



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE184801**

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM  
KELISTRIKAN DI PT PERTAMINA RU IV CILACAP  
YANG TERINTEGRASI DENGAN PLN**

Tri Adi Kresna  
NRP 07111540000113

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

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





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EE184801**

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM  
KELISTRIKAN DI PT PERTAMINA RU IV CILACAP  
YANG TERINTEGRASI DENGAN PLN**

Tri Adi Kresna  
NRP 07111540000113

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

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





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - EE 184801**

***EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION IN  
THE ELECTRICAL SYSTEM AT PT PERTAMINA RU IV  
CILACAP THAT IS INTEGRATED WITH PLN***

Tri Adi Kresna  
NRP 07111540000113

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

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

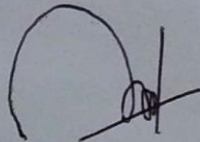


## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Evaluasi Koordiasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan di PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terintegrasi dengan PLN**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, Mei 2019



**Tri Adi Kresna**  
NRP 07111540000113





**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA  
SISTEM KELISTRIKAN DI PT PERTAMINA RU IV  
CILACAP YANG TERINTEGRASI DENGAN PLN**

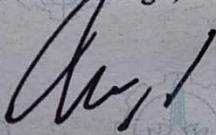
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

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

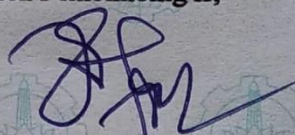
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



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

Dosen Pembimbing II,



Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
NIP. 197309271998031004





# EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN DI PT PERTAMINA RU IV CILACAP YANG TERINTEGRASI DENGAN PLN

**Nama** : Tri Adi Kresna  
**Pembimbing I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Pembimbing II** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

## ABSTRAK

Proteksi pada sistem kelistrikan untuk mengamankan suatu peralatan listrik memiliki peran yang sangat penting. Sistem proteksi memiliki fungsi untuk mendeteksi gangguan hubung singkat dan dapat mencegah peralatan listrik mengalami kerusakan akibat gangguan. Sistem proteksi ini perlu koordinasi yang baik agar sistem bekerja secara handal. PT Pertamina RU IV Cilacap merupakan salah satu kilang minyak terbesar di Indonesia. BUMN melakukan kerjasama dalam penyediaan layanan kelistrikan dari PLN untuk 5 (lima) kilang Pertamina, salah satunya adalah kilang RU IV Cilacap. Integrasi sistem kelistrikan tersebut menyebabkan perubahan nilai arus jika terjadi gangguan pada sistem. Oleh karena itu, diperlukan studi analisis dan evaluasi terhadap pengaman sistem. Tugas akhir ini akan membahas tentang analisis dan evaluasi rele pengaman pada PT Pertamina RU IV Cilacap. Pembahasan akan berfokus pada pengaturan koordinasi rele arus lebih fasa dan rele arus lebih *ground* yang tepat. Dari hasil analisis koordinasi proteksi kurva rele pengaman eksisting dapat diketahui bahwa terdapat pengaturan *pickup* dan pemilihan *time dial* yang masih harus dikoordinasikan dengan baik. Rele *feeder* yang menghubungkan transfer bus dan generator bus menjadi rele utama dengan nilai arus gangguan yang berbeda. Sehingga direkomendasikan untuk menambah rele kode ANSI 50. Pada rele *feeder* PLN perlu adanya penambahan rele kode ANSI 67 untuk mendeteksi arus gangguan yang nilainya lebih kecil dari FLA. Sedangkan rele eksisting yang hanya memiliki rele gangguan fasa direkomendasikan menambah rele arus lebih *ground*.

**Kata kunci** : koordinasi proteksi , gangguan , rele pengaman

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

# **EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION IN THE ELECTRICAL SYSTEM AT PT PERTAMINA RU IV CILACAP THAT IS INTEGRATED WITH PLN**

**Name** : Tri Adi Kresna  
**1<sup>st</sup> Advisor** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**2<sup>nd</sup> Advisor** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

## **ABSTRACT**

*Protection of the electrical system to secure electrical equipment has a very important role. The protection system has a function to detect short circuit fault and can prevent electrical equipment from being damaged due to a fault. This protection system needs good coordination so that the system works reliably. PT Pertamina RU IV Cilacap is one of the largest oil refineries in Indonesia. BUMN cooperates in providing electricity services from PLN for 5 (five) Pertamina refineries, one of which is the Cilacap RU IV refinery unit. The integration of the electrical system causes a change in the value of the current in the event of a system failure. Therefore, an analysis and evaluation study of system safety is needed. This final project will discuss the analysis and evaluation of safety relay at PT Pertamina RU IV Cilacap. The discussion will focus on the coordination of phase and grounding overcurrent relays settings. From the results of the analysis of the existing curve protection coordination, it can be seen that there is a pickup setting and time dial selection that still has to be well coordinated. The relay feeder that connects the transfer bus and bus generator becomes the main relay with different fault current values. So it is recommended to add ANSI 50 code relay. In the PLN's relay feeder, there needs to be an additional relay ANSI 67 code to detect fault currents that value is smaller than FLA. While the existing relay that only has phase fault relay is recommended to add more ground fault relay.*

**Keywords** : coordination of protection, faults, safety relay

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Evaluasi Koordiasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan di PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terintegrasi dengan PLN”.

Tugas akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang harus ditempuh dalam persyaratan akademik program studi S1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini terdapat pihak-pihak yang sangat berjasa dalam membantu. Oleh karena itu, tidak lupa ucapan terima kasih pantas disampaikan kepada:

1. Bapak dan Ibu serta segenap keluarga yang telah menjadi *support system* bagi penulis.
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, saran dan masukan selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh rekan dan sahabat, Bram, Nafis, Audie, Raka serta rekan asisten LIPIST lain yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama ini.
4. Teman-teman E55, dosen, karyawan, serta seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS yang telah memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Yayasan Beasiswa Alumni ITS 2017 dan Beasiswa IKA ELITS 2018 yang telah memberikan bantuan finansial serta motivasi dalam menjalani perkuliahan selama ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Pada kesempatan ini penulis masih membuka pintu kritik dan saran. Sehingga kritik dan saran tersebut dapat menjadi acuan agar dapat memperbaiki tugas akhir ini. Penulis amat berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

---Halaman ini sengaja dikosongkan---



## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PEGESAHAN .....	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Metodologi.....	2
1.5 Sitematika Pembahasan.....	3
1.6 Relevansi dan Manfaat.....	4
BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN .....	5
2.1 Gangguan pada Sistem Kelistrikan .....	5
2.2 Gangguan Arus pada Sistem Kelistrikan.....	6
2.2.1 Gangguan Beban Lebih .....	6
2.2.2 Gangguan Hubung Singkat.....	6
2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	7
2.4 Rele Arus Lebih ( <i>Overcurrent Relay</i> ).....	10
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Instan ( <i>Instantaneous OCR</i> ) ..	10
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu ( <i>Definite Time OCR</i> )	11
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Kerja <i>Inverse</i> .....	12
2.5 Pengaturan Rele Arus Lebih .....	13
2.5.1 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i> .....	13
2.5.2 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Instan .....	15
2.6 Rele Gangguan ke Tanah ( <i>Ground Fault Relay</i> ).....	16
2.7 Pengaturan Rele Gangguan ke Tanah .....	16
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU IV CILACAP .....	17
3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terkoneksi dengan Sistem PLN 150 kV .....	17

3.2 Data Kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terkoneksi dengan Sistem PLN.....	18
3.2.1 Kapasitas Pembangkit .....	18
3.2.2 Data Pembebanan.....	19
3.2.3 Sistem Distribusi di PT Pertamina RU IV Cilacap .....	19
3.2.4 Sistem proteksi PT Pertamina RU IV Cilacap .....	20
<b>BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PENGATURAN PROTEKSI PT PERTAMINA RU IV CILACAP YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM PLN .....</b>	<b>23</b>
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terintegrasi dengan Sistem PLN.....	23
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT Pertamina RU IV Cilacap ..	23
4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat .....	25
4.3.1 Hubung Singkat Minimum 30 <i>Cycle</i> .....	25
4.3.2 Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i> dan 30 <i>Cycle</i> .....	27
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	30
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1.....	30
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2.....	46
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3.....	60
4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah .....	81
4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1 ...	81
4.5.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 5 ...	83
4.5.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 6 ...	86
4.5.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 7 ...	92
4.5.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 8 ...	94
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>99</b>
5.1 Kesimpulan .....	99
5.2 Saran .....	99
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>101</b>
<b>INDEKS .....</b>	<b>103</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>105</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Karakteristik rele arus lebih waktu kerja instan .....	11
Gambar 2.2 Karakteristik rele arus lebih waktu kerja <i>inverse</i> .....	12
Gambar 2.3 Macam – macam kurva rele arus lebih waktu kerja <i>inverse</i> .....	13
Gambar 3.1 SLD eksisting PT Pertamina RU IV Cilacap.....	17
Gambar 3.2 SLD PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terintegrasi dengan sistem PLN.....	18
Gambar 4.1 Pemilihan tipikal kordinasi proteksi .....	24
Gambar 4.2 <i>Single line diagram</i> tipikal 1 .....	31
Gambar 4.3 Kurva TCC LVCB 16-1-1 dan transformator 10EE105A.	34
Gambar 4.4 Kurva TCC R 16-0 dan transformator 10EE101A .....	37
Gambar 4.5 Kurva TCC Tipikal 1.....	39
Gambar 4.6 Hasil <i>plotting</i> SC 3 fasa 30 <i>cycle</i> di bus 10EE107A .....	40
Gambar 4.7 Hasil <i>plotting</i> SC 2 fasa 30 <i>cycle</i> di bus 10EE107A .....	41
Gambar 4.8 Hasil <i>plotting</i> simulasi hubung singkat 3 fasa 30 <i>cycle</i> di sisi HV transformator 10EE105A .....	42
Gambar 4.9 Hasil <i>plotting</i> simulasi hubung singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i> di sisi HV transformator 10EE105A .....	43
Gambar 4.10 Hasil <i>plotting</i> simulasi hubung singkat 3 fasa 30 <i>cycle</i> di sisi HV transformator 10EE101A.....	44
Gambar 4.11 Hasil <i>plotting</i> simulasi hubung singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i> di sisi HV transformator 10EE101A.....	45
Gambar 4.12 <i>Single line diagram</i> tipikal 2 .....	46
Gambar 4.13 Kurva TCC rele R 52-TBB5 dan <i>tie-transformer</i> <i>distribution</i> TR-TIE 500-05.....	50
Gambar 4.14 Kurva TCC rele R Ext.05 INC PLN dan <i>tie-transformer</i> TR-TIE PLN-B to 05.....	52
Gambar 4.15 Kurva TCC Tipikal 2.....	55
Gambar 4.16 Hasil <i>plotting</i> gangguan 3 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus 05EE0101D .....	56
Gambar 4.17 Hasil <i>plotting</i> gangguan 2 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus 10EE107A .....	57
Gambar 4.18 Hasil <i>plotting</i> simulasi hubung singkat 3 fasa 30 <i>cycle</i> di bus 10EE107D.....	58

Gambar 4.19 Hasil <i>plotting</i> simulasi hubung singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i> di bus 10EE107D .....	59
Gambar 4.20 <i>Single line diagram</i> tipikal 3 .....	60
Gambar 4.21 Kurva TCC rele R Ext.500 INC PLN dan <i>tie-transformer</i> TR-TIE INC PLN-A to 500 .....	63
Gambar 4.22 Kurva TCC rele R INC PLN-A dan transformator distribusi TR-A PLN .....	67
Gambar 4.23 Kurva TCC Tipikal 3 .....	70
Gambar 4.24 Hasil <i>plotting</i> gangguan 3 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus 500EE0002 .....	71
Gambar 4.25 Hasil <i>plotting</i> gangguan 2 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus 500EE0002 .....	72
Gambar 4.26 Hasil <i>plotting</i> gangguan 3 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di sisi primer TR-TIE INC PLN to 500 .....	73
Gambar 4.27 Hasil <i>plotting</i> gangguan 2 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus 500EE0002 .....	74
Gambar 4.28 Hasil <i>plotting</i> gangguan 3 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus INC PLN FEEDER (A) .....	75
Gambar 4.29 Hasil <i>plotting</i> gangguan 2 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus INC PLN FEEDER (A) .....	76
Gambar 4.30 Hasil <i>plotting</i> gangguan 3 fasa 30 <i>cycle</i> di transformator distribusi INC PLN-A .....	77
Gambar 4.31 Hasil <i>plotting</i> gangguan 2 fasa 30 <i>cycle</i> pada transformator distribusi INC PLN-A .....	78
Gambar 4.32 Hasil <i>plotting</i> gangguan 2 fasa 30 <i>cycle</i> pada transformator distribusi INC PLN-A dengan rekomendasi penambahan rele .....	80
Gambar 4.33 <i>Single line diagram</i> tipikal 4 .....	82
Gambar 4.34 Hasil <i>plotting</i> gangguan ke tanah tipikal 4 pada bus 10EE107A di 0,4 kV .....	83
Gambar 4.35 SLD gangguan ke tanah tipikal 5 .....	84
Gambar 4.36 Hasil <i>plotting</i> gangguan ke tanah tipikal 5 pada transformator 10EE105A di tegangan 3,45 kV .....	86
Gambar 4.37 SLD gangguan ke tanah tipikal 6 .....	87
Gambar 4.38 Hasil <i>plotting</i> gangguan ke tanah tipikal 6 pada transformator 63EE1111B di tegangan 13,8 kV .....	91

Gambar 4.39 SLD gangguan tanah tipikal 7 .....	92
Gambar 4.40 Hasil <i>plotting</i> simulasi hubung singkat fasa ke tanah pada sisi primer transformator isolasi TR-TIE INC PLN to 500 .....	94
Gambar 4.41 SLD gangguan tanah tipikal 8 .....	95

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan arus hubung singkat .....	7
Tabel 2.2 CTI untuk rele elektromekanik dan statik .....	13
Tabel 2.3 Koefisien <i>Inverse Time Dial</i> .....	14
Tabel 2.4 Koefisien IAC <i>Inverse Time Dial</i> .....	15
Tabel 3.1 Daftar generator yang tersedia .....	19
Tabel 3.2 Daftar pembebanan .....	19
Tabel 3.3 Data level tegangan .....	20
Tabel 3.4 Data rating <i>tie-transformator</i> distribusi .....	20
Tabel 4.1 Nilai arus gangguan 2 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada tipikal 1	25
Tabel 4.2 Nilai arus gangguan 2 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada tipikal 2	26
Tabel 4.3 Nilai arus gangguan 2 fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada tipikal 3	26
Tabel 4.4 Nilai arus gangguan 3 fasa pada tipikal 1 .....	28
Tabel 4.5 Nilai arus gangguan 3 fasa pada tipikal 2 .....	28
Tabel 4.6 Nilai arus gangguan 3 fasa pada tipikal 3 .....	29
Tabel 4.7 Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus 10EE107A .....	41
Tabel 4.8 Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di sisi HV transformator 10EE105A di tegangan 3,45 kV .....	43
Tabel 4.9 Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di sisi HV transformator 10EE105A di tegangan 3,45 kV .....	45
Tabel 4.10 Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada bus 10EE107A di tegangan 13,8 kV .....	57
Tabel 4.11 Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada bus 10EE107D di tegangan 13,8 kV .....	59
Tabel 4.12 Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 <i>cycle</i> di bus 500EE0002 di tegangan 13,8 kV .....	72
Tabel 4.13 Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada TR- TIE INC PLN to 500 di tegangan 13,8 kV .....	74
Tabel 4.14 Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada bus INC PLN FEEDER (A) di tegangan 13,8 kV .....	76
Tabel 4.15 Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 <i>cycle</i> pada transformator distribusi INC PLN-A di tegangan 13,8 kV .	78

Tabel 4.16 Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 *cycle* pada tipikal 3 dengan rekomendasi penambahan rele .....80

Tabel 4.17 Waktu kerja rele gangguan ke tanah pada tipikal 6 .....91

Tabel 4.18 Rangkuman pengaturan LVCB dan rele arus lebih ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT Pertamina *Refinery Unit* (RU) IV, Cilacap merupakan salah satu kilang minyak milik PT Pertamina (Persero) yang memiliki kapasitas terbesar di Indonesia yaitu sebesar 348.000 barrel/hari dan terlengkap fasilitasnya. Kilang ini bernilai strategis karena memasok 34% kebutuhan BBM nasional atau 60% kebutuhan BBM di Pulau Jawa [1]. PT Pertamina RU IV Cilacap terdiri atas 6 unit proses, yaitu Fuel Oil Complex I, Lube Oil Complex I, Fuel Oil Complex II, Lube Oil Complex II, Lube Oil Complex III, Kilang Paraxylene Complex, serta Kilang LPG dan Sulphur Recovery Unit. Unit – unit tersebut menghasilkan produk berupa BBM, NBM maupun Petrokimia.

Dengan penandatanganan nota kesepahaman (*memorandum of understanding*) mengenai kerjasama penyediaan layanan kelistrikan dari PLN untuk 5 (lima) kilang Pertamina yaitu RU II Dumai, RU III Plaju-Sungai Gerong, RU IV Cilacap, RU V Balikpapan, dan RU VI Balongan [2]. Kerjasama tersebut menyebabkan sistem kelistrikan yang disuplai akan mengalami perubahan. Perubahan tersebut mempengaruhi nilai arus nominal dan arus hubung singkat pada sistem. Oleh sebab itu kapasitas peralatan dan *setting* rele proteksi perlu diperhatikan lagi.

Salah satu peralatan pada sistem proteksi adalah rele arus lebih. Rele arus lebih merupakan peralatan yang dapat mendeteksi arus lebih yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat maupun beban lebih (*overload*) yang dapat merusak peralatan yang berada di wilayah proteksi.

Pada sistem kelistrikan suatu pabrik dibutuhkan koordinasi proteksi yang tepat yaitu pemilihan *circuit breaker* (CB) dan *time dial setting* (TDS) yang tepat sehingga didapatkan *grading time* yang sesuai standar. Hal tersebut dapat ditentukan dengan mengetahui nilai arus gangguan maksimum, arus gangguan minimum, urutan rele trip dan *time delay* (waktu tunda) antar rele untuk trip. Karena jika pengaturan rele proteksi salah maka saat terjadi gangguan akan menjalar ke area lain dan kejadian tersebut dapat mengganggu proses produksi.

Pada Tugas akhir ini dibahas analisis pengaturan rele arus lebih pada PT Pertamina RU IV Cilacap. Hasil analisis tersebut akan digunakan sebagai referensi untuk menentukan pengaturan rele arus lebih yang tepat.

Sehingga sistem proteksi dapat bekerja dengan cepat dan selektif dalam memutus arus gangguan .

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Pemilihan pengaturan koordinasi proteksi rele arus beban lebih dan gangguan fasa.
2. *Grading time* pembukaan *circuit breaker* (CB) pada rele beban.
3. Koordinasi proteksi rele *ground* pada rele *incoming feeder* PLN.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut :

1. Memodelkan, mensimulasikan, dan menganalisis sistem kelistrikan di PT Pertamina RU IV Cilacap yang terintegrasi dengan PLN.
2. Menentukan pengaturan rele arus lebih fasa dan *ground* yang tepat dan handal di PT Pertamina RU IV Cilacap yang terintegrasi dengan PLN.

## 1.4 Metodologi

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Studi literatur  
Studi literatur dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan judul tugas akhir agar penguasaan materi lebih baik. Yaitu dengan mengumpulkan referensi - referensi yang berkaitan dengan studi yang diambil. Studi yang akan dilakukan mengenai rele arus lebih sesuai dengan permasalahan yang dihadapi.
2. Pengumpulan Data  
Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan mengenai sistem kelistrikan pada PT Pertamina RU IV Cilacap baik *single line diagram* (SLD) maupun spesifikasi peralatan (generator, kabel, motor, dan transformator).
3. Pemodelan Sistem  
Menginterpretasikan data yang diperoleh dengan menggunakan *software* ETAP. Pemodelan yang dibuat yaitu sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang terintegrasi dengan PLN dan memasukkan data rating peralatan yang ada pada *software* ETAP.

4. Simulasi dan Analisis Hubung Singkat  
Selanjutnya adalah mengolah data dalam bentuk simulasi untuk mengetahui *Power Flow* (aliran daya) dan arus hubung singkat. Analisa aliran daya digunakan untuk menentukan tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif di berbagai macam titik/bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal. Sedangkan nilai arus hubung singkat digunakan untuk menentukan pengaturan rele proteksi .
5. Perhitungan *setting* rele  
Menghitung pengaturan rele yang akan digunakan dengan mempertimbangkan parameter - parameter yang telah ada.
6. *Plot Time Current Characteristic*  
*Plot Time Current Characteristic* (TCC) digunakan untuk melihat apakah koordinasi proteksi serta pengaturan rele yang digunakan telah tepat. Apabila masih terdapat kesalahan maka diperlukan pengaturan ulang (*resetting*).
7. Penarikan kesimpulan  
Memberikan kesimpulan dan rekomendasi pengaturan rele yang baik untuk digunakan di PT Pertamina RU IV Cilacap setelah terintegrasi dengan PLN.
8. Penulisan buku tugas akhir  
Penulisan laporan adalah rangkuman kesimpulan akhir dari beberapa rangkaian metodologi di atas untuk menggambarkan hasil serta analisis dan simulasi yang telah dilakukan.

## 1.5 Sitematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

1. BAB 1 Pendahuluan  
Bab ini meliputi penjelasan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, relevansi dan manfaat dari tugas akhir.
2. BAB 2 Dasar Teori  
Bab ini menjelaskan mengenai teori - teori penunjang yang berkaitan dengan tugas akhir.
3. BAB 3 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap  
Bab ini membahas tentang konfigurasi kelistrikan eksisting pada PT Pertamina RU IV Cilacap yang terintegrasi dengan PLN.

#### 4. BAB 4 Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas hasil simulasi yang telah dilakukan disertai dengan perhitungan-perhitungan untuk menentukan pengaturan rele sehingga menghasilkan koordinasi proteksi yang lebih baik.

#### 5. BAB 5 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari studi literatur, simulasi dan analisis yang telah dilakukan.

### **1.6 Relevansi dan Manfaat**

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sebagai rekomendasi bagi PT Pertamina RU IV Cilacap dalam melakukan pengaturan rele arus lebih setelah terintegrasi dengan PLN.
2. Dapat digunakan sebagai referensi mengenai studi rele arus lebih bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir dengan permasalahan yang serupa.

