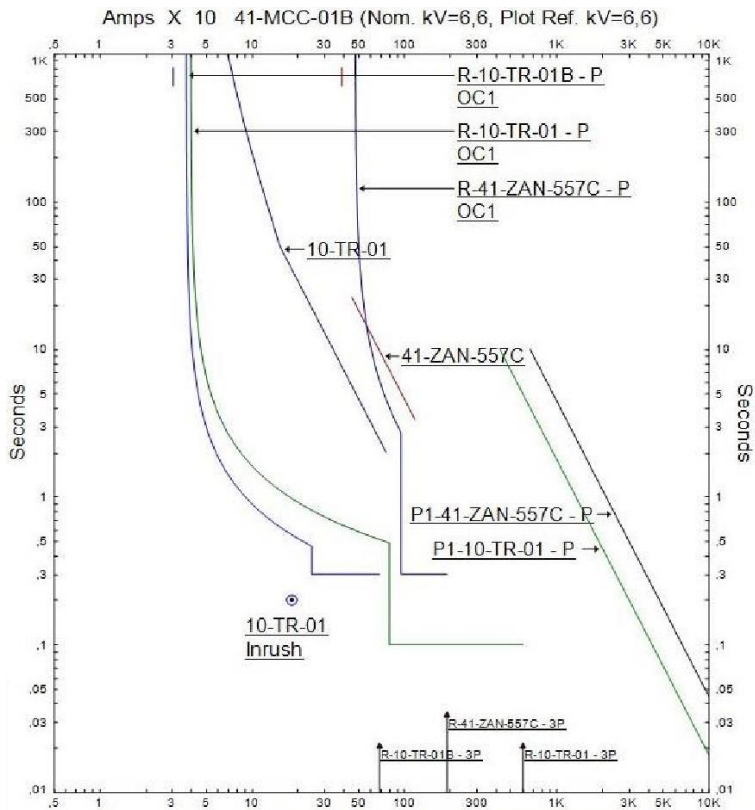
Dipilih $I_{\text{set}} = 960$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{960}{600} = 1,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

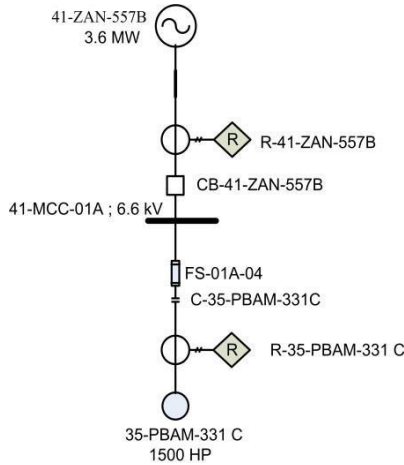
Setelah perhitungan untuk *resetting* tipikal 3 diperoleh, selanjutnya melakukan plot kurva TCC *resetting* tipikal 3. Pada Gambar 4.10 merupakan plot kurva TCC *resetting* tipikal 3.



Gambar 4.10 Plot Kurva TCC Tipikal 3 Kondisi *Resetting*

4.3.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Koordinasi tipikal 4 merupakan koordinasi rele arus lebih dari motor 35-PBAM-331C hingga generator 41-ZAN-557B. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa FS-01A-04, C-35-PBAM-331C, R-35-PBAM-331C, CB-41-ZAN-557B, dan R-41-ZAN-557B. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Koordinasi Tipikal 4

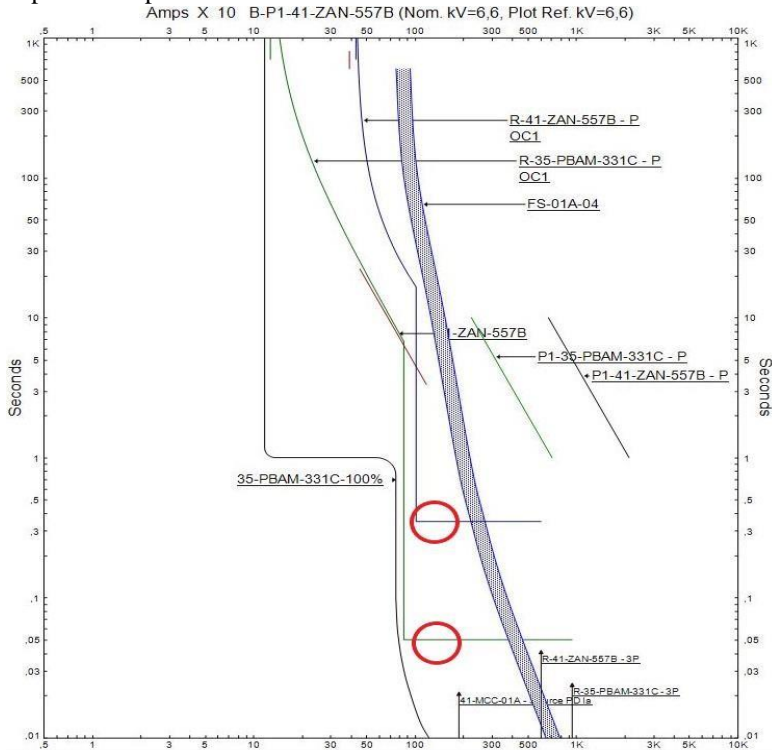
Adapun data *existing* terdapat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 4

ID	Manuf acturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Extremely Inverse
R-35-PBAM- 331C	Merlin Gerin	Sepam 40	150/5	Curve Type	Extremely Inverse
				Pickup	0.85
				Time Dial	3
				Instantaneous Pickup	5.7
				Delay	0.05 s

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-41-ZAN-557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1.1
				<i>Time Dial</i>	2.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	4.7
				<i>Delay</i>	0.35 s

Untuk melihat kurva koordinasi proteksi pada *existing* dapat dilihat melalui *star TCC (Time Current Curve)*. Koordinasi pada kurva *star TCC* dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Plot Kurva TCC Tipikal 4 Kondisi *Existing*

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa masih terdapat beberapa kesalahan koordinasi. Terlihat bahwa pengaman kontaktor seharusnya tidak digunakan untuk mengamankan arus hubung singkat. Kontaktor hanya digunakan untuk mengamankan arus lebih dan untuk hubung singkat diamankan dengan *fuse*. Oleh karena itu *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi pengaman yang tepat. Adapun perhitungan secara manual adalah sebagai berikut :

☑ R-35-PBAM-331C

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC Standard Invers
FLA : 117,4 A
CT Ratio : 150 / 5
Isc min 41-MCC-01A : 2,45 kA
Isc max 4cycle kontribusi bus 41-MCC-01A : 4,4 kA

Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA < I_{set} < 1,4 x FLA
 1,05 x 117,4 < I_{set} < 1,4 x 117,4
 123,27 < I_{set} < 164,36

Dipilih I_{set} = 135 A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{135}{150} = 0,9$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,1 s

$$t_d = \frac{80 \times TDS}{I^2}$$

$$0,808 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right) - 1 \right]^2$$

$$t \times 0,808 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right) - 1 \right]^2$$

$$TDS = \frac{80}{I_{set}}$$

$$0,1 \times \frac{80}{0,808 \times \left[\left(\frac{4400}{135} \right) - 1 \right]^2}$$

$$TDS = \frac{80}{I_{set}}$$

$$TDS = 1,072$$

☑ FS-01A-04

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Fusarc CF
Type : Power Fuse-CLF
FLA : 117,4 A
Tegangan : 12 kV
Dipilih size = 160 A

☑ R-41-ZAN-557B

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Standard Invers*
FLA : 393,6 A
CT Ratio : 600 / 5
Isc min 41-MCC-01A : 1,2 kA
Isc max 4cycle kontribusi 41-MCC-01A : 1,92 kA

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 393,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 393,6$$

$$413,28 < I_{\text{set}} < 511,68$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 480 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{480}{600} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,9 s

$$t_d = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right) - 1 \right]^{1,5}}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right) - 1 \right]^{1,5}}{13,5}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480} \right) - 1 \right]^{1,5}}{13,5}$$

$$\text{TDS} = 0,3$$

Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 393,6 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 1200$$

$$629,76 < I_{\text{set}} < 960$$

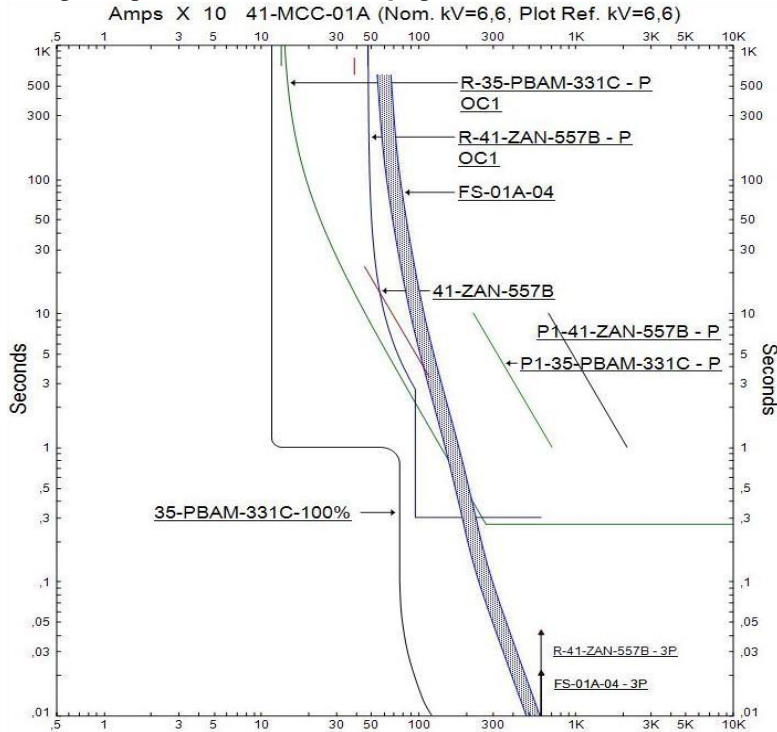
Dipilih $I_{\text{set}} = 960$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{960}{600} = 1,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

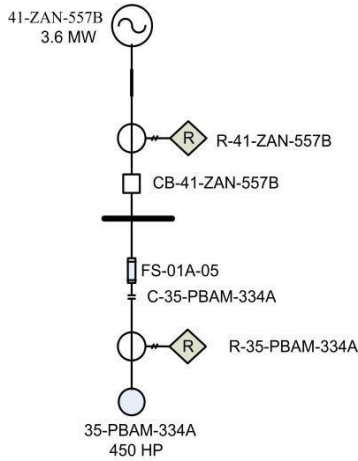
Setelah perhitungan untuk *resetting* tipikal 4 diperoleh, selanjutnya melakukan plot kurva TCC *resetting* tipikal 4. Pada Gambar 4.13 merupakan plot kurva TCC *resetting* tipikal 4.



Gambar 4.13 Plot Kurva TCC Tipikal 4 Kondisi *Resetting*

4.3.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5

Koordinasi tipikal 5 merupakan koordinasi rele arus lebih dari motor 35-PBAM-334A hingga generator 41-ZAN-557B. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa FS-01A-05, C-35-PBAM-334A, R-35-PBAM-334A, CB-41-ZAN-557B, dan R-41-ZAN-557B. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.14.



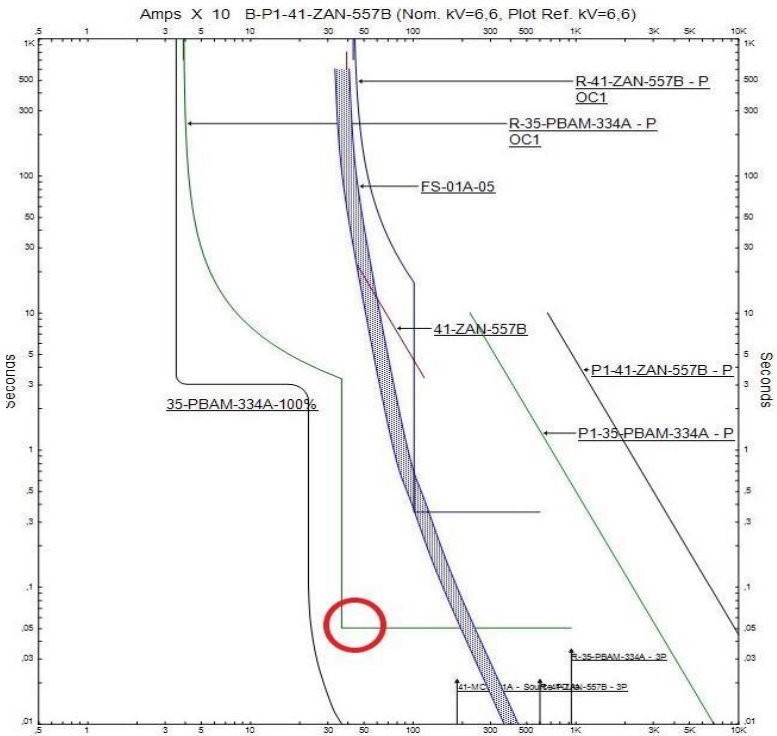
Gambar 4.14 Koordinasi Tipikal 5

Adapun data *existing* terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 5

ID	Manuf acturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Standard Inverse
R-35-PBAM- 334A	Merlin Gerin	Sepam 40	50/5	Pickup	0.78
				Time Dial	3.2
				Instantaneous Pickup	7.33
				Delay	0.05 s

ID	Manuf acturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Very Inverse
R-41-ZAN- 557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	Pickup	1.1
				Time Dial	2.5
				Instantaneous Pickup	4.7
				Delay	0.35 s



Gambar 4.15 Plot Kurva TCC Tipikal 5 Kondisi Existing

Untuk melihat kurva koordinasi proteksi pada *existing* dapat dilihat melalui *star TCC (Time Current Curve)*. Koordinasi pada kurva *star TCC* dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa masih terdapat beberapa kesalahan koordinasi. Terlihat bahwa pengaman kontaktor seharusnya tidak digunakan untuk mengamankan arus hubung singkat. Kontaktor hanya digunakan untuk mengamankan arus lebih dan untuk hubung singkat diamankan dengan *fuse*. Oleh karena itu *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi pengaman yang tepat. Adapapun perhitungan secara manual adalah sebagai berikut :