## **BAB 2**

### **KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN**

Sebuah sistem kelitrikan yang beroperasi normal harus memiliki kesiapan jika terjadi gangguan . Ketika terjadi gangguan pada sistem kelistrikan, rele proteksi harus mampu mengisolasi arus gangguan dengan mengoperasikan pemutus tenaga (*circuit breaker*) agar kerusakan pada peralatan dapat dicegah serta kontinuitas pelayanan / *supply* tenaga listrik dapat terjaga dengan baik [3]. Masalah koordinasi rele pengaman dalam sistem tenaga listrik harus diatur sehingga fungsi dasar dari pengaman terpenuhi sesuai persyaratan, yaitu sensitivitas, selektivitas, keandalan, dan kecepatan. Persyaratan ini harus dipenuhi untuk berbagai kondisi sistem seperti: (i) berbagai kondisi gangguan harus dideteksi oleh rele yang tepat; (ii) rele yang terletak lebih dekat dengan gangguan harus beroperasi terlebih dahulu; (iii) jika rele utama gagal, rele cadangan (*backup*) harus beroperasi, (iv) dan pengoperasian rele harus secepat mungkin untuk mencegah kerusakan peralatan, dan harus beroperasi hanya jika ada gangguan yang membahayakan sistem [4]. Salah satu contohnya terjadi pada tugas akhir saudari Aprillia Intan Kusumawati yang berjudul “Studi Penggunaan *Insulating Transformer* untuk Mengatasi Kegagalan Koordinasi Proteksi di PT Terminal Teluk Lamong”, dalam tugas akhir tersebut mayoritas kesalahan terjadi karena waktu tunda antar rele diatur kurang dari 0,2-0,4 detik. Selain itu juga terdapat kesalahan pengaturan arus minimum gangguan rele yang terlalu besar. Sehingga arus yang seharusnya dapat dikatakan sebagai arus gangguan, rele tersebut tidak merasakan arus gangguan [5]. Sehingga dengan adanya sistem proteksi, gangguan tidak akan meluas serta kerugian yang ditimbulkan dapat diminimalisasi.

#### **2.1 Gangguan pada Sistem Kelistrikan**

Gangguan pada sistem tenaga listrik menyebabkan sistem tidak berjalan seperti yang diharapkan, disisi lain juga dapat merusak peralatan yang terpasang, karena saat terjadi gangguan arus menjadi jauh lebih besar dari arus nominal , serta dapat mengancam keselamatan manusia, sehingga gangguan pada sistem tenaga listrik harus cepat dilokalisir. Gangguan pada sistem tenaga listrik menurut sifatnya dapat dibagi

menjadi dua. Yang pertama adalah gangguan yang bersifat sementara (*temporary*) dan yang kedua bersifat permanen (*stationary*). Gangguan bersifat sementara yaitu ketika terjadi gangguan pada sistem, tanpa ada proses perbaikan gangguan itu akan hilang dan sistem kembali berjalan normal. Gangguan yang bersifat permanen yaitu ketika terjadi gangguan pada sistem, maka gangguan tersebut tidak dapat hilang dengan sendirinya sehingga petugas harus melakukan proses perbaikan gangguan, supaya sistem dapat kembali berjalan normal.

Gangguan pada sistem tenaga listrik dilihat dari asalnya dapat dibagi menjadi dua. Yaitu gangguan yang berasal dari dalam sistem (*internal*) dan gangguan yang berasal dari luar sistem (*eksternal*). Gangguan yang berasal dari dalam sistem salah satu contohnya adalah disebabkan dari isolasi suatu peralatan yang kualitasnya menurun sehingga dapat mengakibatkan hubung singkat. Gangguan yang berasal dari luar sistem salah satu contohnya adalah sambaran petir, ketika pentanahan pada sistem salah maka sambaran petir tidak dapat langsung diketanahkan sehingga akan mengganggu sistem dan merusak peralatan.

## **2.2 Gangguan Arus pada Sistem Kelistrikan**

Gangguan arus pada sistem kelistrikan umumnya yang sering terjadi adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

### **2.2.1 Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih merupakan gangguan arus pada sistem kelistrikan yang terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ( $I > I_n$ ). Ketika gangguan ini terjadi arus yang mengalir akan mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik, sehingga peralatan listrik akan mudah untuk rusak.

### **2.2.2 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat merupakan suatu gangguan pada sistem kelistrikan yang terjadi karena adanya hubungan antar fasa atau antara fasa dengan *ground* [6]. Gangguan ini menimbulkan arus yang sangat besar sehingga gangguan ini dapat merusak peralatan listrik yang berada dekat dengan titik gangguan. Gangguan ini dapat dibagi menjadi dua yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat tak simetri (asimetri) [7].

Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan yang terdiri dari gangguan hubung singkat tiga fasa dengan *ground* (L-L-L-G) dan gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L). Gangguan ini menyebabkan tegangan pada titik terjadi gangguan akan bernilai 0 namun arus yang mengalir ke titik gangguan bernilai sangat besar.

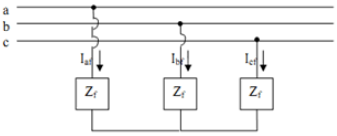
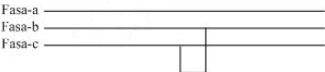
Gangguan hubung singkat asimetri merupakan gangguan yang terdiri dari gangguan dua fasa (L-L), dua fasa dengan *ground* (L-L-G), serta satu fasa ke tanah (L-G). Gangguan ini menyebabkan dua fenomena, yaitu arus lebih pada fasa yang terganggu dan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan hubung singkat tak simetri adalah gangguan yang sering terjadi dalam sistem kelistrikan.

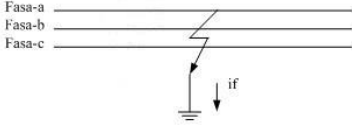
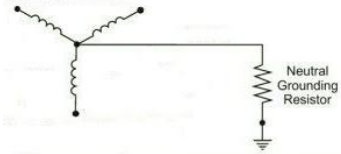
Hubung singkat akan mengakibatkan berhentinya kontinuitas daya karena pembukaan *circuit breaker*, namun peralatan dalam sistem kelistrikan akan terhindar dari kerusakan.

### 2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Berdasarkan gangguan hubung singkat yang terjadi maka besar arus hubung singkat dapat dijabarkan rumusnya sebagai berikut [8]:

**Tabel 2.1** Persamaan arus hubung singkat

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian SC dan Pengganti	Persamaan
3 fasa		$V_a = V_b = V_c$ $I_{SC3\phi} = \frac{V_f}{Z_1}$
2 fasa		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{SC2\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2}$ $I_{SC2\phi} = 0,866 \times I_{SC3\phi}$

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian SC dan Pengganti	Persamaan
1 fasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ $I_{SC1\emptyset} = \frac{3 \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$
1 fasa ke tanah (dengan NGR)		$I_{SC1\emptyset} = \frac{3 \times V_f}{Z_1 + Z_2 + 3Z_0}$

Berdasarkan tabel 2.1 rumus hubung singkat dapat dijelaskan sebagai berikut:

### Hubung Singkat 3 Fasa Ke Tanah

Hubung singkat 3 fasa merupakan gangguan yang termasuk gangguan simetris. Gangguan ini menyebabkan arus gangguan yang paling besar. Maka dibutuhkan perhitungan yang tepat untuk pemilihan peralatan listrik dan pengamannya. Besarnya arus hubung singkat 3 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{SC3\emptyset} = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- $I_{SC3\emptyset}$  = arus hubung singkat 3 fasa ke tanah
- $V_f$  = tegangan bus saat gangguan
- $Z_1$  = impedansi urutan positif
- $Z_2$  = impedansi urutan negatif
- $Z_0$  = impedansi urutan nol



### Hubung Singkat 2 fasa

Hubung singkat 2 fasa merupakan gangguan yang terjadi ketika antar fasa yang ada saling berhubungan. Hubung singkat 2 fasa termasuk hubung singkat asimetri dan biasanya gangguan ini jarang terjadi. Arus yang dihasilkan pada gangguan hubung singkat ini kecil sehingga arus hubung singkat ini digunakan sebagai arus hubung singkat minimum untuk koordinasi proteksi. Besarnya arus hubung singkat 2 fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{SC2\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

$I_{SC2\phi}$  = arus hubung singkat 2 fasa

$V_f$  = Tegangan bus saat gangguan

$Z_1$  = impedansi urutan positif

$Z_2$  = impedansi urutan negatif

Sedangkan, persamaan  $I_{SC2\phi} = 0,866 \times I_{SC3\phi}$  didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$I_{SC2\phi} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{SC2\phi} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times Z_1}$$

$$I_{SC2\phi} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{SC3\phi}$$

$$I_{SC2\phi} = \mathbf{0,866} \times I_{SC3\phi} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

$I_{SC2\phi}$  = arus hubung singkat 2 fasa

$I_{SC3\phi}$  = arus hubung singkat 3 fasa

$V_{LN}$  = tegangan *line to netral*

$V_{LL}$  = tegangan *line to line*

$Z_1$  = impedansi urutan positif

$Z_2$  = impedansi urutan negatif

### Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Hubung singkat 1 fasa ke tanah merupakan gangguan yang termasuk gangguan asimetris. Besarnya arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{SC1\phi} = \frac{3 \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- $I_{SC1\phi}$  = arus hubung singkat 1 fasa ke tanah
- $V_f$  = tegangan bus saat gangguan
- $Z_1$  = impedansi urutan positif
- $Z_2$  = impedansi urutan negatif
- $Z_0$  = impedansi urutan nol

### 2.4 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele arus lebih (OCR) dapat mengamankan gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Rele arus lebih adalah rele yang bekerja jika nilai arus yang mengalir pada sistem kelistrikan melebihi nilai pengaturannya. Rele ini bekerja ketika memenuhi keadaan berikut [9]:

$$I_f > I_p \text{ rele bekerja (trip)}$$

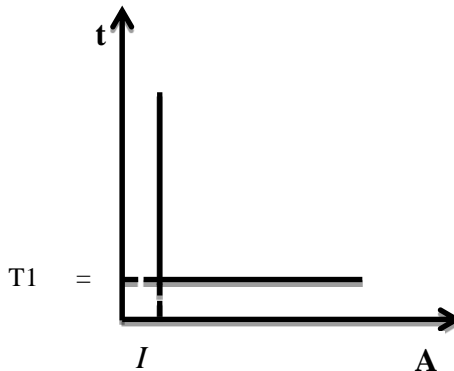
$$I_f < I_p \text{ rele tidak bekerja (block)}$$

Dimana  $I_p$  adalah arus kerja atau arus *pick up*, dinyatakan menurut gulungan sekunder dari transformator arus (CT) yang terhubung ke rele . Dan  $I_f$  merupakan arus gangguan yang mengalir pada sisi primer CT, yang kemudian dikonversi terhadap gulungan sekunder CT untuk dibandingkan dengan  $I$  *pick up*. Terdapat beberapa jenis rele arus lebih antara lain rele arus lebih waktu tertentu, rele arus lebih waktu instan dan rele arus lebih waktu *inverse* .

#### 2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Instan (*Instantaneous OCR*)

*Instantaneous* OCR merupakan rele yang bekerja tanpa *time delay* atau waktu tunda pada saat arus yang mengalir melebihi nilai pengaturannya. Pada praktiknya, rele arus lebih waktu instan akan bekerja

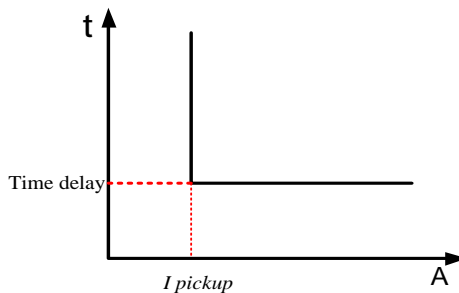
dengan waktu operasi sebesar 0,08-0,1 detik. Karakteristiknya sebagai berikut:



**Gambar 2.1** Karakteristik rele arus lebih waktu kerja instan

#### 2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu (*Definite Time OCR*)

Rele arus lebih waktu tertentu bekerja seperti rele arus lebih waktu instan tetapi memiliki waktu operasi (*time delay*) yang dapat diatur sesuai kebutuhan koordinasi rele pengaman. Dengan menggunakan rele arus lebih waktu tertentu, semua nilai arus yang melebihi arus *pick up* akan memicu rele memberikan sinyal kepada CB untuk memutus daya dengan waktu yang sama (*definite*).



**Gambar 2.2** Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

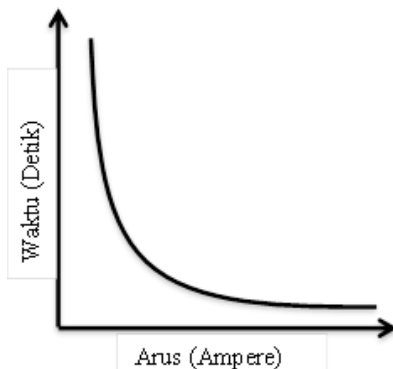
Rele arus lebih waktu instan diatur untuk bekerja dalam waktu seketika atau waktu tertentu ketika arus yang mengalir melebihi arus *pickup* . Rele arus lebih waktu instan biasanya digunakan untuk melindungi peralatan atau sistem dari gangguan arus lebih hubung singkat . Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan arus hubung singkat minimum ( $I_{sc \text{ min}}$ ) yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Pengaturan *pickup* pada rele ini ditetapkan sebagai:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{SC \text{ min}}$$

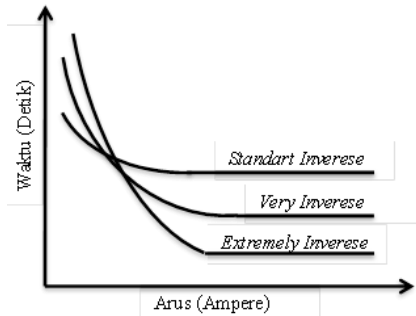
#### 2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Kerja *Inverse*

Rele arus lebih waktu *inverse* memiliki karakteristik kerja dimana waktu operasi berbanding terbalik dengan besar arus gangguan yang terjadi [10]. Semakin kecil nilai arus gangguan maka waktu rele bekerja akan semakin lama, namun jika nilai arus gangguan semakin besar maka waktu kerja rele akan semakin cepat.

Pada rele arus lebih waktu *inverse* waktu operasi rele ditentukan oleh *time dial*. Semakin kecil nilai *time dial* maka waktu operasi rele akan semakin cepat. Pada proteksi arus lebih waktu *inverse* terdapat karakteristik kurva *inverse* antara lain *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.2** Karakteristik rele arus lebih waktu kerja *inverse*



**Gambar 2.3** Macam – macam kurva rele arus lebih waktu kerja *inverse*

## 2.5 Pengaturan Rele Arus Lebih

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

**Tabel 2.2** CTI untuk rele elektromekanik dan statis

Komponen	Waktu kerja (detik)	
	Elektromekanik	Statis
Waktu CB membuka	0,08	0,08
<i>Overtravel</i> rele	0,10	0
Toleransi rele dan <i>error setting</i>	0,12	0,12
<b>Total CTI</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>

### 2.5.1 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Pada pengaturan rele arus lebih waktu *inverse* dapat ditentukan *setting pickup* dan *time dial*. Pada *setting pickup*, batas penentuan pengaturan dipilih dengan kondisi rele arus lebih tidak bekerja saat arus beban penuh. Oleh sebab itu, pengaturan arusnya ( $I_{set}$ ) harus bernilai lebih besar dari arus beban penuh. Menurut British Standar BS 142, batas penentuan  $I_{set}$  adalah sebagai berikut :

$$1,05 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA} \dots\dots\dots (5)$$

*Setting pickup* pada rele arus lebih ditentukan oleh pemilihan *tap* yang sesuai. Untuk menentukan nilai *tap setting* rele arus lebih waktu *inverse* digunakan persamaan menurut British Standard BS 142 adalah:

$$T_{\text{ap}} = I_{\text{SET}} / CT_{\text{primary}} \dots\dots\dots (6)$$

Selain setelan *tap setting*, pada rele arus lebih waktu *inverse* juga harus menentukan *time dial setting* (TDS). Nilai TDS pada rele arus lebih waktu *inverse* digunakan persamaan berikut [11]:

$$t_{\text{op}} = T \left( \frac{K}{\left(\frac{I_{\text{SC}}}{I_{\text{set}}}\right)^{\alpha} + L} \right) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

- $t_{\text{op}}$  = waktu operasi (detik)
- $T$  = *time multiplying setting (time dial)*
- $I_{\text{SC}}$  = arus gangguan (ampere)
- $I_{\text{set}}$  = arus *pickup* (ampere)
- $K$  = koefisien *inverse* 1 (lihat Tabel 2.3)
- $\alpha$  = koefisien *inverse* 2 (lihat Tabel 2.3)
- $\beta$  = koefisien *inverse* 3 (lihat Tabel 2.3)

**Tabel 2.3** Koefisien *Inverse Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	$K$	$\alpha$	$L$
IEC Standard <i>Inverse</i>	0,14	0,02	0
IEC Very <i>Inverse</i>	13,50	1	0
IEC Extremely <i>Inverse</i>	80	2	0
IEEE Moderately <i>Inverse</i>	0,0515	0,02	0,114
IEEE Very <i>Inverse</i>	19,61	2	0,491
IEEE Extreme <i>Inverse</i>	28,2	2	0,122

Pada rele tertentu, memiliki tipe kurva IAC yang dapat ditulis dengan persamaan berikut [12]:

$$t_{op} = T \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

- $t_{op}$  = waktu operasi (detik)
- $T$  = *time multiplying setting (time dial)*
- $I_{sc}$  = arus gangguan (ampere)
- $I_{set}$  = arus *pickup* (ampere)
- $A$  = koefisien *inverse* 1 (lihat Tabel 2.4)
- $B$  = koefisien *inverse* 2 (lihat Tabel 2.4)
- $C$  = koefisien *inverse* 3 (lihat Tabel 2.4)
- $D$  = koefisien *inverse* 4 (lihat Tabel 2.4)
- $E$  = koefisien *inverse* 5 (lihat Tabel 2.4)

**Tabel 2.4** Koefisien IAC *Inverse Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien				
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>Extremely Inverse</i>	0,004	0,6379	0,62	1,7872	0,2461
<i>Very Inverse</i>	0,09	0,7955	0,1	-1,2885	7,9586
<i>Inverse</i>	0,2078	0,863	0,8	-0,418	0,1947
<i>Short Inverse</i>	0,0428	0,0609	0,62	-0,001	0,0221

### 2.5.2 Pengaturan Rele Arus Lebih Waktu Instan

Pengaturan rele arus lebih waktu instan bekerja secara seketika saat arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Pada perhitungan pengaturan rele arus lebih waktu instan digunakan  $I_{sc\ min}$  yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada 30 *cycle* untuk menentukan batas arus pengaturannya. Sehingga untuk menentukan nilai *setting time dial* pada rele arus lebih waktu instan digunakan persamaan berikut:

$$1,6\ FLA \leq I_{set} \leq 0,8\ I_{sc\ min} \dots\dots\dots(9)$$

Pada perhitungan pengaturan rele arus lebih waktu instan perlu diperhatikan kondisi pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh transformator, pengaturan  $I_{set}$  menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc \max LV} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min HV} \dots\dots\dots (10)$$

Ketika  $I_{sc \max LV} < 0,8 I_{sc \min HV}$ , pengaturan *time dial* pada sisi A pada kondisi tersebut akan kembali seperti pengaturan rele utama yaitu 0,1s.

**2.6 Rele Gangguan ke Tanah (*Ground Fault Relay*)**

Rele gangguan ke tanah (GFR) merupakan rele yang digunakan untuk mengamankan peralatan dari hubung singkat satu fasa ke tanah. Rele ini digunakan pada sistem yang menggunakan sistem pentanahan untuk membatasi arus gangguan ke tanahnya.