☑ R-35-PBAM-334A

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Very Invers*
FLA : 35,24 A
CT Ratio : 50 / 5
Isc min 41-MCC-01A : 2,45 kA
Isc max 4cycle kontribusi bus 41-MCC-01A : 4,78 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$
 $1,05 \times 35,24 < I_{set} < 1,4 \times 35,24$
 $37,002 < I_{set} < 49,336$

Dipilih $I_{set} = 49 \text{ A}$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{49}{50} = 0,98$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,1 s

$$t_d = \frac{80 \times TDS}{0,808 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$t_d \times 0,808 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^2 - 1 \right] = \frac{80 \times TDS}{1}$$

$$TDS = \frac{0,1 \times 80 \times \left(\frac{4780}{49} \right)^2}{0,808 \times \left[\left(\frac{4780}{49} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{0,1 \times 80 \times \left(\frac{4780}{49} \right)^2}{0,808 \times \left[\left(\frac{4780}{49} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$TDS = 9,61$$

☑ FS-01A-05

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Fusarc CF
Type : Power Fuse-CLF
FLA 35-PBAM-334A : 35,24 A
Tegangan : 12 kV

Size

4 x FLA
4 x 35,24 = 141 A
Dipilih size = 125 A

☑ R-41-ZAN-557B

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Standard Invers*
FLA : 393,6 A
CT Ratio : 600 / 5
Isc min 41-MCC-01A : 1,2 kA
Isc max 4cycle kontribusi 41-MCC-01A : 1,92 kA

Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA < I_{set} < 1,4 x FLA
1,05 x 393,6 < I_{set} < 1,4 x 393,6
413,28 < I_{set} < 511,68
Dipilih I_{set} = 480 A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT\ primary} = \frac{480}{600} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,9 s

$$t_d = \frac{13,5 \times TDS}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]} \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]$$

$$TDS = \frac{13,5}{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480} \right)^1 - 1 \right]}$$

TDS = 0,3

Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 393,6 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 1200$$

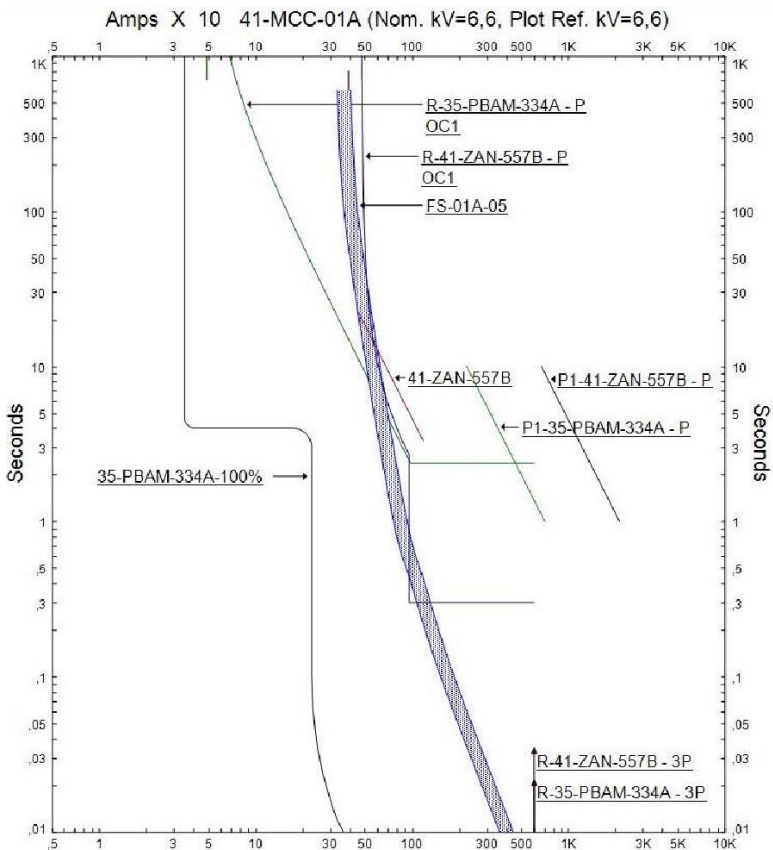
$$629,76 < I_{\text{set}} < 960$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 960$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{960}{600} = 1,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

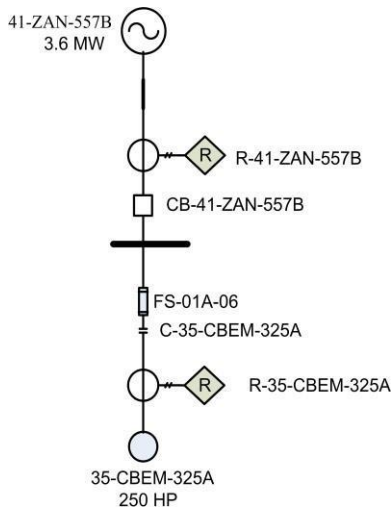


Gambar 4.16 Plot Kurva TCC Tipikal 5 Kondisi *Resetting*

Setelah perhitungan untuk *resetting* tipikal 5 diperoleh, selanjutnya melakukan plot kurva TCC *resetting* tipikal 5. Pada Gambar 4.16 merupakan plot kurva TCC *resetting* tipikal 5.

4.3.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 6

Koordinasi tipikal 6 merupakan koordinasi rele arus lebih dari motor 35-CBEM-325A hingga generator 41-ZAN-557B. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa FS-01A-06, C-35-CBEM-325A, R-35-CBEM-325A, CB-41-ZAN-557B, dan R-41-ZAN-557B. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Koordinasi Tipikal 6

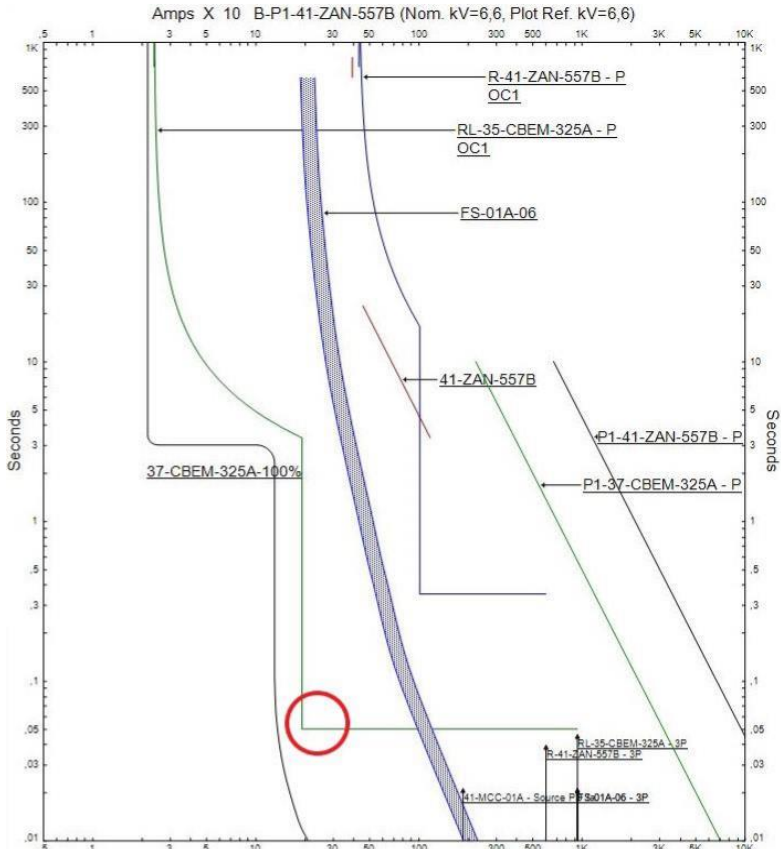
Adapun data *existing* terdapat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele Tipikal 6