**2.7 Pengaturan Rele Gangguan ke Tanah**

Pada pengaturan rele gangguan ke tanah digunakan  $I_{sc \text{ L-G}}$  atau arus hubung singkat satu fasa ke tanah, sebagai batas penentuan arus pengaturannya. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$5-10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}} \dots\dots\dots (11)$$

Pada sistem dengan *Neutral Grounding Resistor* (NGR), nilai arus gangguan satu fasa ke tanah diasumsikan adalah nilai arus maksimum melalui NGR tersebut. Sehingga persamaannya sebagai berikut :

$$5-10\% \times I_{\max \text{ NGR}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{\max \text{ NGR}} \dots\dots\dots (12)$$

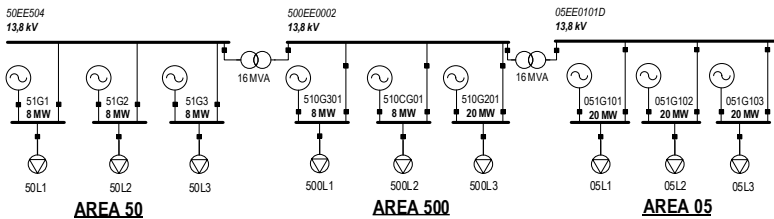


# BAB 3

## SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU IV CILACAP

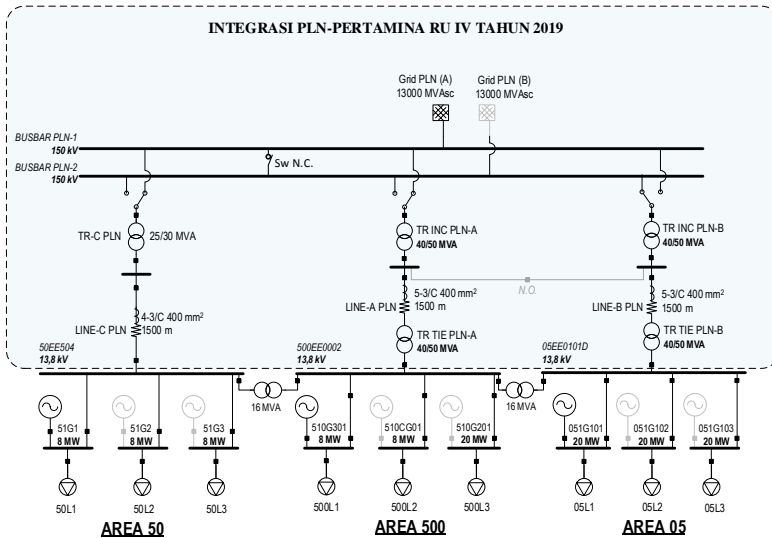
### 3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terkoneksi dengan Sistem PLN 150 kV

PT. Pertamina RU IV Cilacap merupakan unit pengolahan terbesar di tanah air dari 7 unit pengolahan yang lain, yang memiliki kapasitas produksi terbesar yaitu 384 MBSD, 384.000 *Barrel Stream Day*. Banyak sekali program - program *upgrading* seperti proyek *Residual Fluid Catalytic Cracker* (RFCC) dan Pertamina Langit Biru Cilacap (PLBC) yang dilakukan, guna meningkatkan kualitas, mutu, maupun *end product* yang lebih baik. Sistem kelistrikan eksisting PT Pertamina RU IV Cilacap dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** SLD eksisting PT Pertamina RU IV Cilacap

Setelah terdapat pemindahan beban non esensial yang disuplai oleh sistem PLN, kini PT Pertamina RU IV Cilacap juga memindahkan sebagian beban esensial ke sistem PLN. Sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang terkoneksi dengan sistem PLN dapat dilihat pada gambar Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** SLD PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terintegrasi dengan sistem PLN

## 3.2 Data Kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terkoneksi dengan Sistem PLN

### 3.2.1 Kapasitas Pembangkit

Saat ini sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap dibagi ke dalam 3 area yang tersinkronisasi satu sama lain melalui suatu transfer bus pada tegangan 13,8 kV. Ketiga area tersebut adalah Area 50, Area 500, dan Area 05. Secara umum, pada seluruh sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap terdapat 9 (sembilan) pembangkit listrik (*generator*) yang tersebar pada beberapa area dengan rincian sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Daftar generator yang tersedia

No	Area	ID	Tipe	Kapasitas Daya (MW)
1	50	51G1	Turbin Uap	8
2		51G2 ( <i>OFF</i> )	Turbin Uap	8
3		51G3 ( <i>OFF</i> )	Turbin Uap	8
4	500	510G301	Turbin Uap	8
5		510-CG01 ( <i>OFF</i> )	Turbin Uap	8
6		51G201 ( <i>OFF</i> )	Turbin Uap	20
7	05	051G101	Turbin Uap	20
8		051G102 ( <i>OFF</i> )	Turbin Uap	20
9		051G103 ( <i>OFF</i> )	Turbin Uap	20
<b>Total Daya Pembangkit yang Tersedia (MW)</b>				<b>120</b>
<b>Total Daya Pembangkit (MW)</b>				<b>36</b>

### 3.2.2 Data Pembebanan

Sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU IV Cilacap terdiri dari 3 area yang terinterkoneksi dengan menggunakan *Tie-Transformer* pada level tegangan 13.8 kV. Berikut data beban bisa dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Daftar pembebanan

Area	Sub-Area ID	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Daya Nyata (MVA)
50	50EE501	7,14	3,72	8,05
	50EE502	8,60	4,70	9,80
	50EE503	2,78	1,35	3,09
500	500EE0001	19,73	11,69	22,93
	500EE0101	8,80	6,20	10,76
	500EE2101	1,70	0,96	1,95
05	05EE0101A	11,07	5,45	12,34
	05EE0101B	11,6	6,10	13,11
	05EE0101C	7,19	3,87	8,17
<b>Total</b>		<b>78,61</b>	<b>44,04</b>	<b>90,2</b>

### 3.2.3 Sistem Distribusi di PT Pertamina RU IV Cilacap

Dengan sistem distribusi utama berada pada level tegangan 13,8 kV, dalam operasinya dibutuhkan peralatan listrik untuk menurunkan tegangan 150 kV yang berasal dari tegangan *grid* PLN, menurunkan tegangan 13,8 kV ke tegangan 3,45 kV untuk menyuplai beban motor,

serta menurunkan tegangan 3,45 kV ke tegangan 0,4 kV untuk menyuplai motor – motor berdaya kecil, pendingin, dan penerangan di dalam ruangan. Berikut ini merupakan data level tegangan pada Pertamina RU IV Cilacap ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Data level tegangan

No.	Bus	Tegangan (kV)
1	Bus 150 PLN	150
2	Bus INC PLN	13,8
3	Transfer Bus	13,8
4	Generator Bus	13,8
5	Bus MCC 3,45 kV	3,45
6	Bus MCC 3,45 kV	0,4

PT. Pertamina RU IV Cilacap memiliki sistem kelistrikan yang radial untuk setiap areanya, penggunaan *tie-transformator* pada level tegangan 13.8 kV, sistem tersebut menggabungkan dan menginterkoneksi sistem radial antar area 50, 500, maupun 05. Selain itu terdapat 2 buah *tie-transformator* pada level tegangan 13,8 kV untuk menghubungkan sisi sekunder transformator *incoming* PLN-A dan PLN-B ke masing – masing transfer bus area 500 dan 05. Data spesifikasi *tie-transformator* distribusi ditunjukkan pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Data rating *tie-transformator* distribusi

ID Transformator	Tegangan (kV)	Rating (MVA)	%Z	Hubungan
TR TIE 50-500	13,8/13,8	16	13,8	$\Delta/\Delta$
TR TIE 500-05	13,8/13,8	16	13,8	$\Delta/\Delta$
TR TIE PLN-A	13,8/13,8	40	15	$\Delta/\Delta$
TR TIE PLN-B	13,8/13,8	40	15	$\Delta/\Delta$

Untuk menurunkan tegangan 150 kV dari *grid* PLN ke tegangan 0,4 kV, pada PT Pertamina RU IV Cilacap membutuhkan tiga transformator distribusi yaitu transformator 150/13,8 kV, 13,8/3,45 kV, dan 3,45/0,4 kV.

### 3.2.4 Sistem proteksi PT Pertamina RU IV Cilacap

Sistem proteksi merupakan hal yang penting guna menjaga kontinuitas suplai daya, dan menjaga kegiatan produksi tetap berjalan

dengan baik dan handal. Terkoordinasinya sistem proteksi dengan baik, mampu mengisolasi daerah gangguan secepat mungkin. Jenis peralatan pengaman yang terdapat pada PT Pertamina RU IV Cilacap adalah rele 50 dan 51 untuk mengamankan gangguan akibat arus lebih. LVCB dan rele yang digunakan pada PT Pertamina RU IV Cilacap sebagai berikut:

LVCB:

**Siemens, model 3WL51S 10**

Long – Time:	Tersedia
LT Pick up	0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,8; 0,9; 1
LT Band	10s Fixed
Short – Time:	Tersedia
ST Pick up	1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6; 8; 10; 12
ST Band	0; 0,02; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4

Rele:

**GE Multilin, model IAC -53A**

ANSI kode 51:	Tersedia
Tipe kurva	IAC – <i>Very Inverse</i>
Pick up range	1,5 – 16 Sec – 5A
Pick up step	-
ANSI kode 50:	Tidak tersedia
Pick up range	-
Time delay range	-
Time delay step	-
ANSI kode 50G:	Tidak tersedia
Pick up range	-
Time delay range	-
Time delay step	-

**GE Multilin, model IAC -77A**

ANSI kode 51:	Tersedia
Tipe kurva	IAC – <i>Very Inverse</i>
Pick up range	0,1 – 16 Sec – 5A
Pick up step	-
ANSI kode 50:	Tidak tersedia
Pick up range	-

Time delay range	-
Time delay step	-
ANSI kode 50G:	Tidak tersedia
Pick up range	-
Time delay range	-
Time delay step	-

### **ALSTOM, model P343**

ANSI kode 51:	Tersedia
Tipe kurva	IEC – Standard <i>Inverse</i> IEC – Very <i>Inverse</i> IEC – Extremely <i>Inverse</i> IEEE – Moderately <i>Inverse</i> IEEE – Very <i>Inverse</i> IEEE – Extremely <i>Inverse</i> Definite Time
Pick up range	0,08 – 4
Pick up step	0,025
ANSI kode 50:	Tersedia
Pick up range	0,08 – 10
Time delay range	0 – 200
Time delay step	0,01
ANSI kode 50G:	Tersedia
Pick up range	0,02 – 10
Time delay range	0 – 200
Time delay step	0,01

## **BAB 4**

### **HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PENGATURAN PROTEKSI PT PERTAMINA RU IV CILACAP YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM PLN**

#### **4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang Terintegrasi dengan Sistem PLN**

Sistem integrasi kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap dengan Sistem PLN dimodelkan pada software ETAP berupa *single line diagram* (SLD) sistem kelistrikan. Pemodelan ini berdasarkan data-data yang telah didapatkan berupa data transformator, generator, kabel, *busbar*, rele eksisting, beban motor, serta sistem pentanahan.

Pemodelan SLD sistem kelistrikan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap saat terintegrasi dengan sistem PLN khususnya pada sistem proteksinya. Hal yang perlu dilakukan yaitu analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi integrasi sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang baru. Lalu, dilakukan analisis hubung singkat untuk mengetahui arus yang terjadi saat hubung singkat dan analisis koordinasi proteksi untuk mengetahui kondisi koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap yang terintegrasi dengan sistem PLN telah tepat atau belum.

#### **4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT Pertamina RU IV Cilacap**

Pemodelan tipikal bertujuan untuk memudahkan studi koordinasi proteksi untuk menentukan pengaturan rele yang tepat. Pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap dipilih beberapa tipikal antara lain:

**Tipikal 1** : Koordinasi proteksi dari beban komposit motor Cmtr-10EE107A hingga generator bus. Untuk beban Cmtr-10EE107A peralatan proteksi yang dikoordinasikan adalah LVCB CB39, LVCB 16-1-1, rele R 16-1, R 16-0, dan R 52-16.

**Tipikal 2** : Koordinasi proteksi dari generator bus 05EE0101A dan transfer bus 05EE0101D. Untuk generator bus 05EE0101A dan transfer bus 05EE0101D peralatan proteksi yang dikoordinasikan adalah rele R 52-A1, R 52-A2, R 52-TBA, R 52-TBB5, dan R Ext.05 INC PLN.

**Tipikal 3** : Koordinasi proteksi dari transfer bus 500EE0002 hingga *grid* PLN. Untuk transfer bus 500EE0002 peralatan proteksi yang dikoordinasikan adalah rele R Ext.500 INC PLN, R INC TR-TIE 500, R PLN A, R INC PLN-A, dan R GIS BAY – E01

**Tipikal 4** : Koordinasi proteksi gangguan ke tanah dari beban komposit motor Cmtr-10EE107A hingga transformator distribusi 10EE105A 3,45/0,4 kV.

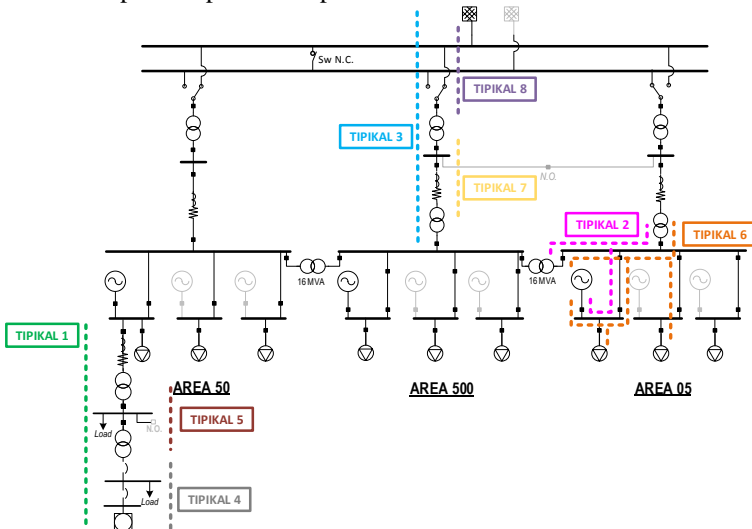
**Tipikal 5** : Koordinasi proteksi gangguan ke tanah dari transformator distribusi 10EE105A 3,45/0,4 kV hingga transformator distribusi 10EE101A 13,8/3,45 kV.

**Tipikal 6** : Koordinasi proteksi gangguan ke tanah dari transformator distribusi 3,45/0,4 kV hingga transformator isolasi TR TIE 500-05 13,8/13,8 kV dan TR TIE PLN-B to 05 13,8/13,8 kV.

**Tipikal 7** : Koordinasi proteksi gangguan ke tanah dari transformator isolasi TR TIE PLN-A to 500 13,8/13,8 kV hingga transformator distribusi TR-A PLN 150/13,8 kV.

**Tipikal 8** : Koordinasi proteksi gangguan ke tanah dari transformator distribusi TR-A PLN 150/13,8 kV hingga *grid* PLN 150 kV.

Pemilihan tipikal dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Pemilihan tipikal kordinasi proteksi



### 4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis arus gangguan hubung singkat bertujuan untuk mengetahui besar arus yang terjadi saat terjadi gangguan hubung singkat sebagai salah satu acuan untuk melakukan pengaturan proteksi pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap. Pada analisis arus gangguan hubung singkat terdapat dua kondisi arus hubung singkat yang digunakan yaitu arus hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Arus hubung singkat maksimum merupakan hubung singkat 3 fasa saat 4 *cycle* . Sedangkan, arus hubung singkat minimum merupakan hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*.

#### 4.3.1 Hubung Singkat Minimum 30 Cycle

Arus gangguan hubung singkat minimum adalah arus gangguan hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle* atau dalam keadaan *steady state* pada saat pembangkitan minimum. Hubung singkat minimum merupakan parameter yang digunakan sebagai batas *setting pick up* rele arus lebih waktu instan. Sehingga saat terjadi hubung singkat minimum, rele arus lebih dapat langsung bekerja secara instan sesuai *time dial* yang ditentukan.

Pemutusan arus kontribusi pada tipikal 1 berasal dari bus generator 50EE501. Arus tersebut bersumber dari generator, *grid* PLN, dan area lain. Nilai arus hubung singkat minimum 2 fasa pada saat 30 *cycle* pada tipikal 1 ditabulasikan seperti pada **Error! Reference source not found.**

**Tabel 4.1** Nilai arus gangguan 2 fasa pada saat 30 *cycle* pada tipikal 1

Titik Gangguan	Main / Backup	LVCB / Rele	kV Rated	Nilai Arus (A)
Bus 10EE107A	Main	CB39	0,4	12940
	Backup	16-1-1	0,4	12940
Bus 10EE106A	Main	16-1-1	0,4	12940
	Backup	R 16-1	3,45	866
Trafo 10EE105A	Main	R 16-1	3,45	9220
	Backup	R 16-0	3,45	9220
Bus 10EE104A	Main	R 16-0	3,45	9220
	Backup	R 52-16	13,8	1330
Trafo 10EE101A	Main	R 52-16	13,8	10840

Nilai arus hubung singkat minimum 2 fasa pada saat 30 *cycle* pada tipikal 2 ditabulasikan seperti pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Nilai arus gangguan 2 fasa pada saat 30 *cycle* pada tipikal 2

<b>Titik Gangguan</b>	<b>kV Rated</b>	<b>Sumber Kontribusi</b>	<b>Nilai Arus (A)</b>	<b>Keterangan</b>
Bus 05EE0101A	13,8	Generator 051G101	5890	CT 52-A1
		Area 500	3020	CT 52-TBB5
		<i>Grid</i> PLN	5320	CT Ext.05 INC PLN
		Beban motor di sub area lain	-	
		Total arus dari transfer bus 051EE0101D	8340	CT 52-TBA dan CT 52-A2
Bus 05EE0101D	13,8	Generator 051G101	5890	CT 52-A1
		Area 500	3020	CT 52-TBB5
		<i>Grid</i> PLN	5320	CT Ext.05 INC PLN
		Total arus dari generator bus 051EE0101A	5890	CT 52-TBA dan CT 52-A2

Nilai arus hubung singkat minimum 2 fasa pada saat 30 *cycle* pada tipikal 3 ditabulasikan seperti pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Nilai arus gangguan 2 fasa pada saat 30 *cycle* pada tipikal 3

<b>Titik Gangguan</b>	<b>kV Rated</b>	<b>Sumber Kontribusi</b>	<b>Nilai Arus (A)</b>	<b>Keterangan</b>
Bus 500EE002	13,8	Transfer bus 500EE002	-	
		<i>Grid</i> PLN	5330	CT Ext.500 INC PLN, CT TR-TIE PLN-A, CT INC

Titik Gangguan	kV Rated	Sumber Kontribusi	Nilai Arus (A)	Keterangan
				PLN-A, dan R GIS BAY – E01 (150 kV)
Trafo TR-TIE PLN-A to 500	13,8	Transfer bus 500EE002	4310	CT Ext.500 INC PLN
		Grid PLN	11470	CT TR-TIE PLN-A, CT INC PLN-A, dan R GIS BAY – E01
Bus INC PLN FEEDER (A)	13,8	Transfer bus 500EE002	4240	CT Ext.500 INC PLN, CT TR-TIE PLN-A
		Grid PLN	12000	CT INC PLN-A, dan R GIS BAY – E01
Trafo TR-A PLN	150	Transfer bus 500EE002	150	CT Ext.500 INC PLN, CT TR-TIE PLN-A, CT INC PLN-A
		Grid PLN	28380	dan R GIS BAY – E01

#### 4.3.2 Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle dan 30 Cycle

Arus hubung singkat maksimum merupakan arus gangguan ketika terjadi hubung singkat 3 fasa . Kondisi hubung singkat maksimum 4 *cycle* diperlukan untuk pengaturan rele arus lebih yang waktu kerjanya mendekati 0,08s. Pada kondisi hubung singkat 4-30 *cycle* merupakan fase transien , dimana beban yaitu motor masih memberi arus kontribusi ke titik gangguan. Arus ini digunakan sebagai salah satu parameter dalam penentuan TDS kurva *inverse* dan pengaturan rele pengaman. Data hubung singkat maksimum pada tipikal 1 ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Nilai arus gangguan 3 fasa pada tipikal 1

Titik Gangguan	Main / Backup	LVCB / Rele	kV Rated	Nilai Arus (A)	
				4 Cycle	30 Cycle
Bus 10EE107A	Main	CB39	0,4	16260	14940
	Backup	16-1-1	0,4	16260	14940
Bus 10EE106A	Main	16-1-1	0,4	15570	14940
	Backup	R 16-1	3,45	1810	1730
Trafo 10EE105A	Main	R 16-1	3,45	14190	10650
	Backup	R 16-0	3,45	11220	10650
Bus 10EE104A	Main	R 16-0	3,45	11220	10650
	Backup	R 52-16	13,8	2810	2660
Trafo 10EE101A	Main	R 52-17	13,8	16530	12550

Data hubung singkat maksimum pada tipikal 2 ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Nilai arus gangguan 3 fasa pada tipikal 2

Titik Gangguan	kV Rated	Sumber Kontribusi	Nilai Arus (A)		Keterangan
			4 cycle	30 cycle	
Bus 05EE0101A	13,8	Generator 051G101	8440	5570	CT 52-A1
		Area 500	3940	3480	CT 52-TBB5
		Grid PLN	6200	6190	CT Ext.05 INC PLN
		Beban motor di sub area lain	5230	-	
		Total arus dari transfer bus 051EE0101D	15370	9660	CT 52-TBA dan CT 52-A2
Bus 05EE0101D	13,8	Generator 051G101	8440	5570	CT 52-A1
		Area 500	3940	3480	CT 52-TBB5

Titik Gangguan	kV Rated	Sumber Kontribusi	Nilai Arus (A)		Keterangan
			4 cycle	30 cycle	
		Grid PLN	6200	6190	CT Ext.05 INC PLN
		Total arus dari generator bus 051EE0101A	10220	5570	CT 52-TBA dan CT 52-A2

Data hubung singkat maksimum pada tipikal 3 ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Nilai arus gangguan 3 fasa pada tipikal 3

Titik Gangguan	kV Rate d	Sumber Kontribusi	Nilai Arus (A)		Keterangan
			4 cycle	30 cycle	
Bus 500EE002	13,8	Grid PLN	6180	6160	CT Ext.500 INC PLN, CT TR-TIE PLN-A
Trafo TR-TIE PLN-A to 500	13,8	Transfer bus 500EE002	6490	4780	CT Ext.500 INC PLN
		Grid PLN	13290	13240	CT TR-TIE PLN-A, CT INC PLN-A
Bus INC PLN FEEDER (A)	13,8	Transfer bus 500EE002	6350	4700	CT Ext.500 INC PLN
		Grid PLN	13910	13860	CT INC PLN-A, dan R GIS BAY – E01
Trafo TR-A PLN	150	Transfer bus 500EE002	320	153	CT Ext.500 INC PLN

Titik Gangguan	kV Rate <i>d</i>	Sumber Kontribusi	Nilai Arus (A)		Keterangan
			4 cycle	30 cycle	
		Grid PLN	33070	32730	dan R GIS BAY – E01

#### 4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

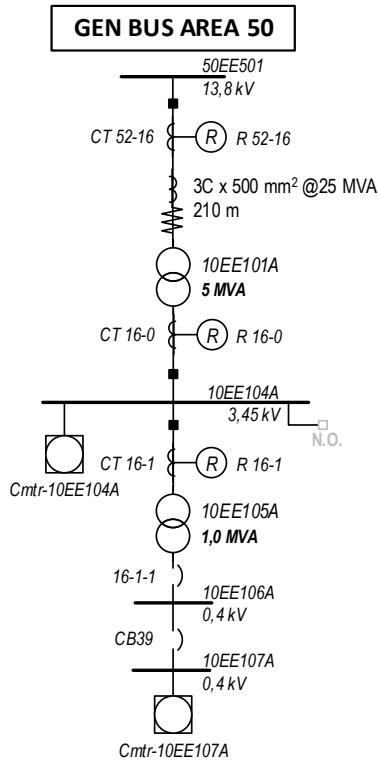
Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan koordinasi rele pengaman saat terjadi gangguan lebih fasa yaitu berupa gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa akan dilakukan penentuan pengaturan arus *pickup* serta *time dial* pada rele arus lebih. Pada perhitungannya akan dihitung nilai *low set*, *high set*, dan *time dial*.

Setelah melakukan perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter yang ditentukan, langkah selanjutnya yaitu melakukan plot *Time current curve* pada *software* ETAP untuk mengevaluasi pengaturan koordinasi yang dilakukan.

##### 4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1 ini dilakukan koordinasi peralatan pengaman dari beban motor komposit Cmtr-10EE107A menuju bus generator 50EE501. Gambar *single line diagram* tipikal 1 ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Single line diagram tipikal 1

Pengaturan nilai dari parameter – parameter pengaman dilakukan secara manual sebagai berikut.

**LVCB CB39**

- Merek : Square-D
- Tipe : DS-206
- Tegangan : 0,4 kV

**Long Time Setting**

**Full Load Ampere (FLA)**

Berdasarkan hasil simulasi aliran daya, arus yang mengalir pada bus 10EE107 sebesar 170,2 A

**Current Pickup**

$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$   
 $1,05 \times 170,2 < \text{Iset} < 1,4 \times 170,2$   
 $178,71 < \text{Iset} < 238,28$   
 Dipilih Iset = 200 A

**LT Band**

Dipilih LT Band = 2

**Short Time Setting**

**Current Pickup**

$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus}$   
 $1,6 \times 170,2 < \text{Iset} < 0,8 \times 12940$   
 $272,32 < \text{Iset} < 10352$   
 Dipilih Iset = 800 A

**ST Band**

Dipilih ST Band = 0,3

Dipilih waktu kerja instan LVCB CB39 di 0,3s karena beban yang dilindungi adalah beban motor komposit dan beban statis. Sehingga diasumsikan pada masing – masing motor dan beban statis telah memiliki pengaman arus lebih, yaitu MCCB.

**LVCB 16-1-1**

Merek : Square-D  
 Tipe : DS-420  
 Tegangan : 0,4 kV

**Long Time Setting**

**Full Load Ampere (FLA)**

Rele terhubung dengan sisi sekunder transformator 10EE105A sebesar 1 MVA pada level tegangan 0,4 kV

$$\begin{aligned}
 \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\
 &= \frac{10^6}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 10^3} \\
 &= 1443,38 \text{ A}
 \end{aligned}$$

**Current Pickup**

$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{FLA}$   
 $1,05 \times 1443,38 < \text{Iset} < 1,4 \times 1443,38$   
 $1515,549 < \text{Iset} < 2020,732$



Dipilih Iset = 1700 A

**LT Band**

Dipilih LT Band = 2

**Short Time Setting**

**Current Pickup**

$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min Bus}$

$1,6 \times 1443,38 < Iset < 0,8 \times 12940$

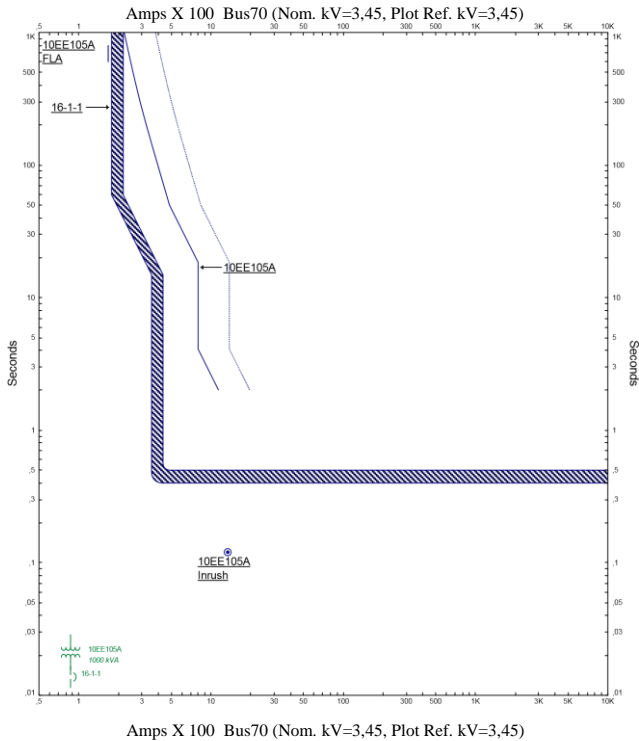
$2309,408 < Iset < 10352$

Dipilih Iset = 3400 A

**ST Band**

Dipilih ST Band = 0,5

Hasil *plotting* kurva TCC LVCB 16-1-1 dan transformator 10EE105A ditunjukkan pada Gambar 4.3. Berdasarkan tersebut, dapat dilihat bahwa kurva LVCB 16-1-1 telah tepat dalam melindungi transformator 10EE105A dari arus gangguan fasa . Kurva arus lebih LVCB berada di sebelah kanan arus beban penuh transformator dan berada di sebelah kiri *damage curve transformer* 10EE105A. LVCB tidak akan bekerja saat transformator bekerja pada arus beban maksimum. Namun apabila ada arus hubung singkat maka rele akan bekerja sebelum transformator mengalami kerusakan. Selain itu, LVCB juga tidak akan bekerja saat transformator pertama kali dioperasikan. Hal ini terlihat dari posisi titik *Inrush* transformator yang berada di bawah kurva LVCB. *Inrush* transformator merupakan besarnya nilai arus sesaat yang diserap transformator pada waktu transformator pertama kali dioperasikan. Apabila *Inrush* transformator berada di daerah atas kurva pengamannya, maka pengaman akan selalu trip saat transformator pertama kali dioperasikan.



**Gambar 4.3** Kurva TCC LVCB 16-1-1 dan transformator 10EE105A

### Rele R 16-1

Merek : GE Multilin  
 Tipe : IAC -77A  
 Tegangan : 3,45 kV  
 Input : CT 16-1  
 Output : CB 16-1

### Long Time Setting (ANSI kode 51)

#### Full Load Ampere (FLA)

Rele terhubung dengan sisi primer transformator 10EE105A sebesar 1 MVA pada level tegangan 3,45 kV.

$$FLA = \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}}$$

$$= \frac{10^6}{\sqrt{3} \times 3,45 \times 10^3}$$

$$= 167,35 \text{ A}$$

**Current Pickup**

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

$$1,05 \times 167,35 < \text{Iset} < 1,4 \times 167,35$$

$$175,72 < \text{Iset} < 234,29$$

Dipilih Iset = 180 A

**Time Dial Setting**

R 16-1 hanya memiliki kurva IAC *Extremely Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.4. Waktu operasi rele  $t_{op} = t_{op} 16-1-1 = 0,5$  detik saat hubung singkat 3 fasa di bus 10EE106A.

$$t_{op} = T \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)$$

$$T = \frac{t_{op}}{\left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)}$$

$$T = \frac{0,5}{\left( 0,004 + \frac{0,6379}{\left(\frac{1730}{180}\right) - 0,62} + \frac{1,7872}{\left(\left(\frac{1730}{180}\right) - 0,62\right)^2} + \frac{0,2461}{\left(\left(\frac{1730}{180}\right) - 0,62\right)^3} \right)}$$

$$T = 5,134$$

Dipilih TDS = 8,2

**Rele R 16-0**

Merek : GE Multilin

Tipe : IAC -77A

Tegangan : 3,45 kV

Input : CT 16-0

Output : CB 16-0

### Long Time Setting (ANSI kode 51)

#### Full Load Ampere (FLA)

Rele terhubung dengan sisi sekunder transformator 10EE101A sebesar 5 MVA pada level tegangan 3,45 kV

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{5 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 3,45 \times 10^3} \\ &= 836,75 \text{ A} \end{aligned}$$

#### Current Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 836,75 &< \text{Iset} < 1,4 \times 836,75 \\ 878,59 &< \text{Iset} < 1171,45 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 960 A

#### Time Dial Setting

R 16-0 hanya memiliki kurva IAC *Extremely Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.4. Waktu operasi rele  $t_{op} = t_{op\ 16-1} + 0,2 = 0,162 + 0,2 = 0,362$  detik saat hubung singkat 3 fasa .

$$t_{op} = T \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)$$

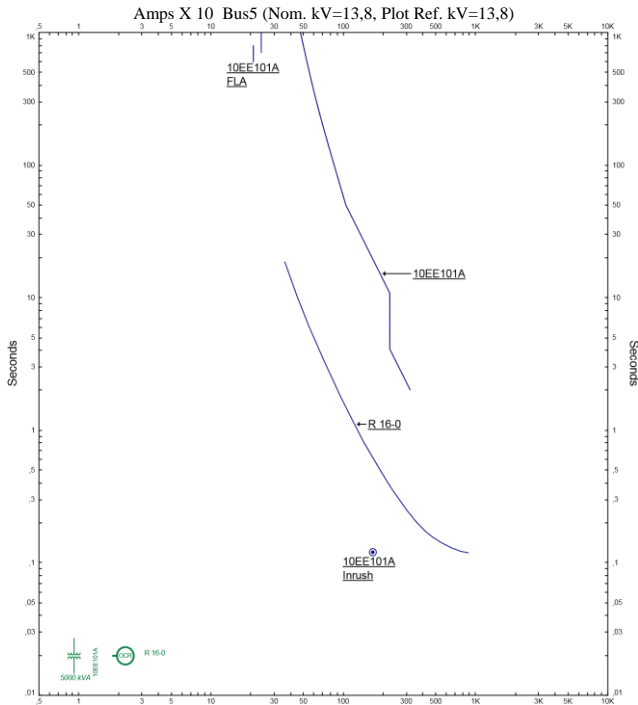
$$T = \frac{t_{op}}{\left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)}$$

$$T = \frac{0,362}{\left( 0,004 + \frac{0,6379}{\left(\frac{10650}{960}\right) - 0,62} + \frac{1,7872}{\left(\left(\frac{10650}{960}\right) - 0,62\right)^2} + \frac{0,2461}{\left(\left(\frac{10650}{960}\right) - 0,62\right)^3} \right)}$$

$$T = 4,45$$

Dipilih TDS = 7,4

Hasil *plotting* kurva TCC R 16-0 dan transformator 10EE101A ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Amps X 10 Bus5 (Nom. kV=13,8, Plot Ref. kV=13,8)

#### Gambar 4.4 Kurva TCC R 16-0 dan transformator 10EE101A

Berdasarkan Gambar 4.4 tersebut, rele R16-0 telah tepat dalam melindungi transformator 10EE101A. Kurva rele berada di sebelah kanan arus beban maksimum transformator dan berada di sebelah kiri dari *damage curve transformer*. Selain itu titik *Inrush* transformator juga berada di bawah kurva rele, sehingga rele tidak akan bekerja saat transformator pertama kali dioperasikan.

#### Rele R 52-16

Merek : GE Multilin  
 Tipe : IAC -53A  
 Tegangan : 13,8 kV  
 Input : CT 52-16  
 Output : CB 52-16

### **Long Time Setting (ANSI kode 51)**

#### **Full Load Ampere (FLA)**

Rele terhubung dengan sisi primer transformator 10EE101A sebesar 5 MVA pada level tegangan 13,8 kV

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{5 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\ &= 209,2 \text{ A} \end{aligned}$$

#### **Current Pickup**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 209,2 &< \text{Iset} < 1,4 \times 209,2 \\ 219,66 &< \text{Iset} < 292,88 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 240 A

#### **Time Dial Setting**

R 52-16 hanya memiliki kurva IAC *Very Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.4. Waktu operasi rele  $0,452 + 0,2 = 0,652$  detik saat hubung singkat 3 fasa di bus 10EE104A.

$$t_{op} = T \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) C\right)^3} \right)$$

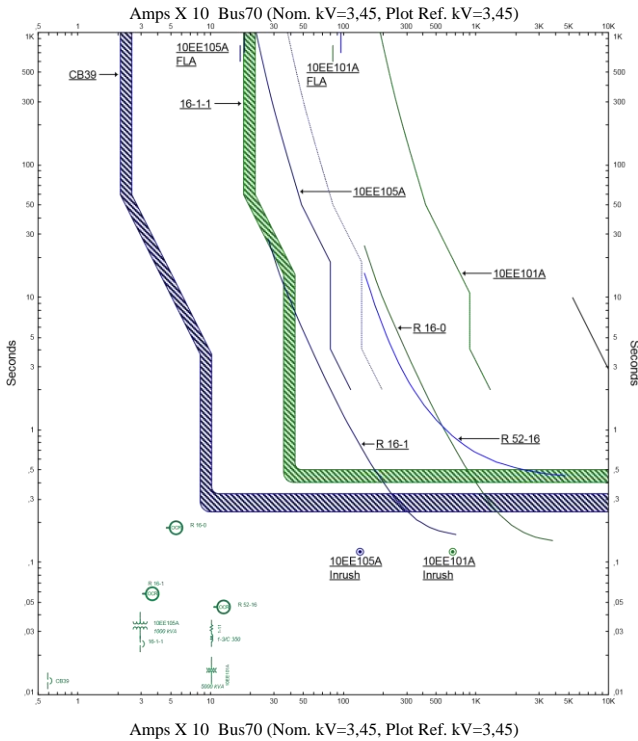
$$T = \frac{t_{op}}{\left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) C\right)^3} \right)}$$

$$T = \frac{0,652}{\left( 0,09 + \frac{0,7955}{\left(\frac{2660}{240}\right) 0,1} + \frac{-1,2885}{\left(\left(\frac{2660}{240}\right) 0,1\right)^2} + \frac{7,9586}{\left(\left(\frac{2660}{240}\right) 0,1\right)^3} \right)}$$

$$T = 4,133$$

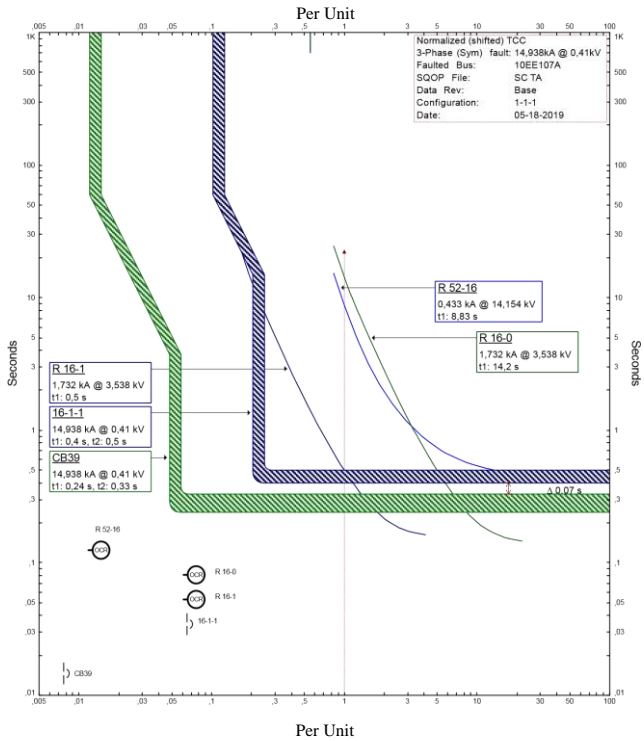
Dipilih TDS = 4,73

Hasil *plotting* kurva TCC pengaturan proteksi pada tipikal 1 secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.5.



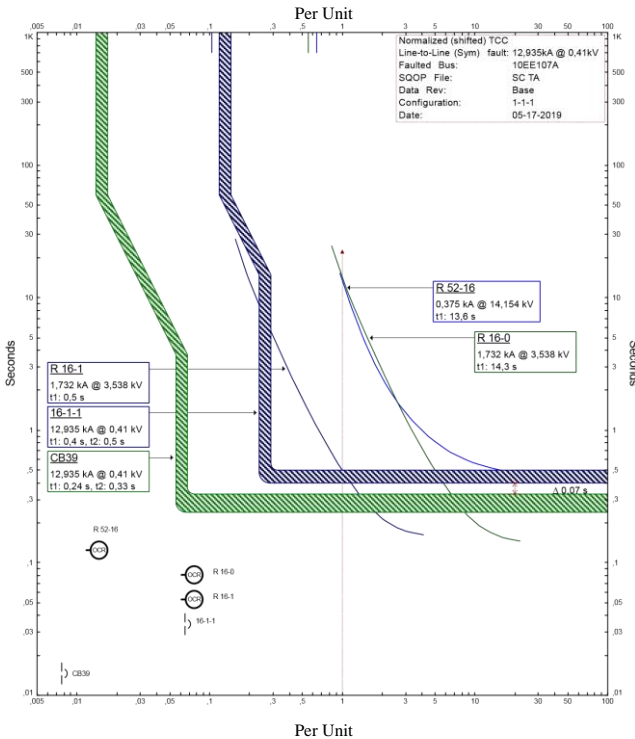
**Gambar 4.5** Kurva TCC Tipikal 1

Setelah dilakukan pengaturan LT dan ST LVCB, serta rele kode ANSI 51 pada tipikal 1, disimulasikan terjadi gangguan 3 fasa pada 30 cycle pada bus 10EE107A di tegangan 0,4 kV. Hasil simulasi hubung singkat tersebut ditampilkan pada Gambar 4.6. Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 2 fasa pada 30 cycle. Hasil simulasi hubung singkat tersebut ditampilkan pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.6** Hasil *plotting* SC 3 fasa 30 cycle di bus 10EE107A





**Gambar 4.7** Hasil *plotting* SC 2 fasa 30 cycle di bus 10EE107A

Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.7.

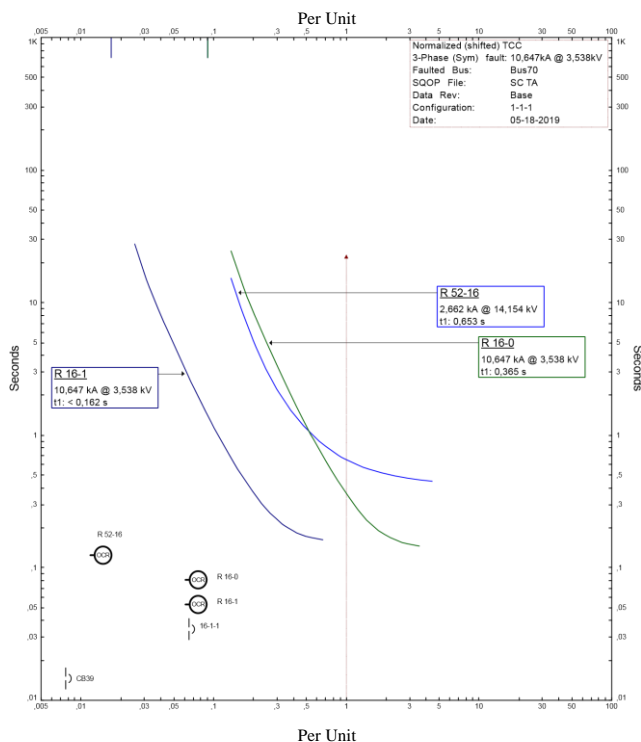
**Tabel 4.7** Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 cycle di bus 10EE107A

SC type	CB39	16-1-1	R 16-1	R 16-0	R52-16
LL	0,33	0,5	0,5	14,252	13,565
LLL	0,33	0,5	0,5	14,247	8,826

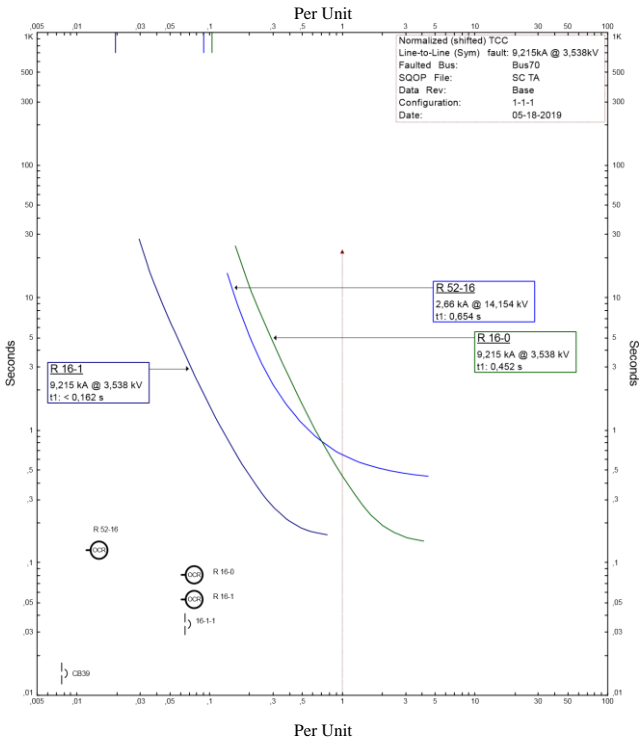
LVCB CB39 memiliki daerah waktu kerja pada 0,24 – 0,33 detik. Sedangkan LVCB 16-1-1 memiliki waktu kerja pada 0,4 – 0,5 detik. Sehingga untuk mendapatkan waktu kerja LVCB secara optimal, maka kondisi temperature LVCB harus dijaga pada level rendah. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk trip adalah waktu akhir yaitu sekitar 0,33 dan 0,5 detik. Untuk R 16-1 akan bekerja pada waktu 5 detik, yaitu waktu

yang sama dengan LVCB 16-1-1. Hal ini diperbolehkan karena kedua pengaman tersebut berada pada satu *feeder* yang sama sehingga apabila kedua pengaman bekerja beban yang dilepas dari sumber adalah sama. Sedangkan rele R 16-0 dan R 52-16 dianggap tidak bekerja karena waktu yang dibutuhkan terlalu lama. Sehingga saat terjadi hubung singkat fasa pada 10EE107A, LVCB CB39 akan menjadi pengaman utama, sedangkan LVCB 16-1-1 dan 16-1 menjadi *backup* .

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* pada transformator 10EE105A di tegangan 3,45 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan hubung sigkat 2 fasa 30 *cycle* yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.8** Hasil *plotting* simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* di sisi HV transformator 10EE105A



**Gambar 4.9** Hasil plotting simulasi hubung singkat 2 fasa 30 cycle di sisi HV transformator 10EE105A

Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.8.

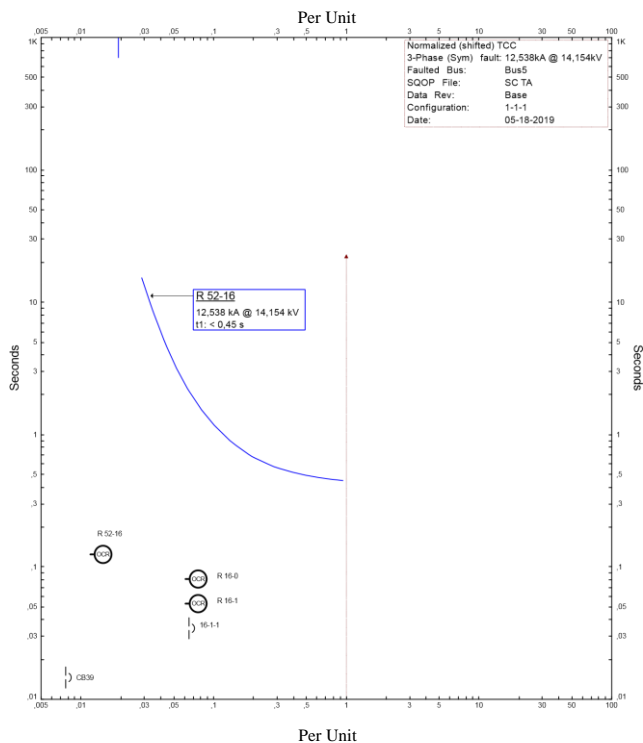
**Tabel 4.8** Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 cycle di sisi HV transformator 10EE105A di tegangan 3,45 kV

SC type	R 16-1	R 16-0	R 52-16
LL	0,162	0,452	0,654
LLL	0,162	0,365	0,653

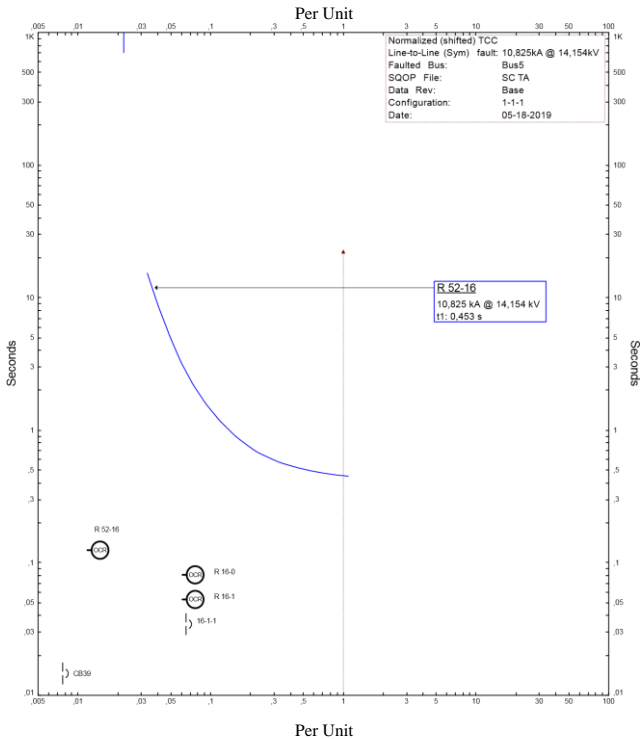
Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa rele R 16-1 menjadi rele utama, sedangkan R 16-0 dan R 52-16 menjadi rele *backup*. *Coordination time*

*interval* (CTI) antar rele sudah sesuai syarat minimal yaitu 0,2 detik. Sehingga koordinasi antar rele telah tepat.