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-35-CBEM- 325A	Merlin Gerin	Sepam 40	50/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.48
				<i>Time Dial</i>	3
				<i>Instantaneous Pickup</i>	3.87
				<i>Delay</i>	0.05 s
R-41-ZAN- 557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1.1
				<i>Time Dial</i>	2.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	4.7
				<i>Delay</i>	0.35 s

Untuk melihat kurva koordinasi proteksi pada *existing* dapat dilihat melalui *star TCC (Time Current Curve)*. Koordinasi pada kurva *star TCC* dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa masih terdapat beberapa kesalahan koordinasi. Terlihat bahwa pengaman kontaktor seharusnya tidak digunakan untuk mengamankan arus hubung singkat. Kontaktor hanya digunakan untuk mengamankan arus lebih dan untuk hubung singkat diamankan dengan *fuse*. Oleh karena itu *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi pengaman yang tepat. Perhitungan manual dilakukan pada setiap pengaman.



Gambar 4.18 Plot Kurva TCC Tipikal 6 Kondisi *Existing*

Adapun perhitungan secara manual adalah sebagai berikut :

☑ R-35-CBEM-325A

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Very Invers*
FLA : 21,92 A
CT Ratio : 50 / 5
Isc min 41-MCC-01A : 2,43 kA

Isc max 4cycle kontribusi bus 41-MCC-01A : 4,75 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 21,92 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 21,92$
 $23,016 < I_{\text{set}} < 30,668$
Dipilih $I_{\text{set}} = 25 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{25}{50} = 0,5$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,1 s
 $13,5 \times \text{TDS}$

$$t_d = \frac{13,5}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}$$
$$\text{TDS} = \frac{t \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$
$$\text{TDS} = \frac{0,1 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{4750}{25} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

TDS = 2,1

☑ FS-01A-06

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Fusarc CF
Type : Power Fuse-CLF
FLA 35-PBAM-334A : 21,92 A
Tegangan : 12 kV

Size

5 x FLA
5 x 21,92 = 109,6 A
Dipilih size = 100 A

☑ R-41-ZAN-557B

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC Standard Invers

FLA : 393,6 A
 CT Ratio : 600 / 5
 Isc min 41-MCC-01A : 1,2 kA
 Isc max 4cycle kontribusi 41-MCC-01A : 1,92 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 393,6 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 393,6$
 $413,28 < I_{\text{set}} < 511,68$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 480 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{480}{600} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,9 s

$$t_d = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$t_d \times 1,5 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^1 - 1 \right] = \frac{13,5 \times \text{TDS}}{I_{\text{set}}}$$

$$\text{TDS} = \frac{13,5}{0,9 \times 1,5 \times \left[\left(\frac{1920}{480} \right)^1 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = 0,3$$

Instantaneous Pickup

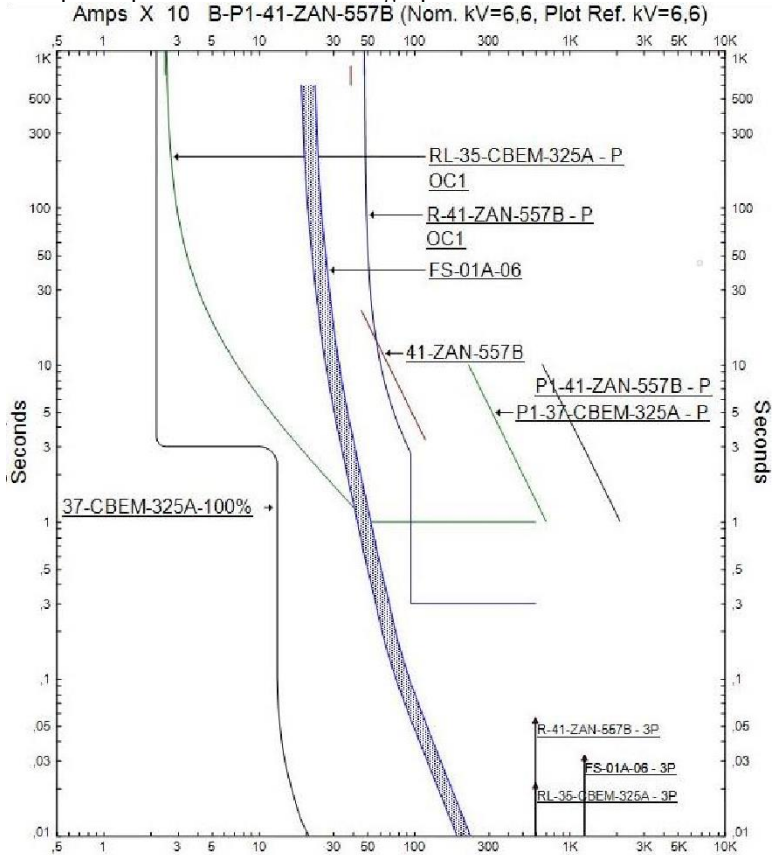
$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$
 $1,6 \times 393,6 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 1200$
 $629,76 < I_{\text{set}} < 960$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 960$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{960}{600} = 1,6$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Setelah perhitungan untuk *resetting* tipikal 6 diperoleh, selanjutnya melakukan plot kurva TCC *resetting* tipikal 6. Pada Gambar 4.19 merupakan plot kurva TCC *resetting* tipikal 6.



Gambar 4.19 Plot Kurva TCC Tipikal 6 Kondisi *Resetting*

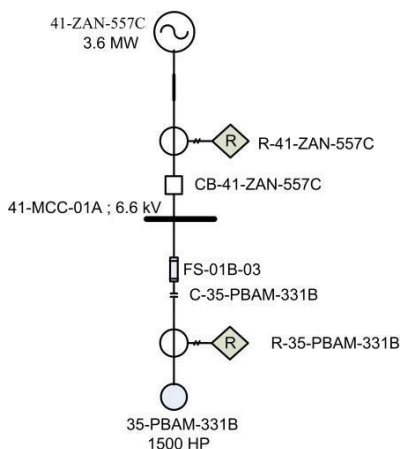
4.4 Koordinasi *Ground Fault Relay*

Rele arus lebih gangguan ke tanah berfungsi untuk mengatasi adanya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Untuk itu koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah harus dikoordinasikan sehingga dapat mengatasi gangguan ke tanah. Adanya pemasangan *neutral grounding resistor* (NGR) mempengaruhi nilai arus hubung singkat *line to ground*

pada peralatan. Dalam koordinasi arus lebih gangguan ke tanah dilakukan pemisahan setiap level tegangan, karena pada level tegangan yang berbeda tidak merasakan adanya gangguan.

4.4.1 Koordinasi Ground Fault Relay Tipikal 1

Koordinasi tipikal 1 merupakan koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dari motor 35-PBAM-331A hingga generator 41-ZAN-557C. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini berupa FS-01B-03, C-35-PBAM-331B, R-35-PBAM-331B, CB-41-ZAN-557C, dan R-41-ZAN-557C. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Koordinasi *Ground Fault Relay* Tipikal 1

Adapun data *existing* terdapat pada Tabel 4.7.

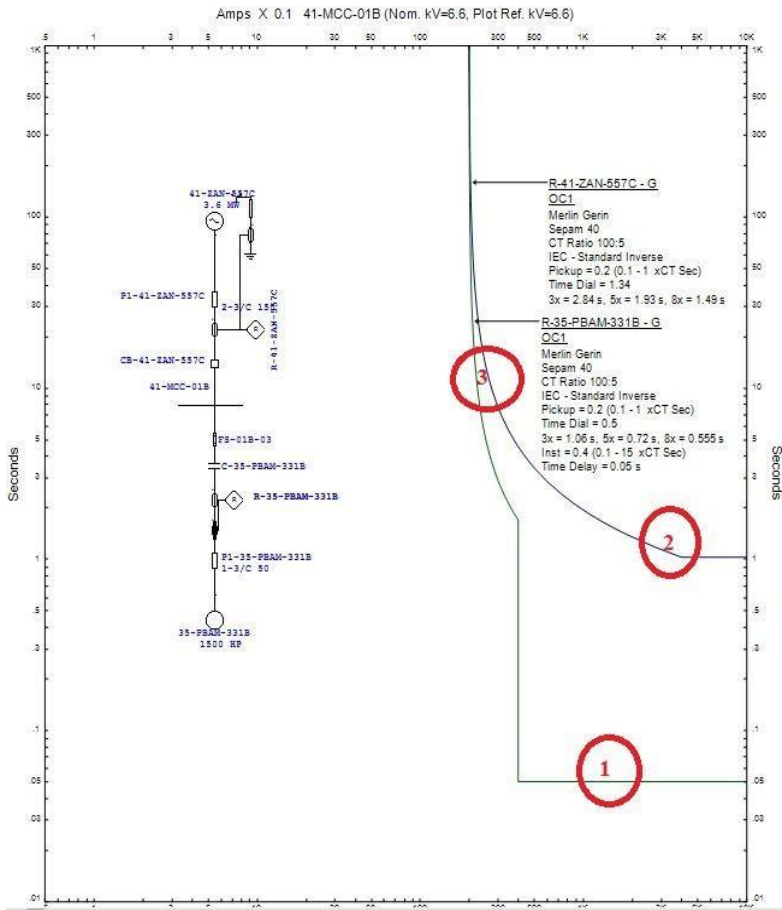
Tabel 4.7 Tabel Data *Existing* Koordinasi Rele GFR Tipikal 1

ID	Manuf acturer	Model	CT Ratio	Setting	
				Curve Type	Standard Inverse
R-35-PBAM- 331B	Merlin Gerin	Sepam 40	100/5	Pickup	0.2

<i>ID</i>	<i>Manuf acturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
				<i>Time Dial</i>	0.5
				<i>Instantaneous Pickup</i>	0.4
				<i>Delay</i>	0.05 s
R-41-ZAN- 557B	Merlin Gerin	Sepam 40	100/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0.2
				<i>Time Dial</i>	1.34
				<i>Instantaneous Pickup</i>	-
				<i>Delay</i>	-

Untuk melihat kurva koordinasi proteksi pada *existing* dapat dilihat melalui *star TCC (Time Current Curve)*. Koordinasi pada kurva *star TCC* dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Untuk melakukan *resetting ground fault relay* menggunakan *definite time*.



Gambar 4.21 Plot Kurva TCC GFR Tipikal 1 Kondisi Existing

Adapun perhitungan secara manual adalah sebagai berikut :

☑ R-35-PBAM-331B

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve : Definite Time
CT Ratio : 100/5

Isc LG : 199 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 5 - 10\% \times \text{Isc LG} &< I_{\text{set}} < 50\% \times \text{Isc LG} \\ 5\% \times 199 \text{ A} &< I_{\text{set}} < 50\% \times 199 \text{ A} \\ 9,95 \text{ A} &< I_{\text{set}} < 99,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 40 A

$$\text{Maka pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{CT \text{ Primary}} = \frac{40}{100} = 0,4$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

☑ R-41-ZAN-557B

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Curve : *Definite Time*

CT Ratio : 100/5

Isc LG : 199 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 5 - 10\% \times \text{Isc LG} &< I_{\text{set}} < 50\% \times \text{Isc LG} \\ 5\% \times 199 \text{ A} &< I_{\text{set}} < 50\% \times 199 \text{ A} \\ 9,95 \text{ A} &< I_{\text{set}} < 99,5 \text{ A} \end{aligned}$$

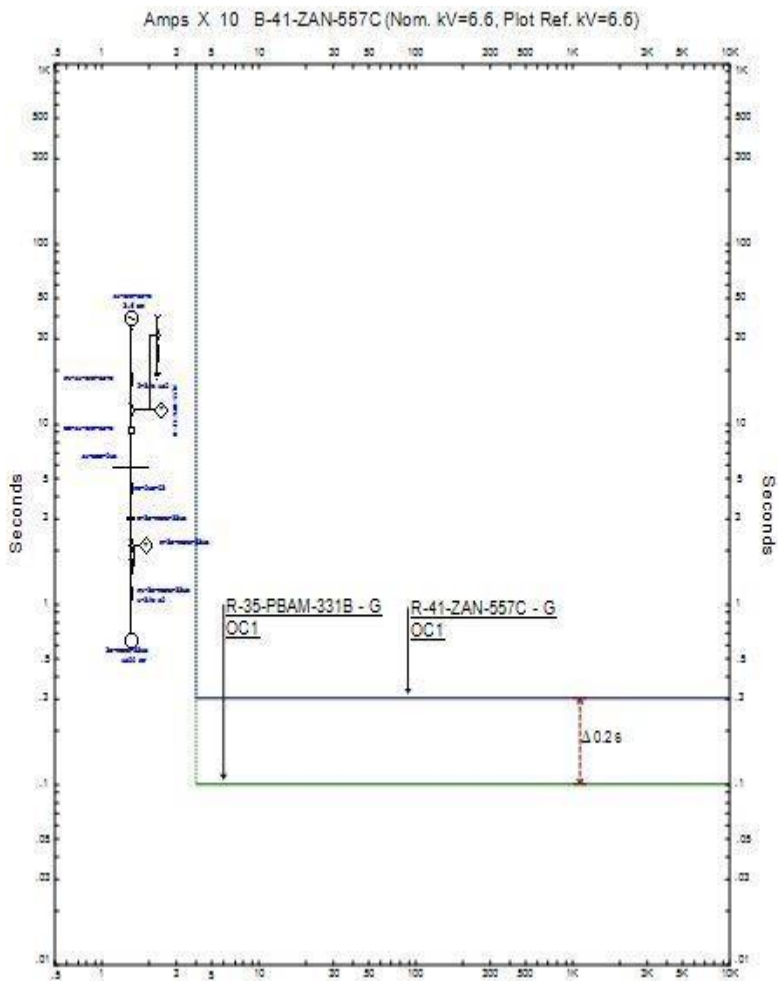
Dipilih Iset = 40 A

$$\text{Maka pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{CT \text{ Primary}} = \frac{40}{100} = 0,4$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Setelah perhitungan untuk *resetting* koordinasi GFR tipikal 1 diperoleh, selanjutnya melakukan plot kurva TCC *resetting* koordinasi GFR tipikal 1. Pada Gambar 4.22 merupakan plot kurva TCC *resetting* GFR tipikal 1.