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* pada sisi HV transformator 10EE101A di tegangan 13,8 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan hubung sigkat 2 fasa 30 *cycle* yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.10** Hasil *plotting* simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* di sisi HV transformator 10EE101A



**Gambar 4.11** Hasil *plotting* simulasi hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* di sisi HV transformator 10EE101A

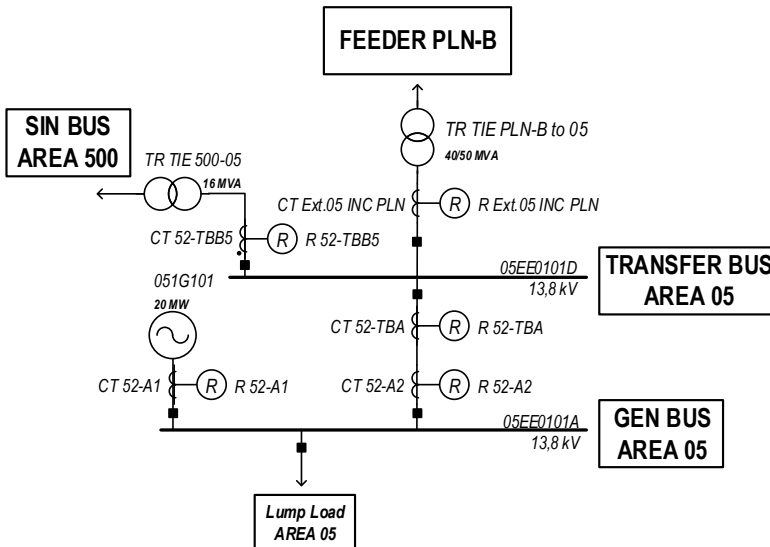
Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 *cycle* di sisi HV transformator 10EE105A di tegangan 3,45 kV

SC type	R 52-16
LL	0,453
LLL	0,45

#### 4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2 ini dilakukan koordinasi peralatan pengaman dari pada daerah generator bus dan transfer bus. Gambar *single line diagram* tipikal 2 ditunjukkan pada Gambar 4.12.



**Gambar 4.12** Single line diagram tipikal 2

Pada tipikal 2 ini, terdapat beberapa sumber arus kontribusi yang mengalir melalui 3 *feeder*. Yang pertama adalah dari generator yang dirasakan oleh CT 52-A1, yang kedua dari area 500 yang dirasakan oleh CT 52-TBB5, dan yang ketiga dari PLN yang dirasakan oleh CT Ext.05 INC PLN.

Pengaturan nilai dari parameter – parameter pengaman dilakukan dengan perhitungan manual sebagai berikut:

#### Rele R 52-A2

Merek	: GE Multilin
Tipe	: IAC -53A
Tegangan	: 13,8 kV
Input	: CT 52-A2
Output	: CB 52-A2

### **Long Time Setting (ANSI kode 51)**

#### **Full Load Ampere (FLA)**

Rele berada pada *feeder* yang menghubungkan transfer bus 05EE0101D dengan generator bus 05EE0101A. Arus beban maksimum yang dialirkan melalui CT 52-A2 besarnya sama dengan jumlah nilai arus beban maksimum sisi HV transformator – transformator distribusi 13,8/3,45 kV. Sehingga nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\sum \text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{(12 + 7,3 + 3,75 + 7,5 + 7,5 + 7,5 + 5) \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\ &= \frac{50,55 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13,8} \\ &= 2114,86 \text{ A} \end{aligned}$$

#### **Current Pickup**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 2114,86 &< \text{Iset} < 1,4 \times 2114,86 \\ 2220,603 &< \text{Iset} < 2960,804 \\ \text{Dipilih Iset} &= 2400 \text{ A} \end{aligned}$$

#### **Time Dial Setting**

R 52-A2 hanya memiliki kurva IAC *Very Inverse* yang mengacu pada

Tabel 2.4. Waktu operasi rele =  $t_{op}$  rele sebelumnya + 0,2 = 0,45 + 0,2 = 0,65 detik saat hubung singkat 3 fasa .

$$t_{op} = T \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)$$
$$T = \frac{t_{op}}{\left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)}$$

$$T = \frac{0,65}{\left(0,09 + \frac{0,7955}{\left(\frac{9660}{2400}\right)^{-0,1}} + \frac{-1,2885}{\left(\left(\frac{9660}{2400}\right)^{-0,1}\right)^2} + \frac{7,9586}{\left(\left(\frac{9660}{2400}\right)^{-0,1}\right)^3}\right)}$$

$$T = 1,908$$

Dipilih TDS = 1,91

### Rele R 52-TBA

Merek	: GE Multilin
Tipe	: IAC -53A
Tegangan	: 13,8 kV
Input	: CT 52-TBA
Output	: CB 52-TBA

Rele R 52-TBA berada pada *feeder* dan memiliki beban yang sama dengan rele R 52-A2, sehingga kedua rele tersebut diperbolehkan untuk bekerja diwaktu yang sama. Oleh karena itu, pengaturan parameter rele R 52-TBA sama dengan rele R 52-A2.

### Rele R 52-TBB5

Merek	: ALSTOM
Tipe	: P343
Tegangan	: 13,8 kV
Input	: CT 52-TBB5
Output	: CB 52-TBB5

### Long Time Setting (ANSI kode 51)

#### Full Load Ampere (FLA)

Rele berada pada *feeder tie-transformer* 500-05 dengan rating 16 MVA di tegangan 13,8 kV. Sehingga nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{16 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\ &= 669,4 \text{ A} \end{aligned}$$



**Current Pickup**

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

$$1,05 \times 669,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 669,4$$

$$702,87 < \text{Iset} < 937,16$$

Dipilih Iset = 720 A

**Time Dial Setting**

R Ext.05 INC PLN dipilih kurva IEC *Very Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.3. Waktu operasi rele 0,67+0,2=0,87 detik saat hubung singkat 3 fasa .

$$t_{op} = T \left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

$$T = \frac{t_{op}}{\left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)}$$

$$T = \frac{0,87}{\left( \frac{13,5}{\left( \frac{3480}{720} \right)^1 - 1} + 0 \right)}$$

$$T = 0,247$$

Dipilih TDS = 0,27

**Short Time Setting (ANSI kode 50)****Current Pickup**

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times I_{SC \text{ Min}}$$

$$1,05 \times 669,4 < \text{Iset} < 0,8 \times 3020$$

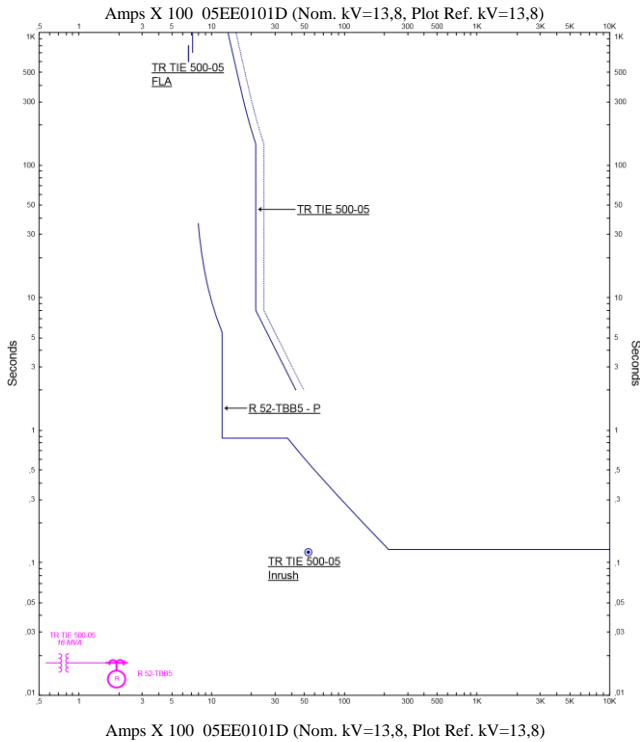
$$1071,04 < \text{Iset} < 2416$$

Dipilih Iset = 1200 A

**Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,87 detik

Hasil *plotting* rele R 52-TBB5 dan *tie-transformer* TR-TIE 500-05 ditunjukkan pada Gambar 4.13.



**Gambar 4.13** Kurva TCC rele R 52-TBB5 dan *tie-transformer distribution* TR-TIE 500-05

Berdasarkan tersebut, rele R 52-TBB5 telah tepat dalam melindungi transformator isolasi TR-TIE 500-05. Kurva rele berada di sebelah kanan arus beban maksimum transformator dan berada di sebelah kiri dari *damage curve transformer*. Selain itu titik *Inrush* transformator juga berada di bawah kurva rele, sehingga rele tidak akan bekerja saat transformator pertama kali dioperasikan.

#### Rele R Ext.05 INC PLN

Merek : ALSTOM  
 Tipe : P343  
 Tegangan : 13,8 kV  
 Input : CT 52-Ext.05 INC PLN  
 Output : CB 52-Ext.05 INC PLN

### **Long Time Setting (ANSI kode 51)**

#### **Full Load Ampere (FLA)**

Rele berada pada *feeder tie-transformer* PLN-B to 05 dengan rating 40/50 MVA di tegangan 13,8 kV. Transformator ini bekerja dengan 2 sistem pendingin, yaitu ONAN dengan rating 40 MVA dan ONAF dengan rating 50 MVA. Sehingga nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual dengan rating 50 MVA (ONAF) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafa (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\ &= 2091,85 \text{ A} \end{aligned}$$

#### **Current Pickup**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 2091,85 &< \text{Iset} < 1,4 \times 2091,85 \\ 2196,41 &< \text{Iset} < 2928,55 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 2200 A

#### **Time Dial Setting**

R Ext.05 INC PLN dipilih kurva IEC *Very Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.3. Waktu operasi rele 0,67+0,2=0,87 detik saat hubung singkat 3 fasa .

$$t_{op} = T \left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

$$T = \frac{t_{op}}{\left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)}$$

$$T = \frac{0,87}{\left( \frac{13,5}{\left( \frac{6190}{2200} \right)^\alpha - 1} + 0 \right)}$$

$$T = 0,117$$

Dipilih TDS = 0,14

### Short Time Setting (ANSI kode 50)

#### Current Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times I_{SC \text{ Min}}$$

$$1,05 \times 2091,82 < \text{Iset} < 0,8 \times 5310$$

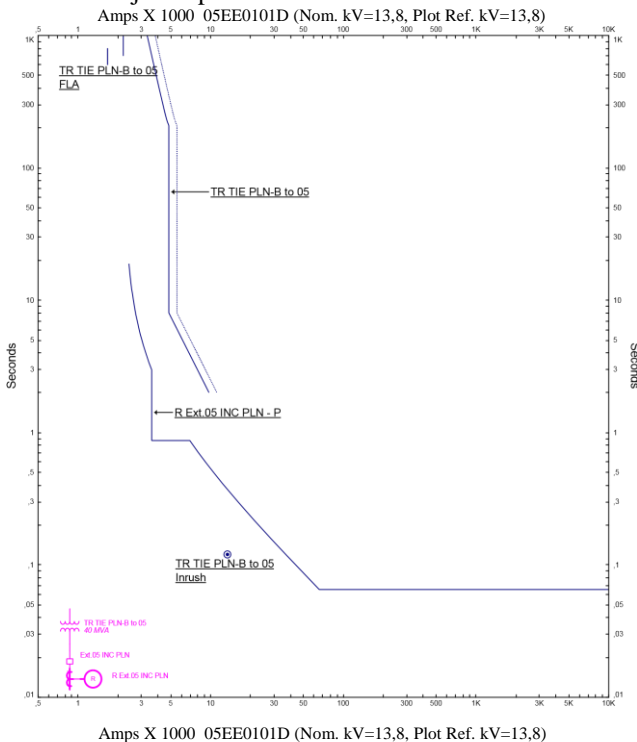
$$3346,912 < \text{Iset} < 4248$$

Dipilih Iset = 3600 A

#### Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,87 detik

Hasil *plotting* rele R Ext.05 INC PLN dan *tie-transformer* TR-TIE PLN-B to 05 ditunjukkan pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Kurva TCC rele R Ext.05 INC PLN dan *tie-transformer* TR-TIE PLN-B to 05

Berdasarkan tersebut, rele R Ext.05 INC PLN telah tepat dalam melindungi transformator isolasi TR-TIE INC PLN to 05. Kurva rele berada di sebelah kanan arus beban maksimum transformator dan berada

di sebelah kiri dari *damage curve transformer*. Selain itu titik *Inrush* transformator juga berada di bawah kurva rele, sehingga rele tidak akan bekerja saat transformator pertama kali dioperasikan.

Rele R 52-A1 menjadi *backup* dari rele R 52-TBA dan R 52-A2 saat terjadi gangguan fasa pada transfer bus 05EE0101D. Melalui perhitungan secara manual saat terjadi gangguan fasa pada bus 05EE0101D, rele R 52-TBA dan R 52-A2 bekerja pada waktu sebagai berikut:

$$t_{op} = T \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)$$

$$t_{op} = 1,91 \left( 0,09 + \frac{0,7955}{\left(\frac{5570}{2400}\right) - 0,1} + \frac{-1,2885}{\left(\left(\frac{5570}{2400}\right) - 0,1\right)^2} + \frac{7,9586}{\left(\left(\frac{5570}{2400}\right) - 0,1\right)^3} \right)$$

$$t_{op} = 1,72 \text{ detik}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, rele 52-A1 harus bekerja minimal pada waktu  $1,72+0,2=1,92$  detik. Waktu kerja ini melebihi batas maksimum rele yang umumnya sebesar 0,9 detik. Sehingga direkomendasikan untuk menambah rele dengan kode ANSI 50 pada rele R 52-TBA.

### Rele rekomendasi R 52-TBA\_50

Merek	: GE Multilin
Tipe	: 345
Tegangan	: 13,8 kV
Input	: CT 52-TBA
Output	: CB 52-TBA

### Short Time Setting (ANSI kode 50)

#### Current Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{set} < 0,8 \times I_{SC \text{ Min}}$$

$$1,05 \times 2114,86 < I_{set} < 0,8 \times 5890$$

$$3383,78 < I_{set} < 4712$$

Dipilih  $I_{set} = 3600 \text{ A}$

#### Time Delay

Dipilih *Time Delay* = 0,67 detik

### Rele R 52-A1

Merek	: GE Multilin
Tipe	: IAC -53A
Tegangan	: 13,8 kV
Input	: CT 52-A1
Output	: CB 52-A1

### Long Time Setting (ANSI kode 51)

#### Full Load Ampere (FLA)

Rele R 52-A1 melindungi generator 051G101 dengan kapasitas 20 MW di tegangan 13,8 kV. Berdasarkan data generator 051G101 memiliki pf 0,8. Nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{8 \times 10^6 / 0,8}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\ &= 1045,924 \text{ A} \end{aligned}$$

#### Current Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 1045,924 &< \text{Iset} < 1,4 \times 2114,86 \\ 1098,22 &< \text{Iset} < 1464,294 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 1200 A

#### Time Dial Setting

R 52-A1 hanya memiliki kurva IAC *Very Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.4. Waktu operasi rele  $0,67+0,2=0,87$  detik saat hubung singkat 2 fasa. Digunakan arus gangguan 2 fasa karena berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.5, nilai arus gangguan 2 fasa dari generator bernilai lebih besar dari arus gangguan 3 fasa.

$$t_{op} = T \left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)$$

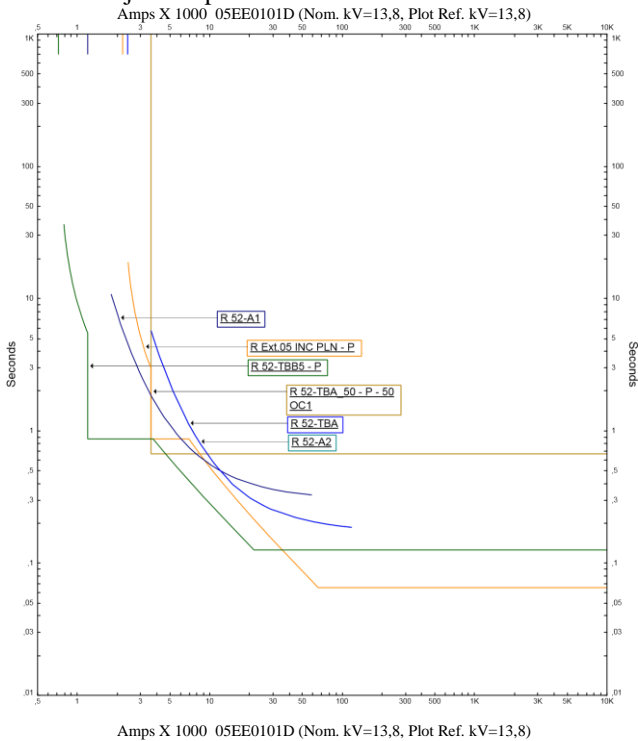
$$T = \frac{t_{op}}{\left( A + \frac{B}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right) - C\right)^3} \right)}$$

$$T = \frac{0,65}{\left( 0,09 + \frac{0,7955}{\left(\frac{5890}{2400}\right) - 0,1} + \frac{-1,2885}{\left(\left(\frac{5890}{2400}\right) - 0,1\right)^2} + \frac{7,9586}{\left(\left(\frac{5890}{2400}\right) - 0,1\right)^3} \right)}$$

$$T = 3,207$$

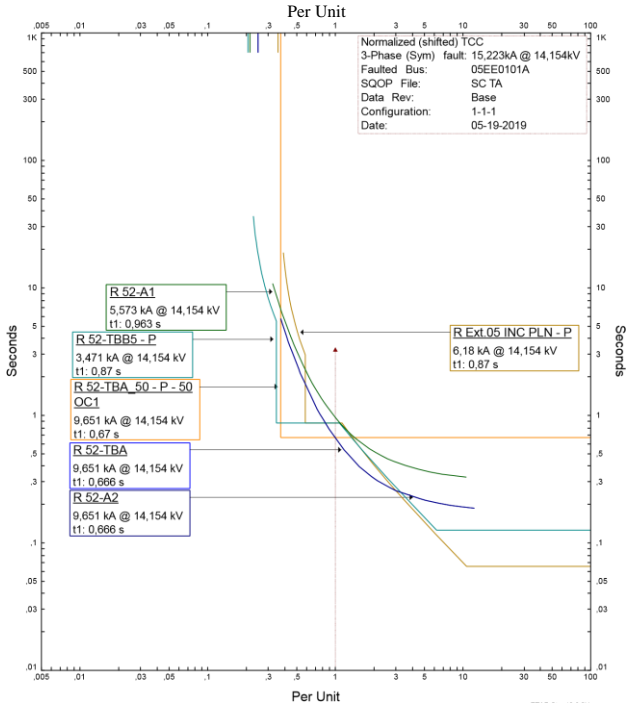
Dipilih TDS = 3,4

Hasil *plotting* kurva TCC pengaturan proteksi pada tipikal 2 secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.15.



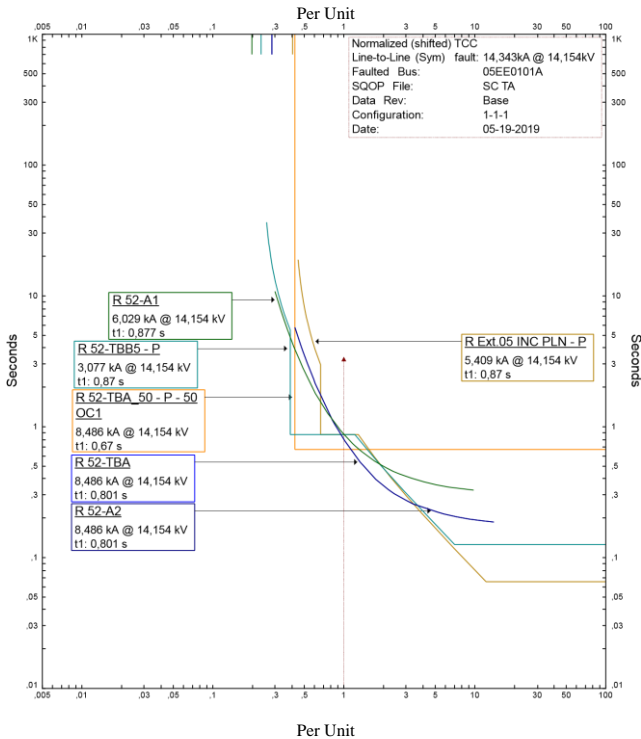
**Gambar 4.15** Kurva TCC Tipikal 2

Setelah dilakukan pengaturan rele pada tipikal 2, disimulasikan terjadi gangguan 3 fasa pada 30 cycle pada bus 05EE0101A di tegangan 13,8 kV. Hasil simulasi hubung singkat tersebut ditampilkan pada Gambar 4.16. Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 2 fasa pada 30 cycle. Hasil simulasi hubung singkat tersebut ditampilkan pada Gambar 4.17.



**Gambar 4.16** Hasil *plotting* gangguan 3 fasa pada saat 30 cycle di bus 05EE0101D





**Gambar 4.17** Hasil *plotting* gangguan 2 fasa pada saat 30 cycle di bus 10EE107A

Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.10.

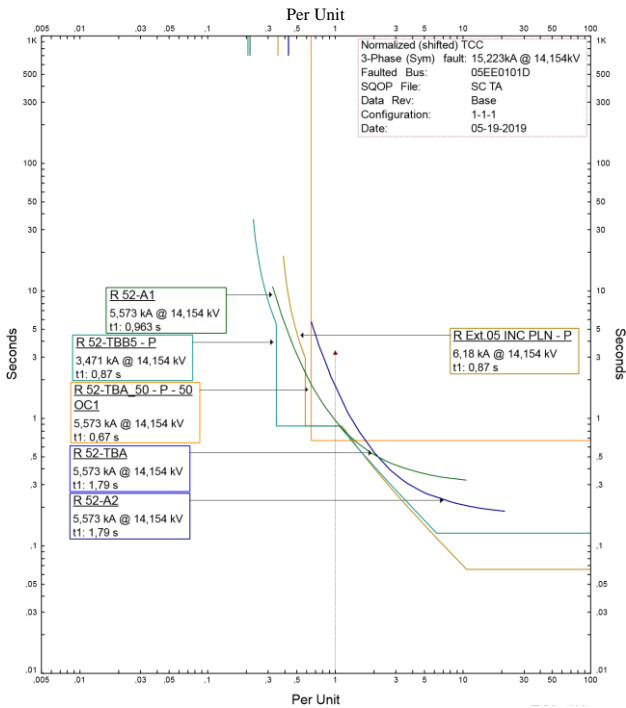
**Tabel 4.10** Waktu kerja rele saat terjadi hubung singkat fasa pada saat 30 cycle pada bus 10EE107A di tegangan 13,8 kV

SC type	R 52-A2	R 52-TBA+50	R 52-TBB5	R Ext.05 INC PLN	R 52-A1
LL	0,801	0,67	0,87	0,87	0,877
LLL	0,666	0,666	0,87	0,87	0,963

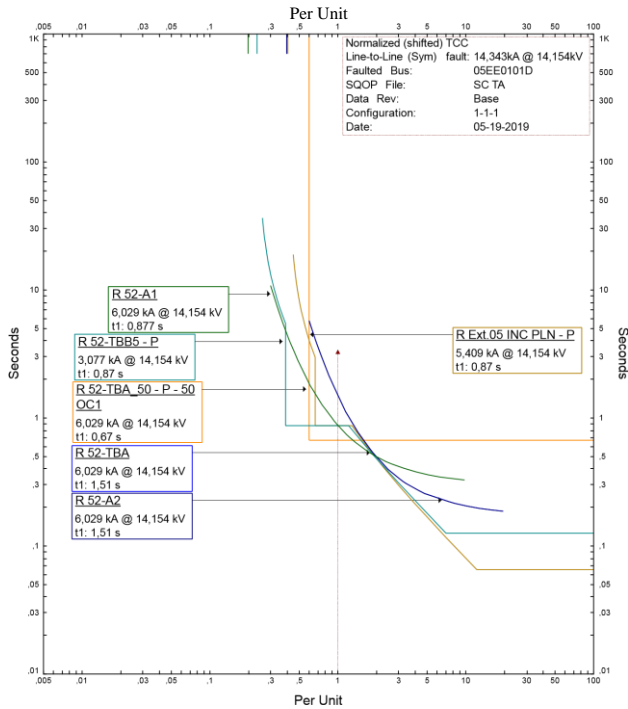
Saat terjadi gangguan fasa di generator bus 05EE0101A, rele R 52-A2, R 52-TBA, dan R 52-A1 menjadi rele utama. Rele R 52-A2 dan R 52-TBA akan bekerja dahulu, kemudian diikuti oleh rele R 52-A1.

Sedangkan rele R 52-TBB5 dan R Ext.05 INC PLN menjadi rele *backup* dengan CTI sebesar 0,2 detik dari rele R 52-TBA pada gangguan 2 fasa dan sebesar 0,204 detik pada gangguan 3 fasa. Nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat koordinasi rele.

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* pada transformator 05EE0101D di tegangan 13,8 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan hubung sigkat 2 fasa 30 *cycle* yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.



**Gambar 4.18** Hasil *plotting* simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* di bus 10EE107D



**Gambar 4.19** Hasil *plotting* simulasi hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* di bus 10EE107D

Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 *cycle* pada bus 10EE107D di tegangan 13,8 kV

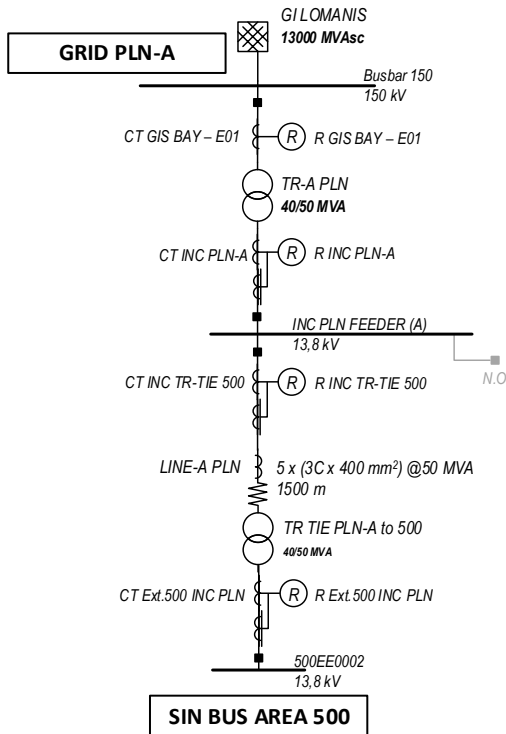
SC type	R 52-A2	R 52-TBA+50	R 52-TBB5	R Ext.05 INC PLN	R 52-A1
LL	1,512	0,67	0,87	0,87	0,877
LLL	1,789	0,6	0,87	0,87	0,963

Saat terjadi gangguan fasa di generator bus 05EE0101D, rele R 52-A2, R 52-TBA, R 52-TBB5 dan R 52-Ext.05 INC PLN menjadi rele utama. Sedangkan rele R 52-A1 menjadi rele *backup* dengan CTI terkecil sebesar 0,207 detik dari rele R 52-TBA pada gangguan 2 fasa dan sebesar

0,293 detik dari rele yang sama pada gangguan 3 fasa. Nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat koordinasi rele. Dari kedua titik gangguan fasa yang telah disimulasikan, pengaturan koordinasi antar rele pada tipikal 2 telah tepat.

#### 4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 ini dilakukan koordinasi peralatan pengaman dari transfer bus 500EE002 menuju *grid* PLN. Gambar *single line diagram* tipikal 3 ditunjukkan pada Gambar 4.20.



**Gambar 4.20** Single line diagram tipikal 3

Pada tipikal 3 ini, terdapat beberapa sumber arus kontribusi yang mengalir melalui 2 feeder. Yang pertama adalah dari generator dan area di sebelahnya yang mengalir melalui transfer bus 500EE002. Kedua adalah arus kontribusi dari *grid* PLN. Pengaturan nilai dari parameter –

parameter pengaman dilakukan dengan perhitungan manual sebagai berikut:

**Rele R Ext.500 INC PLN**

Merek : ALSTOM  
 Tipe : P343  
 Tegangan : 13,8 kV  
 Input : CT Ext.500 INC PLN  
 Output : CB Ext.500 INC PLN

**Long Time Setting (ANSI kode 51)**

**Full Load Ampere (FLA)**

Rele berada pada sisi sekunder transformator isolasi TR-TIE INC PLN-A to 500 dengan rating 40/50 MVA di tegangan 13,8 kV. Sehingga nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 FLA &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\
 &= \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\
 &= \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8} \\
 &= 2091,85 \text{ A}
 \end{aligned}$$

**Current Pickup**

$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$   
 $1,05 \times 2091,85 < I_{set} < 1,4 \times 2091,85$   
 $2196,443 < I_{set} < 2928,59$

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

**Time Dial Setting**

R Ext.500 INC PLN dipilih kurva IEC *Very Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.3. Waktu operasi rele =  $t_{op}$  rele R Ext.05 INC PLN pada tipikal 2, yaitu 0,87 detik saat hubung singkat 3 fasa .

$$t_{op} = T \left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

$$T = \frac{t_{op}}{\left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)}$$

$$T = \frac{0,87}{\left( \frac{13,5}{\left( \frac{6190}{2200} \right)^\alpha - 1} + 0 \right)}$$

$$T = 0,117$$

Dipilih TDS = 0,14

### **Short Time Setting (ANSI kode 50)**

#### **Current Pickup**

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{set} < 0,8 \times I_{SC \text{ Min}}$$

$$1,05 \times 2091,85 < I_{set} < 0,8 \times 5330$$

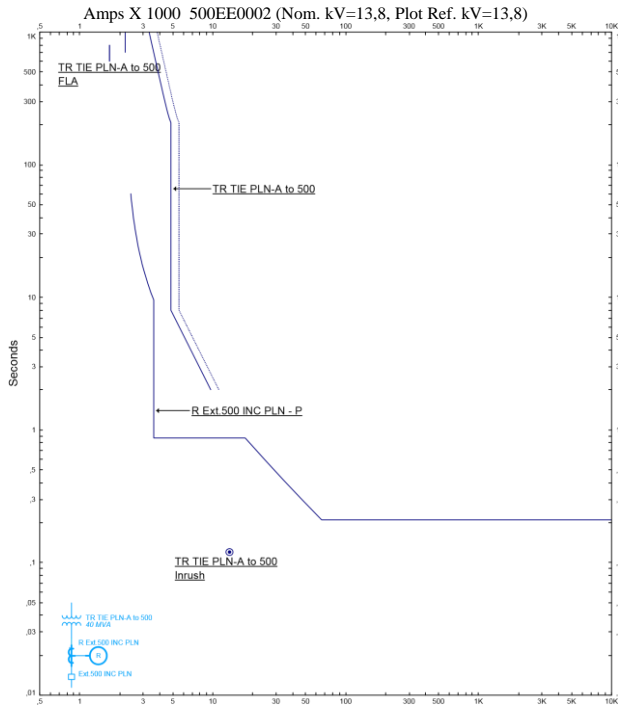
$$2196,44 < I_{set} < 4264$$

Dipilih Iset = 3600 A

#### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,87 detik

Hasil *plotting* rele R Ext.500 INC PLN dan *tie-transformer* TR-TIE INC PLN-A to 500 ditunjukkan pada Gambar 4.21. Berdasarkan gambar tersebut, rele R Ext.500 INC PLN telah tepat dalam melindungi transformator isolasi TR-TIE INC PLN-A to 500. Kurva rele berada di sebelah kanan arus beban maksimum transformator dan berada di sebelah kiri dari *damage curve transformer*. Selain itu titik *Inrush* transformator juga berada di bawah kurva rele, sehingga rele tidak akan bekerja saat transformator pertama kali dioperasikan.



Amps X 1000 500EE0002 (Nom. kV=13,8, Plot Ref. kV=13,8)  
**Gambar 4.21** Kurva TCC rele R Ext.500 INC PLN dan *tie-transformer* TR-TIE INC PLN-A to 500

**Rele R TR-TIE PLN-A**

- Merek : ALSTOM
- Tipe : P343
- Tegangan : 13,8 kV
- Input* : CT TR-TIE PLN-A
- Output* : CB TR-TIE PLN-A

### **Long Time Setting (ANSI kode 51)**

#### **Full Load Ampere (FLA)**

Rele berada pada sisi primer transformator isolasi TR-TIE INC PLN-A to 500 dengan rating 40/50 MVA di tegangan 13,8 kV. Sehingga nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\ &= \frac{50 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13,8} \\ &= 2091,85 \text{ A} \end{aligned}$$

#### **Current Pickup**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 2091,85 &< \text{Iset} < 1,4 \times 2091,85 \\ 2196,443 &< \text{Iset} < 2928,59 \\ \text{Dipilih Iset} &= 2340 \text{ A} \end{aligned}$$

#### **Time Dial Setting**

R TR-TIE PLN-A dipilih kurva IEC *Normal Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.3. Waktu operasi rele sebagai *backup* =  $t_{op}$  rele R Ext.05 INC PLN pada tipikal 2, yaitu 1,07 detik saat hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* di bus 500EE0002.

$$t_{op} = T \left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)$$

$$T = \frac{t_{op}}{\left( \frac{K}{\left( \frac{I_{SC}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right)}$$

$$T = \frac{1,07}{\left( \frac{0,14}{\left( \frac{6160}{2340} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)}$$

$$T = 0,149$$



Dipilih TDS = 0,15

### **Short Time Setting (ANSI kode 50)**

Berdasarkan Tabel 4.6 nilai Isc Maks 500EE0002 sebesar 6160 A di 13,8 kV. Sedangkan nilai Isc Min TR-TIE INC PLN-A sebesar 11470 A di 13,8 kV. Syarat *time delay reset*:

Isc Maks 500EE0002 < Isc Min TR-TIE INC PLN-A  
6160 A di 13,8 kV < 11470 A di 13,8 kV

Terpenuhi.

### **Current Pickup**

$I_{SC\ Max\ Sekunder} < I_{set} < 0,8 \times I_{SC\ Min\ Primer}$

6160 < Iset < 0,8 × 11470

6160 < Iset < 9176

Dipilih Iset = 7000 A

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

### **Rele R INC PLN-A**

Merek : ALSTOM

Tipe : P343

Tegangan : 13,8 kV

*Input* : CT INC PLN-A

*Output* : CB INC PLN-A

### **Long Time Setting (ANSI kode 51)**

#### **Full Load Ampere (FLA)**

Rele berada pada sisi sekunder transformator distribusi TR INC PLN-A dengan rating 40/50 MVA dan tegangan 150/13,8 kV. Sehingga nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 10^3} \\ &= 2091,85 \text{ A} \end{aligned}$$

### **Current Pickup**

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$
$$1,05 \times 2091,85 < I_{set} < 1,4 \times 2091,85$$
$$2196,443 < I_{set} < 2928,59$$

Dipilih  $I_{set} = 2400 \text{ A}$

### **Time Dial Setting**

R TR-TIE PLN-A dipilih kurva IEC *Very Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.3. Waktu operasi rele sebagai *backup* =  $t_{op}$  R TR-TIE PLN-A + CTI =  $0,1+0,2 = 0,3$  detik saat hubung singkat 3 fasa pada saat 30 *cycle* .

$$t_{op} = T \left( \frac{K}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} + L \right)$$

$$T = \frac{t_{op}}{\left( \frac{K}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} + L \right)}$$

$$T = \frac{0,3}{\left( \frac{13,5}{\left(\frac{13860}{2400}\right)^1 - 1} + 0 \right)}$$

$$T = 0,106$$

Dipilih TDS = 0,15

### **Short Time Setting (ANSI kode 50)**

Berdasarkan Tabel 4.6 nilai  $I_{sc}$  Maks TR-TIE INC PLN-A sebesar 13240 A di 13,8 kV. Sedangkan nilai  $I_{sc}$  Min INC PLN FEEDER (A) dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebesar 12000 A di 13,8 kV. Syarat *time delay reset*:

$$I_{sc} \text{ Maks TR-TIE INC PLN-A} < I_{sc} \text{ Min INC PLN FEEDER (A)}$$
$$13240 \text{ A di } 13,8 \text{ kV} < 12000 \text{ A di } 13,8 \text{ kV}$$

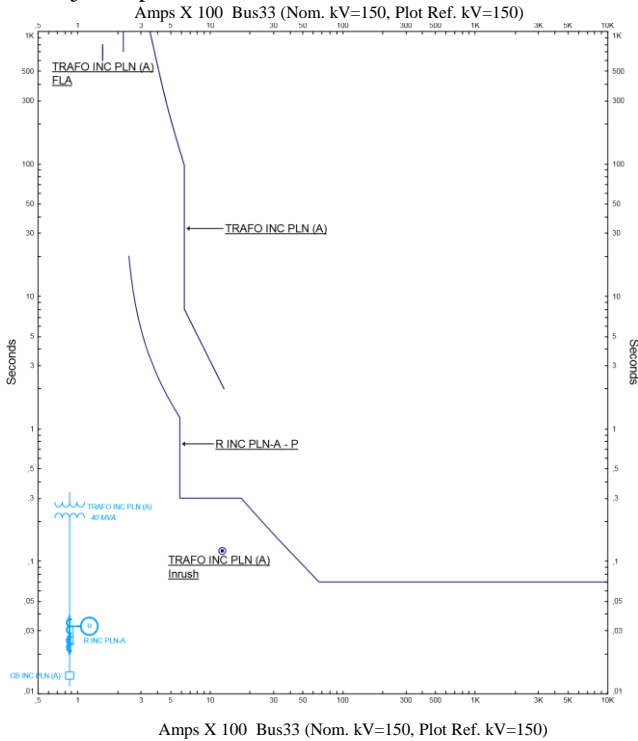
Tidak terpenuhi.

### **Current Pickup**

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{SC \text{ Min}}$$
$$1,6 \times 2091,85 < I_{set} < 0,8 \times 12000$$

3346,96 < Iset < 9600  
 Dipilih Iset = 6400 A  
**Time Delay**  
 Dipilih *Time Delay* = 0,3 detik

Hasil *plotting* rele R INC PLN-A dan transformator distribusi TR-A PLN ditunjukkan pada Gambar 4.22.



**Gambar 4.22** Kurva TCC rele R INC PLN-A dan transformator distribusi TR-A PLN

Berdasarkan tersebut, rele R INC PLN-A telah tepat dalam melindungi transformator distribusi TR-A PLN. Kurva rele berada di sebelah kanan arus beban maksimum transformator dan berada di sebelah kiri dari *damage curve transformer*. Selain itu titik *Inrush* transformator juga berada di bawah kurva rele, sehingga rele tidak akan bekerja saat transformator pertama kali dioperasikan.

### Rele R GIS BAY – E01

Merek	: ALSTOM
Tipe	: P343
Tegangan	: 150 kV
Input	: CT GIS BAY – E01
Output	: CB GIS BAY – E01

### Long Time Setting (ANSI kode 51)

#### Full Load Ampere (FLA)

Rele berada pada sisi primer transformator TR INC PLN-A dengan rating 40/50 MVA di tegangan 150/13,8 kV. Sehingga nilai arus beban maksimum dapat dihitung manual sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{FLA} &= \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\ &= \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 150 \times 10^3} \\ &= 192,45 \text{ A} \end{aligned}$$

#### Current Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 192,45 &< \text{Iset} < 1,4 \times 192,45 \\ 202,07 &< \text{Iset} < 269,43 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 228 A

#### Time Dial Setting

R GIS BAY – E01 dipilih kurva IEC *Very Inverse* yang mengacu pada Tabel 2.3. Waktu operasi rele sebagai *backup* =  $t_{op}$  rele R INC PLN-A + CTI = 0,3 + 0,2 = 0,5 detik, saat hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* di bus INC PLN FEEDER (A).

$$t_{op} = T \left( \frac{K}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} + L \right)$$

$$T = \frac{t_{op}}{\left( \frac{K}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} + L \right)}$$

$$T = \frac{0,5}{\left( \frac{0,14}{\left( \frac{12000}{228} \times \frac{13,8}{150} \right)^{0,02} - 1} + 0 \right)}$$

$$T = 0,142$$

$$\text{Dipilih TDS} = 0,225$$

### **Short Time Setting (ANSI kode 50)**

Berdasarkan Tabel 4.6 nilai Isc Maks pada sisi tegangan rendah transformator INC PLN sebesar 13860 A di 13,8 kV. Sedangkan nilai Isc Min pada sisi tegangan tinggi sebesar 28380 A di 150 kV. Syarat *time delay reset*:

Isc Maks LV	< Isc Min HV
13860 A di 13,8 kV	< 28380 A di 150 kV
$13860 \times \frac{13,8}{150}$ A di 150 kV	< 28380 A di 150 kV
1275,12 A di 150 kV	< 28380 A di 150 kV

Terpenuhi.

### **Current Pickup**

$$I_{SC \text{ Max LV}} < I_{set} < 0,8 \times I_{SC \text{ Min HV}}$$

$$1275,12 < I_{set} < 0,8 \times 28380$$

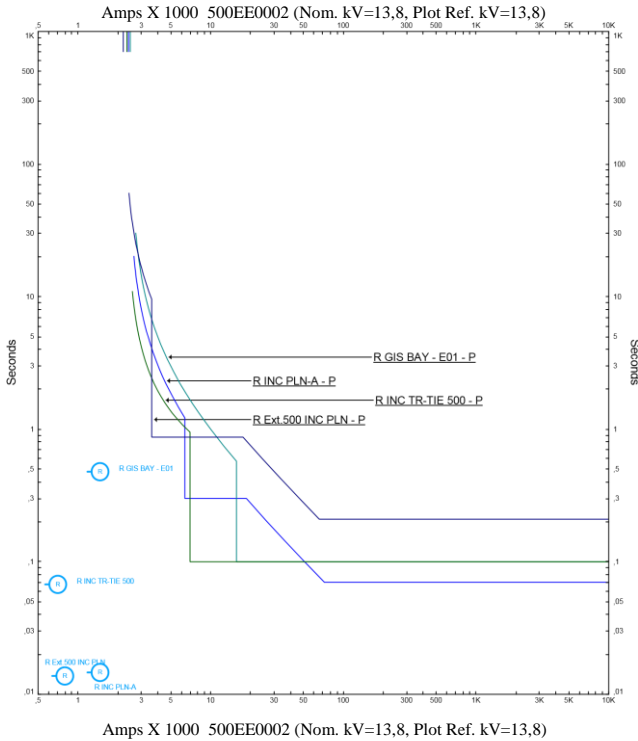
$$1275,12 < I_{set} < 22704$$

Dipilih Iset = 1440 A

### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

Hasil *plotting* kurva TCC pengaturan rele pada tipikal 3 secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.23.