Gambar 4.22 Plot Kurva TCC GFR Tipikal 1 Kondisi *Resetting*

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

Untuk mengetahui besar insiden busur api, dibutuhkan perhitungan berdasarkan standart tertentu. Perhitungan insiden energi busur api pada penelitian ini mengacu pada standart IEEE 1584-2002. Berikut merupakan data pendukung yang akan digunakan pada perhitungan arus busur dan Insiden Energi dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 5.8 Data Bus Untuk Perhitungan Insiden Energi Busur Api

Bus ID	Tegangan (kV)	Ibf (kA)	FCT (detik)	Jarak Pekerja (mm)	Gap (mm)	Jarak faktor x (mm)
41-MCC-01B	6,6	6,06	0,45	914,4	153	0,973
B-P1TR01	6,6	6,04	0,4	914,4	153	0,973
B-P110TR01	6,6	5,62	0,22	914,4	153	0,973
B-PBAM-331C	6,6	6,06	0,036	457,2	153	0,973
B-PBAM-334A	6,6	6,06	0,039	457,2	153	0,973
B-CBEM-325A	6,6	6,06	0,01	457,2	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 :

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

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

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

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

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

1. Bus 41-MCC-01B

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

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

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,45}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 13,76 \text{ J/cm}^2 = 3,29 \text{ cal/cm}^2$$

2. Bus B-P1TR01

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,04)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

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

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,33$$

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

$$E_n = 10^{0,33} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

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

$$E = 12,19 \text{ J/cm}^2 = 2,91 \text{ cal/cm}^2$$

3. Bus B-P110TR01

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(5,62)$$

$$I_g I_a = 0,74$$

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

$$I_a = 10^{0,74} = 5,49 \text{ kA}$$

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

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,74) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,3$$

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

$$E_n = 10^{0,3} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,22}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right)$$

$$E = 6,2 \text{ J/cm}^2 = 1,48 \text{ cal/cm}^2$$

4. Bus B-PBAM-331C

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

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

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,036}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}}\right)$$

$$E = 2,16 \text{ J/cm}^2 = 0,51 \text{ cal/cm}^2$$

5. Bus B-PBAM-331A

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1.081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77 + (0,0011 \times 153))$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,039}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}}\right)$$

$$E = 2,34 \text{ J/cm}^2 = 0,56 \text{ cal/cm}^2$$

6. Bus B-CBEM-325A

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1.081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77 + (0,0011 \times 153))$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,01}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}}\right)$$

$$E = 0,6 \text{ J/cm}^2 = 0,14 \text{ cal/cm}^2$$

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

Perhitungan insiden busur api kemudian dilakukan pada sistem yang telah diatur ulang. Pertama akan dilakukan simulasi nilai insiden

busur api dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6 sebagai pembanding dengan perhitungan manual. Berikut dilampirkan hasil simulasi Busur Api pada bus tertentu dengan koordinasi pengaman yang sudah diatur ulang dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 6.8 Simulasi Busur Api menggunakan ETAP 12.6

Bus ID	Tegangan (kV)	Ibf (kA)	FCT (detik)	Insiden Energi (cal/cm ²)
41-MCC-01B	6,6	6,06	0,4	2,927
B-P1TR01	6,6	6,04	0,2	1,457
B-P110TR01	6,6	5,62	0,17	1,148
B-PBAM-331C	6,6	6,06	0,159	2,283
B-PBAM-331A	6,6	6,06	0,039	0,560
B-CBEM-325A	6,6	6,06	0,01	0,144

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

Dengan melakukan pengaturan ulang sistem koordinasi proteksi maka beberapa data untuk menghitung nilai insiden busur api akan berubah. Selanjutnya dilakukan perhitungan insiden busur api pada sistem pengaturan ulang. Berikut merupakan data pendukung yang akan digunakan pada perhitungan arus busur dan Insiden Energi dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 7.9 Data Bus Untuk Perhitungan Insiden Energi Busur Api

Bus ID	Tegangan (kV)	Ibf (kA)	FCT (detik)	Jarak Pekerja (mm)	Gap (mm)	Jarak faktor x (mm)
41-MCC-01B	6,6	6,06	0,4	914,4	153	0,973
B-P1TR01	6,6	6,04	0,2	914,4	153	0,973
B-P110TR01	6,6	5,62	0,17	914,4	153	0,973
B-PBAM-331C	6,6	6,06	0,159	457,2	153	0,973

B-PBAM-331A	6,6	6,06	0,039	457,2	153	0,973
B-CBEM-325A	6,6	6,06	0,01	457,2	153	0,973

Dengan data seperti pada tabel 4.9 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)

Persamaan 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 41-MCC-01B

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

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

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77) + (0,0011 \times 153)$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

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

$$E = 12,23 \text{ J/cm}^2 = 2,92 \text{ cal/cm}^2$$

2. Bus B-P1TR01

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,04)$$

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 0,77 \\
I_a &= 10^{I_g I_a} \\
I_a &= 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA} \\
I_g E_n &= K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \\
I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77) + (0,0011 \times 153) \\
I_g E_n &= 0,33 \\
E_n &= 10^{I_g E_n} \\
E_n &= 10^{0,33} = 2 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \\
E &= 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,2}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
E &= 6,09 \text{ J/cm}^2 = 1,45 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

3. Bus B-P110TR01

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \\
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 \times I_g(5,62) \\
I_g I_a &= 0,74 \\
I_a &= 10^{I_g I_a} \\
I_a &= 10^{0,74} = 5,49 \text{ kA} \\
I_g E_n &= K1 + K2 + 1,081 I_g I_a + 0,0011 G \\
I_g E_n &= -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,74) + (0,0011 \times 153) \\
I_g E_n &= 0,3 \\
E_n &= 10^{I_g E_n} \\
E_n &= 10^{0,3} = 2 \text{ J/cm}^2 \\
E &= 4,182 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \\
E &= 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,17}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{914,4^{0,973}}\right) \\
E &= 4,79 \text{ J/cm}^2 = 1,14 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

4. Bus B-PBAM-331C

$$\begin{aligned}
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \\
I_g I_a &= 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06) \\
I_g I_a &= 0,77 \\
I_a &= 10^{I_g I_a}
\end{aligned}$$