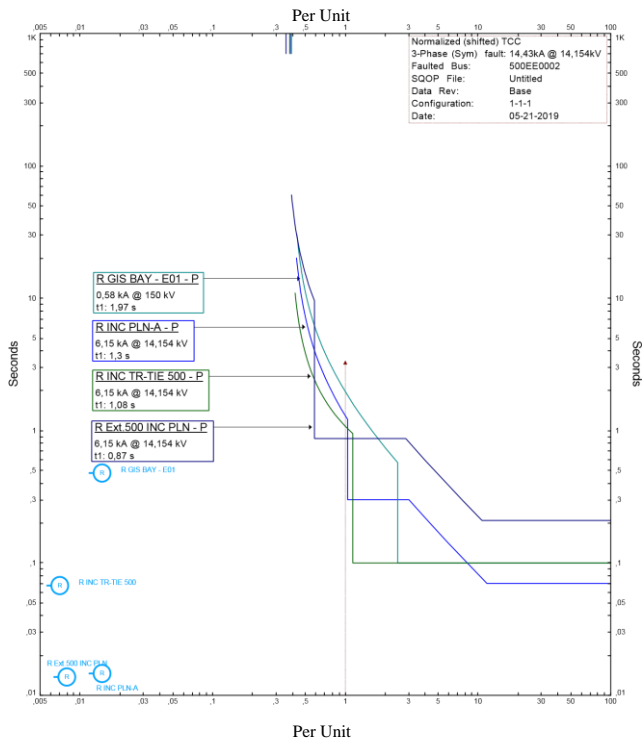


**Gambar 4.23** Kurva TCC Tipikal 3

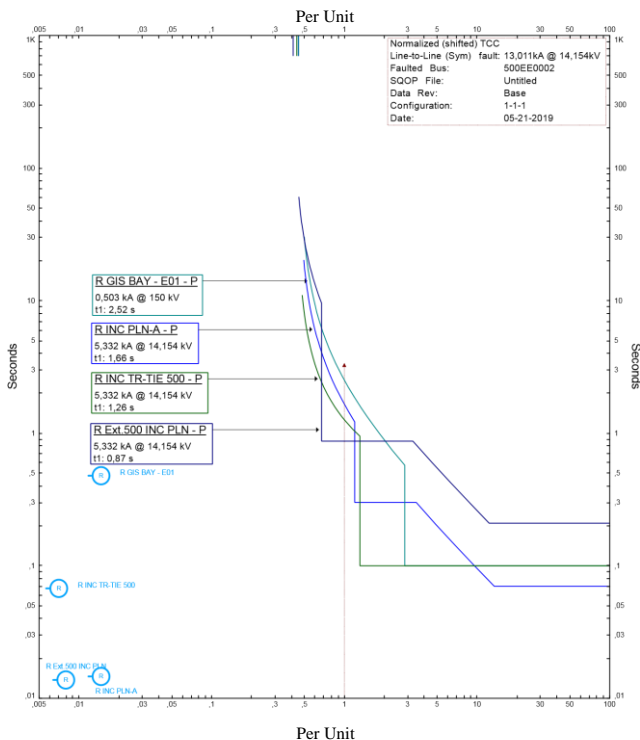
Setelah dilakukan *setting* rele pada tipikal 3, disimulasikan terjadi gangguan 3 fasa pada 30 *cycle* pada bus 500EE0002 di tegangan 13,8 kV. Hasil simulasi hubung singkat tersebut ditampilkan pada Gambar 4.24. Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 2 fasa pada 30 *cycle*. Hasil simulasi hubung singkat tersebut ditampilkan pada Gambar 4.25. Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.12 **Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 *cycle* di bus 500EE0002 di tegangan 13,8 kV**

Saat terjadi gangguan fasa di transfer bus, rele R Ext.500 INC PLN akan bekerja sebagai rele utama. Sedangkan rele R INC TR-TIE 500 menjadi rele *backup* . Berdasarkan Tabel 4.12, kedua rele tersebut memiliki CTI sebesar 0,394 detik pada gangguan 2 fasa dan sebesar 0,206

detik pada gangguan 3 fasa. Nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat koordinasi rele.



**Gambar 4.24** Hasil *plotting* gangguan 3 fasa pada saat 30 cycle di bus 500EE0002



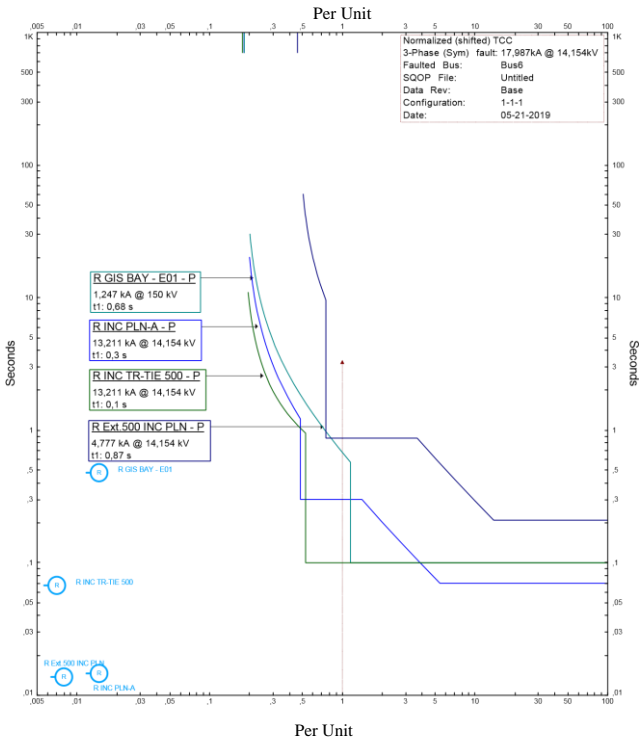
**Gambar 4.25** Hasil *plotting* gangguan 2 fasa pada saat 30 cycle di bus 500EE0002

**Tabel 4.12** Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 cycle di bus 500EE0002 di tegangan 13,8 kV

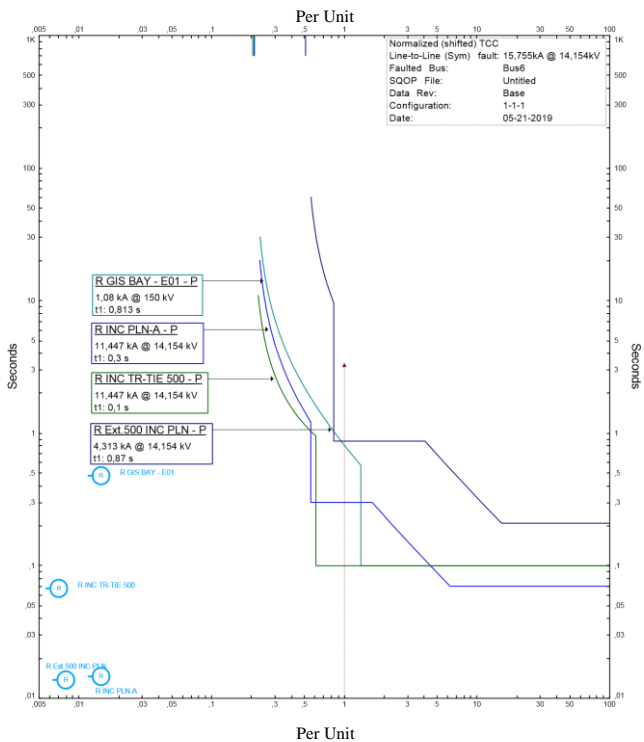
SC type	R Ext.500 INC PLN	R INC TR-TIE 500	R INC PLN-A	R GIS BAY – E01
LL	0,87	1,264	1,657	2,517
LLL	0,87	1,076	1,296	1,966

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa 30 cycle pada transformator isolasi TR-TIE INC PLN to 500 di tegangan 13,8 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.26 dan hubung singkat 2 fasa 30 cycle yang ditunjukkan pada Gambar 4.27.





**Gambar 4.26** Hasil *plotting* gangguan 3 fasa pada saat 30 cycle di sisi primer TR-TIE INC PLN to 500



**Gambar 4.27** Hasil plotting gangguan 2 fasa pada saat 30 cycle di bus 500EE0002

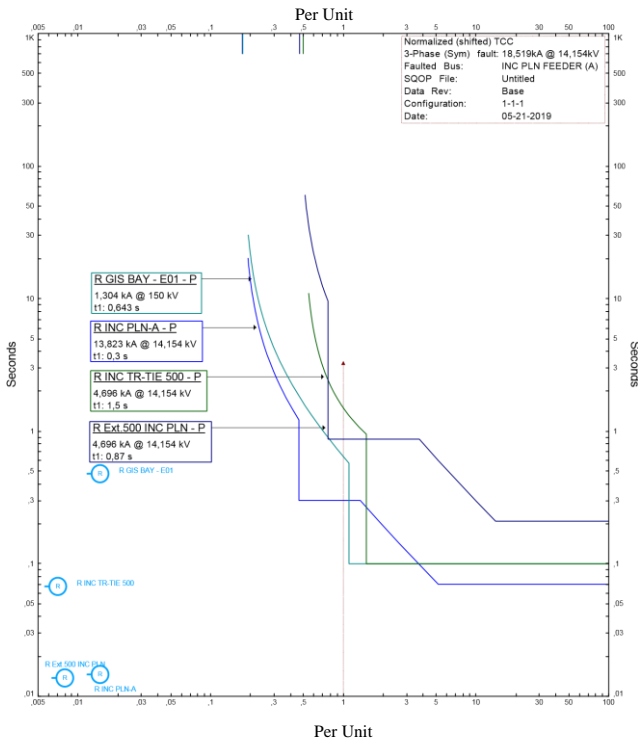
Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 cycle pada TR-TIE INC PLN to 500 di tegangan 13,8 kV

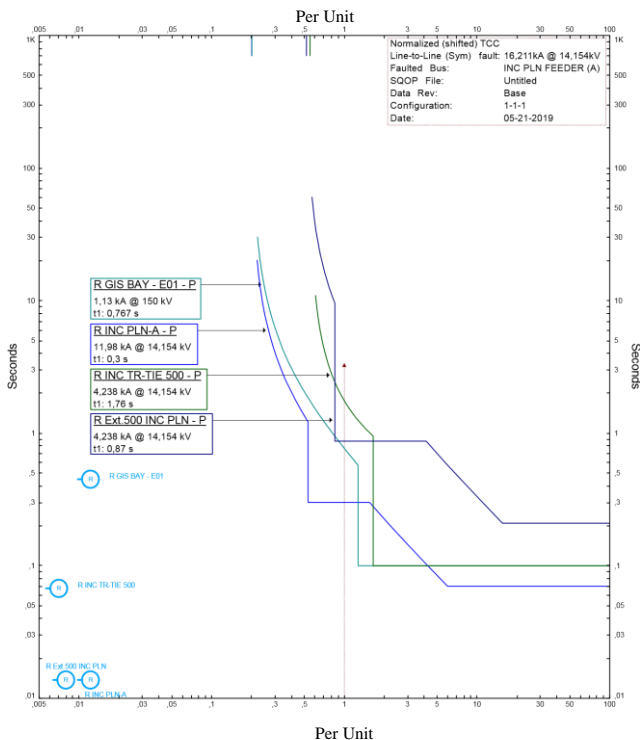
SC type	R Ext.500 INC PLN	R INC TR-TIE 500	R INC PLN-A	R GIS BAY - E01
LL	0,87	0,1	0,3	0,80
LLL	0,87	0,1	0,3	0,68

Saat terjadi gangguan fasa di transformator isolasi TR-TIE INC PLN to 500, rele RINC TR-TIE 500 menjadi rele utama. Sedangkan rele R INC PLN-A menjadi rele *backup*. Berdasarkan Tabel 4.13, kedua rele tersebut memiliki CTI sebesar 0,2 detik pada gangguan 2 fasa maupun 3 fasa. Pemutusan arus kontribusi dari transfer bus 500EE0002, rele R Ext.500 INC PLN menjadi rele utama. Rele tersebut bekerja pada waktu 0,87 detik. Nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat koordinasi rele.

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* pada bus INC PLN FEEDER (A) di tegangan 13,8 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 dan hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* yang ditunjukkan pada Gambar 4.29



**Gambar 4.28** Hasil *plotting* gangguan 3 fasa pada saat 30 *cycle* di bus INC PLN FEEDER (A)



**Gambar 4.29** Hasil *plotting* gangguan 2 fasa pada saat 30 cycle di bus INC PLN FEEDER (A)

Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.14.

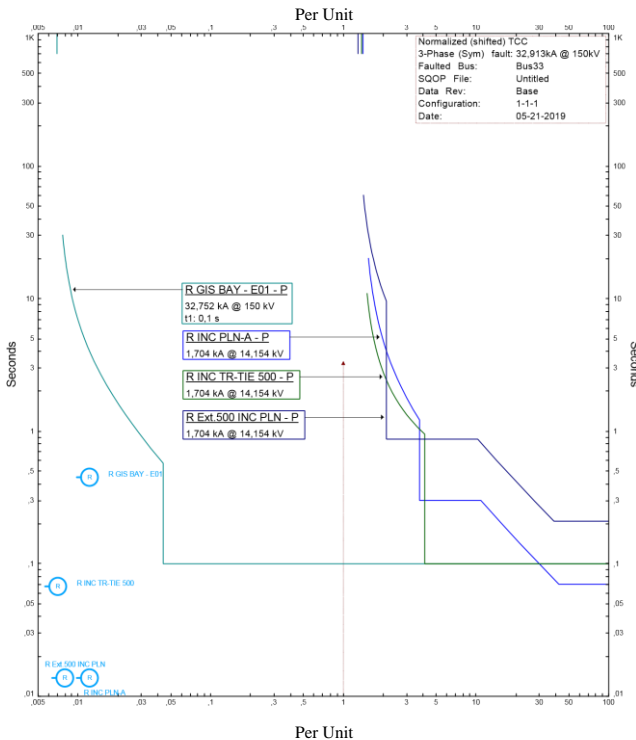
**Tabel 4.14** Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 cycle pada bus INC PLN FEEDER (A) di tegangan 13,8 kV

SC type	R Ext.500 INC PLN	R INC TR-TIE 500	R INC PLN-A	R GIS BAY – E01
LL	0,87	1,757	0,3	0,767
LLL	0,87	1,497	0,3	0,643

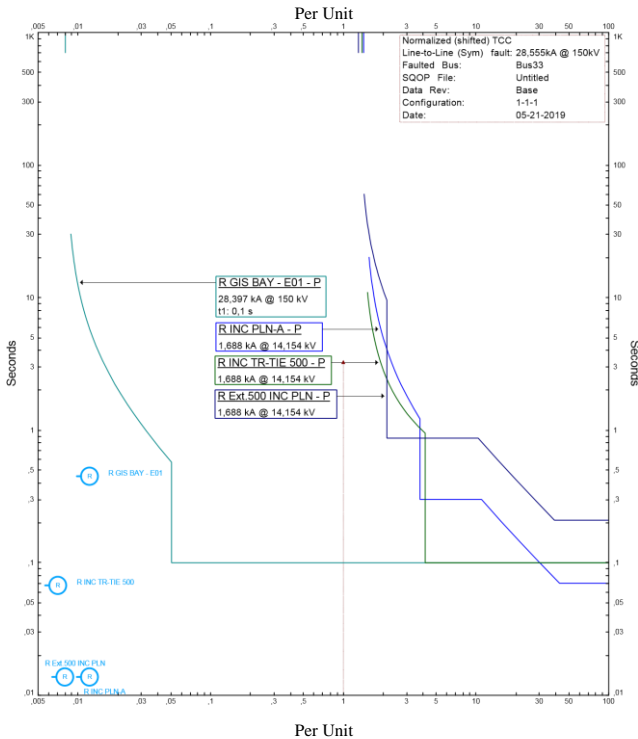
Saat terjadi gangguan fasa di bus INC PLN FEEDER (A), rele R INC PLN-A menjadi rele utama dalam memutus arus kontribusi dari *grid*

PLN. Sedangkan rele R GIS BAY – E01 menjadi rele *backup* . Berdasarkan Tabel 4.14, kedua rele tersebut memiliki CTI sebesar 0,467 saat gangguan 2 fasa dan sebesar 0,343 detik pada gangguan 3 fasa. Pemutusan arus kontribusi dari transfer bus 500EE0002, rele R Ext.500 INC PLN menjadi rele utama. Rele tersebut bekerja pada waktu 0,87 detik. Nilai tersebut sudah sesuai dengan syarat koordinasi rele.

Setelah itu dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* pada transformator distribusi INC PLN-A di tegangan 150 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.30 dan hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* yang ditunjukkan pada Gambar 4.31.



**Gambar 4.30** Hasil *plotting* gangguan 3 fasa 30 *cycle* di transformator distribusi INC PLN-A



**Gambar 4.31** Hasil *plotting* gangguan 2 fasa 30 cycle pada transformator distribusi INC PLN-A

Berdasarkan hasil kedua simulasi tersebut, waktu kerja rele ditampilkan pada Tabel 4.15 **Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 cycle pada transformator distribusi INC PLN-A di tegangan 13,8 kV.**

**Tabel 4.15** Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 cycle pada transformator distribusi INC PLN-A di tegangan 13,8 kV

SC type	R Ext.500 INC PLN	R INC TR-TIE 500	R INC PLN-A	R GIS BAY – E01
LL				0,1
LLL				0,1

Saat terjadi gangguan fasa di bus INC PLN FEEDER (A), rele R GIS BAY – E01 menjadi rele utama dalam memutus arus kontribusi dari

*grid* PLN. Rele tersebut memiliki bekerja pada waktu 0,1 detik saat gangguan 2 fasa maupun 3 fasa. Namun arus kontribusi dari transfer bus 500EE0002 bernilai sangat kecil, yaitu sebesar 150 A di tegangan 150 kV. Nilai ini berada di bawah arus beban penuh peralatan dan arus gangguan memiliki arah yang berlawanan dengan arus normal. Oleh sebab itu, direkomendasikan untuk menambah rele ANSI kode 50 dan 67. Rele tersebut di letakkan pada rele R Ext.50\_67. Pengaturan nilai dari parameter – parameter pengaman rele tersebut dilakukan dengan perhitungan manual sebagai berikut:

#### **Rele R Ext.500\_67**

Merek : ALSTOM  
Tipe : P343  
Tegangan : 13,8 kV  
*Input* : CT Ext.500 INC PLN  
*Output* : CB Ext.500 INC PLN

#### **Short Time Setting (ANSI kode 50)**

##### **Current Pickup**

$$I_{set} < 0,8 \times I_{SC \text{ Min}}$$
$$I_{set} < 0,8 \times 150 \times \frac{150}{13,8}$$

$$I_{set} < 1304,35$$

Dipilih  $I_{set} = 1000 \text{ A}$

##### **Time Delay**

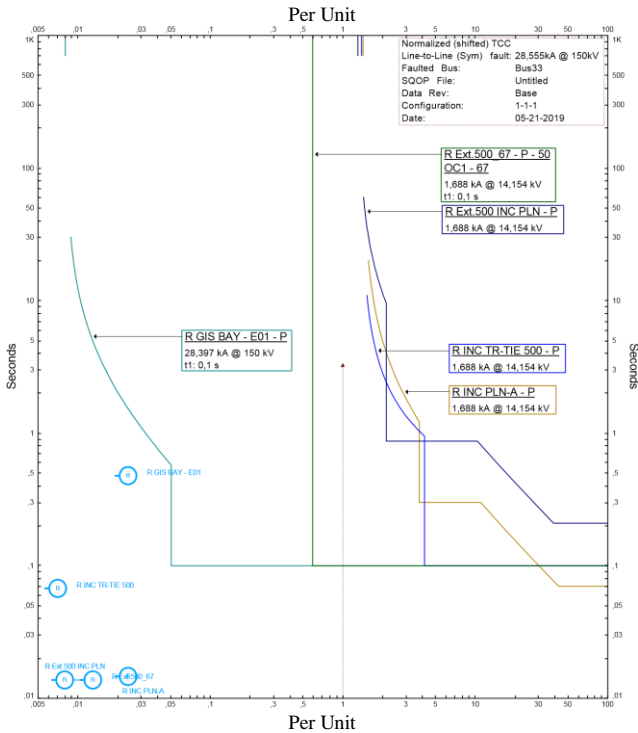
Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

#### **Directional Setting (ANSI kode 67)**

##### **Direction**

Dipilih *direction* = *Reverse*

Setelah dilakukan pengaturan rele rekomendasi, disimulasikan terjadi gangguan 2 fasa pada 30 *cycle* pada transformator distribusi INC PLN-A di tegangan 150 kV. Hasil simulasi hubung singkat tersebut ditampilkan pada Gambar 4.32.



**Gambar 4.32** Hasil *plotting* gangguan 2 fasa 30 cycle pada transformator distribusi INC PLN-A dengan rekomendasi penambahan rele

Saat terjadi gangguan fasa di transformator distribusi INC PLN-A, rele R Ext.500\_67 tersebut bekerja pada waktu 0,1 saat gangguan 2 fasa dengan memberikan perintah CB INC PLN-A untuk membuka. Akibat dari penambahan rele tersebut, waktu kerja rele mengalami perubahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Waktu kerja rele gangguan fasa pada saat 30 cycle pada tipikal 3 dengan rekomendasi penambahan rele

Titik SC	SC type	R Ext.500 INC PLN+(67)	R INC TR-TIE 500	R INC PLN-A	R GIS BAY – E01
	LL	0,87	1,264	1,657	2,517



Titik SC	SC type	R Ext.500 INC PLN+(67)	R INC TR-TIE 500	R INC PLN-A	R GIS BAY – E01
Bus 500EE0002	LLL	0,87	1,076	1,296	1,966
TR-TIE 500	LL	0,1	0,1	0,3	0,813
	LLL	0,1	0,1	0,3	0,68
Bus PLN FEEDER (A)	LL	0,1	1,757	0,3	0,767
	LLL	0,1	1,497	0,3	0,643
TR INC PLN (A)	LL	0,1			0,1
	LLL	0,1			0,1

Berdasarkan data pada Tabel 4.16, rele R INC PLN-A\_67 bekerja dalam memerintahkan CB Ext.500 INC PLN untuk membuka (*trip*) sehingga arus kontribusi dari bus 500EE0002 dapat dideteksi pada waktu 0,1 detik.

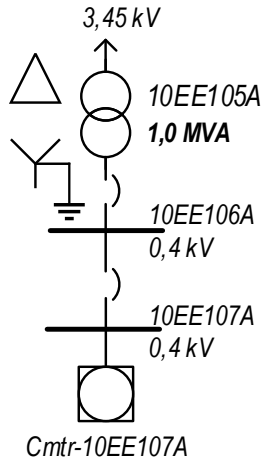
## 4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Sistem kelistrikan integrasi PT Pertamina RU IV Cilacap dengan sistem PLN terdapat rele arus gangguan fasa ke tanah yang harus dikoordinasikan. Pada PT Pertamina RU IV Cilacap terdapat *neutral grounding resistor* (NGR). Nilai arus gangguan fasa ke tanah maksimal bernilai sama dengan NGR.

Pada tipikal koordinasi gangguan ke tanah dilakukan koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah (*ground fault*) pada setiap *feeder* yang dibatasi oleh transformator, baik transformator distribusi maupun transformator isolasi yang ada pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap. Parameter yang harus diperhatikan adalah pengaturan nilai pengaman rele dengan kode ANSI 50G saja. Hal ini karena rele arus lebih gangguan fasa ke tanah hanya mengamankan peralatan dari arus hubung singkat .