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1.081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77 + (0,0011 \times 153))$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,159}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}}\right)$$

$$E = 9,54 \text{ J/cm}^2 = 2,28 \text{ cal/cm}^2$$

5. Bus B-PBAM-331A

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1.081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77 + (0,0011 \times 153))$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,039}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}}\right)$$

$$E = 2,34 \text{ J/cm}^2 = 0,56 \text{ cal/cm}^2$$

6. Bus B-CBEM-325A

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

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 \times I_g(6,06)$$

$$I_g I_a = 0,77$$

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

$$I_a = 10^{0,77} = 5,89 \text{ kA}$$

$$I_g E_n = K1 + K2 + 1.081 I_g I_a + 0,0011 G$$

$$I_g E_n = -0,555 - 0,113 + (1,081 \times 0,77 + (0,0011 \times 153))$$

$$I_g E_n = 0,34$$

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

$$E_n = 10^{0,34} = 2 \text{ J/cm}^2$$

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

$$E = 4,182 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,01}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{457,2^{0,973}}\right)$$

$$E = 0,6 \text{ J/cm}^2 = 0,14 \text{ cal/cm}^2$$

4.8 Perbandingan Eksisting dan Pengaturan Ulang Insiden Energi Busur Api Menggunakan Standar IEEE 1584-2002

Selanjutnya dari data yang didapat dari perhitungan insiden busur api pada keadaan eksisting dan pengaturan ulang, akan dibandingkan sehingga dapat dianalisa bagaimana pengaruh pengaturan ulang sistem koordinasi proteksi terhadap besar nilai insiden busur api. Tingkatan insiden busur api ditentukan berdasarkan standart IEEE 1584-2002. Data tersebut dapat diamati pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 8.10 Perbandingan hasil eksisting dan pengaturan ulang

Bus ID	Pengaturan Awal		Pengaturan ulang	
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Tingkatan	Insiden Energi (cal/cm ²)	Tingkatan
41-MCC-01B	3,29	1	2,92	1
B-P1TR01	2,91	1	1,45	1
B-P110TR01	1,48	1	1,14	1
B-PBAM-331C	0,51	1	2,28	1
B-PBAM-331A	0,56	1	0,56	1
B-CBEM-325A	0,14	1	0,14	1

4.9 Perhitungan Jarak Aman Pelindung (*Flash Protection Boundary*) Keadaan Pengaturan Ulang

Berdasarkan perhitungan besar nilai insiden busur api pada sistem proteksi pengaturan ulang, kemudian dapat dihitung jarak aman pelindung. Perhitungan jarak aman pelindung berfungsi untuk mengetahui jarak aman pekerja dengan peralatan agar ketika terjadi gangguan hubung singkat pekerja dapat terhindar dari kecelakaan yang dapat mengakibatkan luka bakar maupun kematian.

Perhitungan jarak aman pelindung untuk tingkatan tegangan kurang dari sama dengan 15 kV sebagai berikut.

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

1. Untuk perhitungan pada Bus 41-MCC-01B maka,

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

$$D_B = 2294,2 \text{ mm} = 2,29 \text{ m}$$

2. Untuk perhitungan pada Bus B-P1TR01 maka,

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

$$D_B = 1121,1 \text{ mm} = 1,12 \text{ m}$$

3. Untuk perhitungan pada Bus B-P110TR01 maka,

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,17}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)^{\frac{1}{0,973}}]$$

$$D_B = 876,9 \text{ mm} = 0,88 \text{ m}$$

4. Untuk perhitungan pada Bus B-PBAM-331C maka,

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 2 \times \left(\frac{0,159}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)^{\frac{1}{0,973}}]$$

$$D_B = 952,1 \text{ mm} = 0,95 \text{ m}$$

Berikut data hasil perhitungan jarak aman pelindung keadaan pengaturan ulang yang dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 9.11 Jarak aman pelindung keadaan Pengaturan ulang

Bus ID	Pengaturan Awal	Pengaturan ulang
	Hasil simulasi Jarak Aman Pelindung (m)	Hasil Perhitungan Jarak Aman Pelindung (m)
41-MCC-01B	2,59	2,29
B-P1TR01	2,29	1,12
B-P110TR01	1,14	0,88
B-PBAM-331C	0,19	0,89
B-PBAM-331A	0,21	0,21
B-CBEM-325A	0,05	0,05

4.10 Penentuan Peralatan Pelindung Diri

Dari data insiden busur api kemudian dapat ditentukan peralatan pelindung diri. Peralatan pelindung diri berfungsi untuk mengamankan pekerja dari bahaya yang dapat terjadi ketika berada di sekitar peralatan sesuai dengan tingkatan bahaya yang ada. Untuk menentukan apa saja peralatan pelindung diri yang digunakan harus mengacu pada standart yang ada. Penentuan alat pelindung diri pada penelitian ini mengmengacu pada standart NFPA 70E-2015. Kategori dan penentuan peralatan pelindung diri dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 10.12 PPE PT. Medco E&P Lematang

No.	Bus ID	Kategori Resiko Bahaya	Peralatan Pelindung Diri
1.	41-MCC-01B	1	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Pelindung wajah

			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
2.	B-P1TR01	1	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Pelindung wajah
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
3.	B-P110TR01	1	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Pelindung wajah
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
4.	B-PBAM-331C	1	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Pelindung wajah
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit

5.	B-PBAM-331A	1	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Pelindung wajah
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit
6.	B-CBEM-325A	1	Kemeja Lengan Panjang
			Celana Panjang
			Setelan anti busur api
			Pelindung wajah
			Jaket Pelindung
			Helm Keselamatan
			Kacamata keselamatan
			Pengaman telinga
			Sarung tangan kulit
			Sepatu Kulit

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan analisa pada koordinasi rele arus lebih dan insiden busur api pada PT Medco Energi E&P Lematang dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil simulasi dan analisa koordinasi sistem pengaman arus lebih pada kondisi eksisting, terdapat kesalahan dalam menentukan *time dial* dan *time delay* yang tidak sesuai dengan standart IEEE 242-2001. Kesalahan dalam seting koordinasi sistem pengaman dapat mengakibatkan *trip* bersamaan atau kesalahan *trip* yang dapat menurunkan keandalan sistem kelistrikan
2. Setelah dilakukan pengaturan ulang pada rele arus lebih, koordinasi sistem pengaman arus lebih telah sesuai standart.
3. Dari hasil analisa insiden busur api pada kondisi *eksisting* dan *resetting* di level tegangan 6,6 KV, terdapat bus yang mengalami penurunan nilai insiden energi diantaranya, bus 41-MCC-01B sebesar 0,37 cal/cm², bus B-P1TR01 sebesar 1,46 cal/cm², dan bus B-P110TR01 sebesar 1,14 cal/cm². Dengan menurunnya nilai insiden energi maka bahaya yang akan berdampak pada pekerja juga berkurang. Pada bus B-PBAM-331C mengalami peningkatan nilai insiden energi sebesar 1,77 cal/cm². Hal ini dikarenakan adanya perbaikan koordinasi rele arus lebih yang sesuai standart. Sementara itu pada bus B-PBAM-331A dan B-CBEM-325A tidak mengalami perubahan nilai insiden energi.
4. Pada keadaan eksisting maupun resetting tingkatan bahaya sama-sama berada pada level 1 pada semua bus di level tegangan 6,6 KV sehingga peralatan pelindung yang harus digunakan tidak mengalami perubahan.

5.2 Saran

Dalam melakukan koordinasi rele pengaman arus lebih harus mengacu pada standart yang ada sehingga pengaman terhadap arus lebih dan hubung singkat dapat bekerja dengan baik. Antara rele satu dengan

rele backup tidak boleh memiliki waktu trip yang terlalu kecil dikarenakan rele dapat bekerja secara bersamaan. Hal ini dapat menyebabkan menurunnya keandalan sistem kelistrikan.

Untuk resetting sistem koordinasi rele arus lebih dapat menggunakan standart yang digunakan dalam evaluasi dan perhitungan koordinasi rele arus lebih pada penelitian ini yaitu mengacu pada standart IEEE 242-2001.

Disarankan untuk melakukan grading kembali untuk rele R-41TR02 pada 0,1s dikarenakan arus hubung singkat maksimum pada sisi sekunder trafo 41-TR02 lebih kecil daripada arus hubung singkat minimum pada sisi primernya. Selain itu hal ini dapat menurunkan waktu trip rele secara signifikan sehingga pada analisa insiden bususr api dapat dihasilkan nilai insiden energi yang kecil. Nilai insiden energi yang kecil berarti bahaya yang akan berdampak pada pekerja saat terjadi gangguan akan semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 242-2001, "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems", The Institute of Electrical and electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [2] ANSI/IEEE STD 241-1983 Recommended Practice for Electrical Power Systems in Commercial Buildings.
- [3] Supriyanto, Adi, "Analisis Sistem Tenaga 2", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Lazar irwin "Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant", McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980 2004.
- [5] M.H.Hussain."Optimal Overcurrent Relay Coordination: A review", School of Electrical Systems Engineering Universiti Malaysia Perlis, Malaysia 2012.
- [6] Ir R.Wahyudi. "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [7] ANSI/IEEE STD 242-1983 Recommended Practice for Electrical Power Systems in Commercial Buildings.
- [8] Gurevich, Vladimir, "*Electric Relays, Principle and Application*", CRC Press, USA, Ch. 10, 2006.
- [9] Claudio Sergio Mardegan."Considerations in Applying IEEE Recommended Practice for Protection Coordination in Industrial and Commercial Power Systems-Part I", IEEE Vol 52, No 5.
- [10] Prasetya Hari, Nugraha. "*Studi Koordinasi Proteksi pada Jaringan Distribusi PT. PLN (PERSERO) APJ Gilimanuk Terhadap Penerapan SFCL*". Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, 2015.

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT PENULIS



Muhammad Ulul Albab, dilahirkan di Sidoarjo 8 Desember 1994. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Menempuh jenjang pendidikan di SD Al-Hikmah Surabaya tahun 2001-2007, SMP Al-Hikmah Surabaya tahun 2007-2010, SMAN 5 Surabaya 2010-2013, dan D3 Teknik Elektro Komputer Kontrol ITS. Penulis melanjutkan studinya ke S1 Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa kuliah penulis aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa sebagai Staff Akademik Kementrian Kesejahteraan Mahasiswa BEM ITS 2014-2015 dan juga aktif sebagai Kepala Divisi Minat Bakat Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi di email ulul.albab2015@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Hasil Resetting Rele Pengaman Arus Lebih dan Rele Pengaman Gangguan Ketanah

TIPIKAL 1 (50/51)					
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
CB-41-PDB-02	Merlin Gerin	STR35GE	-	<i>Sensor</i>	800
				<i>Long time pickup</i>	0,95
				<i>Long time band</i>	15
				<i>Short time pickup</i>	2
				<i>Short time band</i>	0,3
				<i>Instantaneous pickup</i>	-
R-T-41-SWGR-03	Merlin Gerin	Sepam 40	2000/5	<i>Curve Type</i>	Very Inverse
				<i>Pickup</i>	1,1
				<i>Time Dial</i>	0,733
				<i>Instantaneous Pickup</i>	2,2
				<i>Delay</i>	0,5
R-41-TR-02B	Merlin Gerin	Sepam 40	4000/5	<i>Curve Type</i>	Very Inverse
				<i>Pickup</i>	1
				<i>Time Dial</i>	0,529
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,9
				<i>Delay</i>	0,7
R-41-TR-02	Merlin Gerin	Sepam 40	250/5	<i>Curve Type</i>	Very Inverse
				<i>Pickup</i>	1,1
				<i>Time Dial</i>	1,348

				<i>Instantaneous Pickup</i>	7,6
				<i>Delay</i>	0,1
R-41-ZAN-557C	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0,8
				<i>Time Dial</i>	0,3
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,6
				<i>Delay</i>	0,3

TIPIKAL 2 (50/51)					
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
CB-35-NAP-681	Merlin Gerin	STR45AE	-	<i>Sensor</i>	1250
				<i>Long time pickup</i>	0,9
				<i>Long time band</i>	15
				<i>Short time pickup</i>	3
				<i>Short time band</i>	0,3
				<i>Instantaneous pickup</i>	-
R-41-TR-01B	Merlin Gerin	Sepam 40	4000/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1
				<i>Time Dial</i>	0,376
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,9
				<i>Delay</i>	0,5

R-41-TR-01	Merlin Gerin	Sepam 40	250/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1,1
				<i>Time Dial</i>	1,348
				<i>Instantaneous Pickup</i>	7,6
				<i>Delay</i>	0,1
R-41-ZAN-557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0,8
				<i>Time Dial</i>	0,3
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,6
				<i>Delay</i>	0,3

TIPIKAL 3 (50/51)					
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-10-TR-01B	Merlin Gerin	Sepam 40E	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standart Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	1
				<i>Time Dial</i>	0,38
				<i>Instantaneous Pickup</i>	6,667
				<i>Delay</i>	0,3
R-10-TR-01	Merlin Gerin	Sepam 40	50/5	<i>Curve Type</i>	<i>Standart Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0,8
				<i>Time Dial</i>	0,639
				<i>Instantaneous Pickup</i>	16

				<i>Delay</i>	0,1
R-41-ZAN-557C	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	Very Inverse
				<i>Pickup</i>	0,8
				<i>Time Dial</i>	0,3
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,6
				<i>Delay</i>	0,3

TIPIKAL 4 (50/51)					
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-35-PBAM-331C	Merlin Gerin	Sepam 40	150/5	<i>Curve Type</i>	Extremely Inverse
				<i>Pickup</i>	0,9
				<i>Time Dial</i>	1,072
				<i>Instantaneous Pickup</i>	-
				<i>Delay</i>	-
FS-01A-04	Merlin Gerin	Fusarc CF		<i>Size</i>	160A
R-41-ZAN-557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	Very Inverse
				<i>Pickup</i>	0,8
				<i>Time Dial</i>	0,3
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,6
				<i>Delay</i>	0,3

TIPIKAL 5 (50/51)					
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-35-PBAM-334A	Merlin Gerin	Sepam 40	50/5	<i>Curve Type</i>	<i>Extremely Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0,98
				<i>Time Dial</i>	9,61
				<i>Instantaneous Pickup</i>	-
				<i>Delay</i>	-
FS-01A-05	Merlin Gerin	Fusarc CF		<i>Size</i>	125A
R-41-ZAN-557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0,8
				<i>Time Dial</i>	0,3
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,6
				<i>Delay</i>	0,3

TIPIKAL 6 (50/51)					
<i>ID</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
R-35-PBAM-335A	Merlin Gerin	Sepam 40	50/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0,5
				<i>Time Dial</i>	2,1
				<i>Instantaneous Pickup</i>	-
				<i>Delay</i>	-
FS-01A-06	Merlin Gerin	Fusarc CF		<i>Size</i>	100A

R-41-ZAN-557B	Merlin Gerin	Sepam 40	600/5	<i>Curve Type</i>	<i>Very Inverse</i>
				<i>Pickup</i>	0,8
				<i>Time Dial</i>	0,3
				<i>Instantaneous Pickup</i>	1,6
				<i>Delay</i>	0,3