### 4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 4

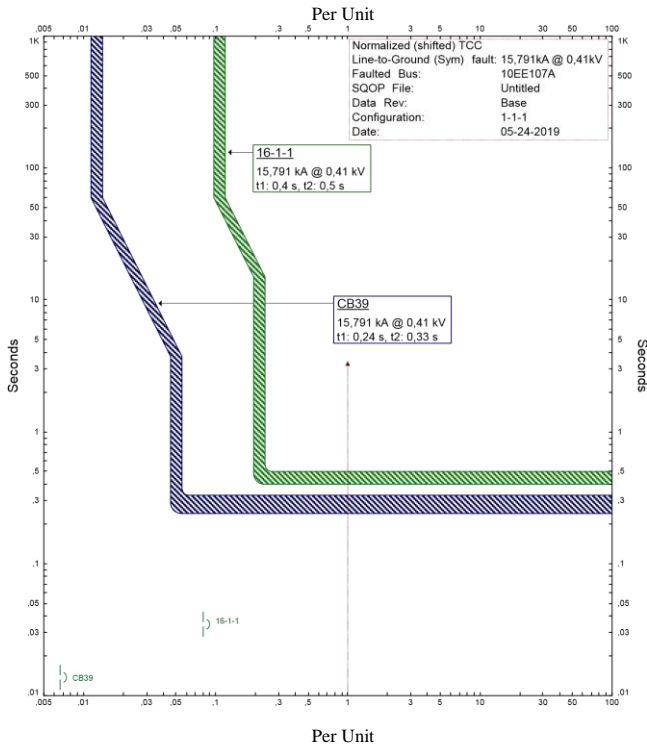
Tipikal 4 dari beban motor komposit ke transformator distribusi 3,45/0,4 kV. Gambar tipikal 4 dapat dilihat pada Gambar 4.33.



**Gambar 4.33** Single line diagram tipikal 4

Pengaturan pengaman arus hubung singkat gangguan ke tanah berdasarkan level tegangan yang dipisahkan oleh transformator distribusi maupun transformator isolasi . Pada tipikal 4, tegangan rendah 0,4 kV memiliki transformator distribusi penurun tegangan dengan sistem pentanahan  $\Delta$ -Y *solid grounded*. Dengan persamaan  $I_{SC\ 1\phi} = \frac{3 \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$  (4), dan pentanahan *solid grounded* maka arus gangguan yang mengalir hanya arus urutan positif maka  $Z_2$  dan  $Z_0$  besarnya sama dengan  $Z_1$ , maka saat terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah arus yang mengalir besarnya sebanding dengan arus gangguan 3 fasa yaitu  $I_{SC\ 3\phi} = \frac{V_f}{Z_1}$  (1). Sehingga gangguan ke tanah di tegangan 0,4 kV akan diamankan oleh rele gangguan fasa.

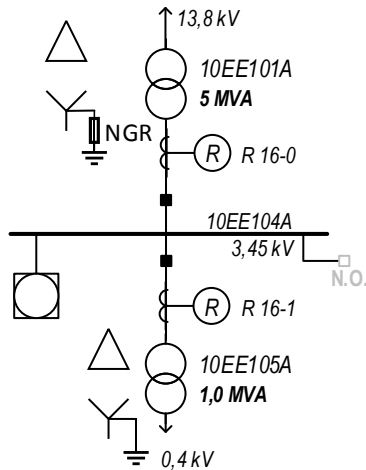
Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah pada bus 10EE107A di tegangan 0,4 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.34. LVCB CB39 dan 16-1-1 akan memutus arus gangguan ke tanah pada waktu 0,3 dan 0,5 detik. Nilai tersebut sudah tepat dengan CTI sebesar 0,2 detik.



**Gambar 4.34** Hasil *plotting* gangguan ke tanah tipikal 4 pada bus 10EE107A di 0,4 kV

#### 4.5.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 5

Gambar tipikal 5 dengan tegangan 3,45 kV dapat dilihat pada Gambar 4.35. Pada tipikal 5 dengan level tegangan 3,45 kV dibatasi oleh transformator sisi tegangan rendah 10EE101A dengan hubungan bintang yang ditanahkan melalui NGR sebesar 400 A dan sisi tegangan tinggi transformator 10EE105A dengan hubungan delta. Sehingga arus gangguan ke tanah yang mengalir besarnya sebanding dengan nilai NGR.



**Gambar 4.35** SLD gangguan ke tanah tipikal 5

Dalam simulasi di ETAP arus gangguan ke tanah yang mengalir sebesar 418 A. Namun rele eksisting di tegangan 3,45 kV yaitu R 16-1 dan R 16-0 hanya memiliki pengaturan rele ANSI kode 51. Sehingga arus gangguan ke tanah tidak dapat diamankan oleh rele. Oleh karena itu direkomendasikan menambah rele gangguan ke tanah (ANSI kode 50G) pada CB 16-1 dan 16-0. Dengan penambahan rele gangguan ke tanah, maka direkomendasikan menambah CT gangguan ke tanah dengan ratio belitan 100:5. Pengaturan nilai dari parameter – parameter pengaman arus gangguan fasa ke tanah pada rele rekomendasi dilakukan dengan perhitungan manual sebagai berikut:

**Rele R 16-1\_50G**

Merek : GE Multilin  
 Tipe : 339  
 Tegangan : 3,45 kV  
 Input : CT 16-1\_G  
 Output : CB 16-1

**Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

**Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

**Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

**Rele R 16-0\_50G**

Merek : GE Multilin

Tipe : 339

Tegangan : 3,45 kV

Input : CT 16-0\_G

Output : CB 16-0

**Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

**Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

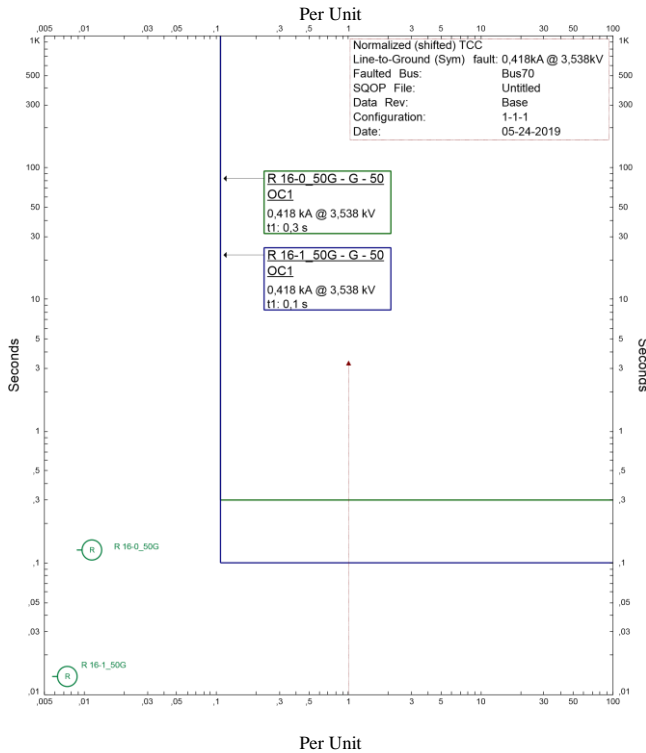
$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

**Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,3 detik

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah pada transformator 10EE105 di tegangan 3,45 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.36. Rele R 16-1 dan R 16-0 akan bekerja pada waktu 0,1 dan 0,3 detik. Nilai tersebut sudah tepat dengan CTI sebesar 0,2 detik.



**Gambar 4.36** Hasil *plotting* gangguan ke tanah tipikal 5 pada transformator 10EE105A di tegangan 3,45 kV

### 4.5.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 6

*Single line diagram* tipikal 6 dapat dilihat pada Gambar 4.37. Pada tipikal ini, di level tegangan 13,8 kV mendapatkan arus kontribusi gangguan ke tanah dari NGR generator 051G101. Rele eksisting di tegangan 13,8 kV hanya memiliki rele gangguan fasa (ANSI kode 51). Sehingga arus gangguan ke tanah tidak dapat dideteksi oleh rele. Oleh karena itu direkomendasikan menambah rele gangguan ke tanah (ANSI kode 50G) pada CB 52-A1, 53-TBA, 52-TBB5, 52-A6, 52-TBB, dan 52-B5. Dengan penambahan rele gangguan ke tanah, maka



**Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

**Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

**Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

**Rele R 52-TBB\_50G**

Merek : GE Multilin

Tipe : 339

Tegangan : 13,8 kV

Input : CT 52-TBB\_G

Output : CB 52-TBB

**Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

**Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

**Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,3 detik

**Rele R 52-TBA\_50G**

Merek : GE Multilin

Tipe : 339

Tegangan : 13,8 kV

Input : CT 52-TBA\_G

Output : CB 52-TBA

**Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

**Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A



### ***Time Delay***

Dipilih *Time Delay* = 0,5 detik

### **Rele R 52-A1\_50G**

Merek : GE Multilin  
Tipe : 339  
Tegangan : 13,8 kV  
*Input* : CT 52-A1\_G  
*Output* : CB 52-A1

### ***Short Time Setting* (ANSI kode 50G)**

#### ***Current Pickup***

$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$

$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$

$40 < Iset < 200$

Dipilih Iset = 45 A

#### ***Time Delay***

Dipilih *Time Delay* = 0,7 detik

Sedangkan pengaturan waktu tunda rele R 52-A6, R 52-TBB5 dan R Ext.05 INC PLN adalah 0,1 detik. Hal ini dikarenakan kedua rele tersebut berfungsi untuk mengamankan transformator dari gangguan ke tanah.

### **Rele R 52-A6\_50G**

Merek : GE Multilin  
Tipe : 339  
Tegangan : 13,8 kV  
*Input* : CT 52-16\_G  
*Output* : CB 52-16

### ***Short Time Setting* (ANSI kode 50G)**

#### ***Current Pickup***

$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$

$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$

$40 < Iset < 200$

Dipilih Iset = 45 A

#### ***Time Delay***

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

### **Rele R 52-TBB5**

Merek : ALSTOM  
Tipe : P343  
Tegangan : 13,8 kV  
Input : CT 52-TBB5\_G  
Output : CB 52-TBB5

### **Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

#### **Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

#### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

### **Rele R Ext.05 INC PLN**

Merek : ALSTOM  
Tipe : P343  
Tegangan : 13,8 kV  
Input : CT Ext.05 INC PLN  
Output : CB Ext.05 INC PLN

### **Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

#### **Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

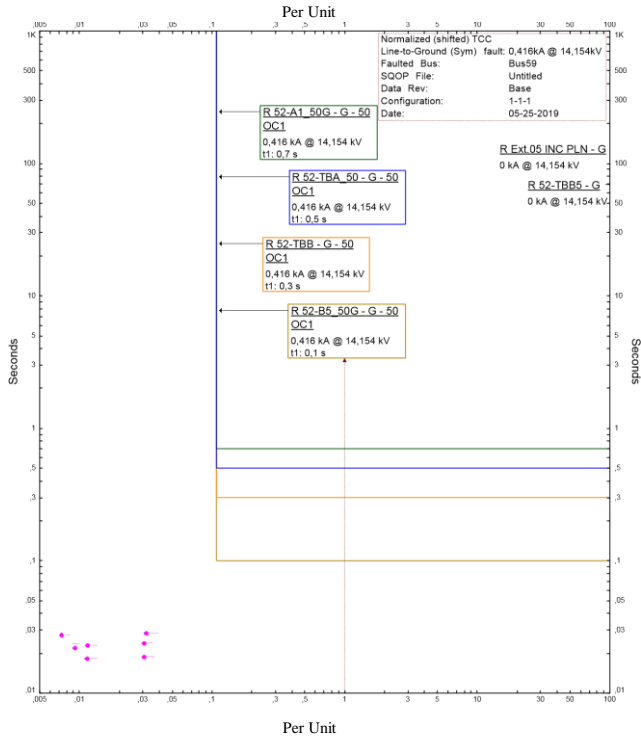
$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

#### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah pada transformator 63EE0101D di tegangan 13,8 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.38. Selain itu juga dilakukan simulasi *sequence* di titik yang lain.



**Gambar 4.38** Hasil *plotting* gangguan ke tanah tipikal 6 pada transformator 63EE1111B di tegangan 13,8 kV  
 Hasil simulasi *sequence* waktu kerja rele gangguan ke tanah tipikal 6 ditabulasikan pada Tabel 4.17

**Tabel 4.17** Waktu kerja rele gangguan ke tanah pada tipikal 6

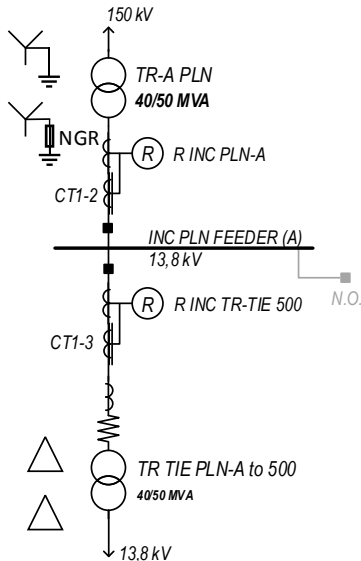
Titik SC	Waktu kerja rele (detik)						
	R 52-B5_G	R 52-TBB_G	R 52-TBA_G	R 52-A1_G	R 52-A6_G	R 52-TBB5	R Ext.05
Trafo 63EE1111B	0,1	0,3	0,5	0,7			
Bus 05EE0101B		0,3	0,5	0,7			
Bus 05EE0101D			0,5	0,7			

Titik SC	Waktu kerja rele (detik)						
	R 52-B5_G	R 52-TBB_G	R 52-TBA_G	R 52-A1_G	R 52-A6_G	R 52-TBB5	R Ext.05
TR-TIE PLN-B			0,5	0,7			0,1
TR TIE 500-05			0,5	0,7		0,1	
Bus 05EE0101A				0,7			
Trafo 02EE1111B				0,7	0,1		

Rele bekerja dengan nilai CTI minimum sebesar 0,2 detik. Nilai tersebut sudah tepat dengan syarat minimum *grading time*.

#### 4.5.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 7

*Single line diagram* tipikal 7 dapat dilihat pada Gambar 4.39.



**Gambar 4.39** SLD gangguan tanah tipikal 7

Pengaturan nilai dari parameter – parameter pengamanan arus gangguan fasa ke tanah dilakukan dengan perhitungan manual sebagai berikut :

### **Rele R INC TR-TIE 500**

Merek : ALSTOM  
Tipe : P343  
Tegangan : 13,8 kV  
Input : CT1-3  
Output : CB Ext.500 INC PLN

### **Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

#### **Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

#### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,1 detik

### **Rele R INC PLN-A**

Merek : ALSTOM  
Tipe : P343  
Tegangan : 13,8 kV  
Input : CT1-2  
Output : CB INC PLN-A

### **Short Time Setting (ANSI kode 50G)**

#### **Current Pickup**

$$10\% \times INGR < Iset < 50\% \times INGR$$

$$10\% \times 400 < Iset < 50\% \times 400$$

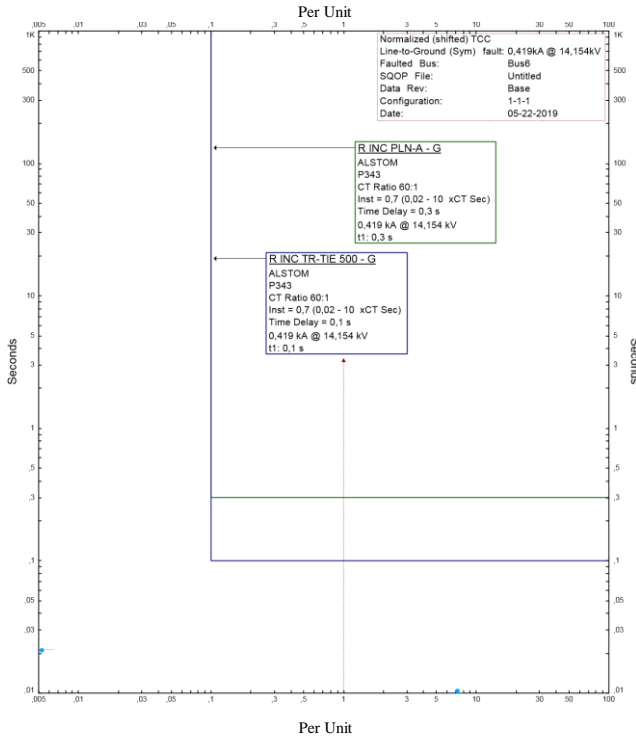
$$40 < Iset < 200$$

Dipilih Iset = 45 A

#### **Time Delay**

Dipilih *Time Delay* = 0,3 detik

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah pada transformator isolasi TR TIE PLN-A sisi primer atau sisi dekat grid PLN di tegangan 13,8 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.40. Rele R INC TR-TIE 500 dan R INC PLN-A akan bekerja pada waktu 0,1 dan 0,3 detik. Nilai tersebut sudah tepat dengan CTI sebesar 0,2 detik.

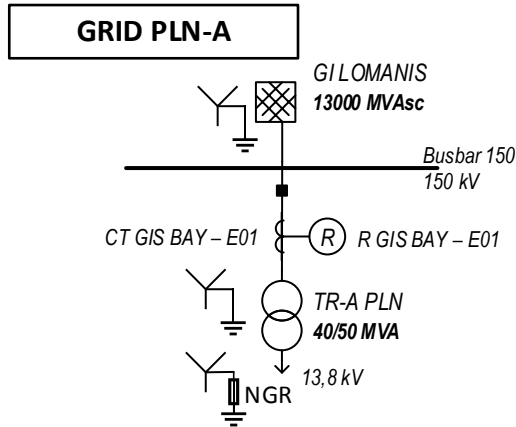


**Gambar 4.40** Hasil *plotting* simulasi hubung singkat fasa ke tanah pada sisi primer transformator isolasi TR-TIE INC PLN to 500

#### 4.5.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 8

*Single line diagram* tipikal 8 dapat dilihat pada gambar 4.14. Pada tipikal 8, tegangan 150 kV memiliki transformator distribusi penurun tegangan dengan hubungan Y-Y sistem pentanahan *solid grounded* pada sisi tegangan tinggi dan NGR pada sisi tegangan rendah. *Grid PLN* juga memiliki sistem pentanahan Y *solid grounded*. Dengan persamaan  $I_{SC 1\phi} = \frac{3 \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$  (4), dan pentanahan *solid grounded* maka arus gangguan yang mengalir hanya arus urutan positif maka  $Z_2$  dan  $Z_0$  besarnya sama dengan  $Z_1$ , maka saat terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah arus yang mengalir besarnya sebanding dengan arus gangguan 3

fasa yaitu  $I_{SC\ 3\phi} = \frac{V_f}{Z_1}$  (1). Sehingga gangguan ke tanah di tegangan 0,4 kV akan diamankan oleh rele gangguan fasa.



**Gambar 4.41** SLD gangguan tanah tipikal 8

Kemudian dilakukan simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah pada transformator TR-A PLN pada sisi tegangan tinggi 150 kV yang ditunjukkan pada Gambar 4.41. Rele R GIS BAY – E01 bekerja pada waktu 0,1 detik.

Rangkuman hasil pengaturan parameter – parameter LVCB dan rele pengaman pada sistem integrasi kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap dengan sistem PLN adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.18** Rangkuman pengaturan LVCB dan rele arus lebih

Relay ID	Model	CT	Kode ANSI	Eksisting		Resetting		Td / TDS			
				Kurva	Iset (A)	Kurva	Iset (A)				
Tipikal 1											
CB39	DS-206	Sensor 250	51					200	2		
			50					800	0,3		
16-1-1	DS-420	Sensor 2000	51					1700	2		
			50					3400	0,5		
R 16-1	IAC - 77A	300/5	51					Extremely Inverse	180	8,2	
R 16-0	IAC - 77A	1200/5	51					Extremely Inverse	960	7,4	
R 52-16	IAC - 53A	1200/5	51					Very Inverse	240	4,73	
Tipikal 2											
R 52-A1	IAC - 53A	1200/5	51					Very Inverse	480	1200	3,4
R 52-A2	IAC - 53A	1200/5	51					Very Inverse	192	2400	1,91
R 52-TBA	IAC - 53A	1200/5	51					Very Inverse	120	2400	1,91
R 52-TBA_50	339	1200/5									
			50					Instantaneous	3600	0,67	
R 52-TBB5	P343	1200/5	51					IEC Very Inverse	720	0,27	
			50					Instantaneous	1200	0,87	



Relay ID	Model	CT	Kode ANSI	Eksisting			Resetting		
				Kurva	Iset (A)	Td / TDS	Kurva	Iset (A)	Td / TDS
R Ext.05 INC PLN Tipikal 3	P343	2000/5	51			IEC Very Inverse	2200	0,14	
			50			Instantaneous	3600	0,87	
R Ext.500 INC PLN	P343	2000/5	51			IEC Very Inverse	2200	0,14	
			50			Instantaneous	3600	0,87	
R Ext.500_67	350	2000/5	67			Reverse	1000	0,1	
			51			IEC Normal Inverse	2340	0,45	
R TR-TIE INC PLN	P343	2000/5	51			Instantaneous	7000	1,07	
			50			Instantaneous	2400	1,91	
R INC PLN-A	P343	2000/5	51			Instantaneous	6400	0,3	
			50			IEC Very Inverse	228	0,225	
R GIS BAY - E01 Tipikal 5	P343	1200/5	51			Instantaneous	1440	0,5	
			50			Instantaneous			
R 16-1_50G	339	100/5	50G			Instantaneous	45	0,1	
			50G			Instantaneous	45	0,3	
R 16-0_50G Tipikal 6	339	100/5	50G			Instantaneous	45	0,1	
			50G			Instantaneous	45	0,3	
R 52- B5_5G	339	100/5	50G			Instantaneous	45	0,1	
			50G			Instantaneous	45	0,3	
R 52- TBB_50G	339	100/5	50G			Instantaneous	45	0,1	
			50G			Instantaneous	45	0,3	
R 52- TBA_50G	339	100/5	50G			Instantaneous	45	0,5	

<i>Relay ID</i>	<i>Model</i>	<i>CT</i>	<i>Kode ANSI</i>	<i>Ekisting</i>			<i>Resetting</i>		
				<i>Kurva</i>	<i>Iset (A)</i>	<i>Td / TDS</i>	<i>Kurva</i>	<i>Iset (A)</i>	<i>Td / TDS</i>
R 52-A1 50G	339	100/5	50G				<i>Instantaneous</i>	45	0,1
R 52-A6 50G	339	100/5	50G				<i>Instantaneous</i>	45	0,1
R 52-TBB5	339	100/5	50G				<i>Instantaneous</i>	45	0,1
R Ext.05 INC.PLN Tipikal 7	339	100/5	50G				<i>Instantaneous</i>	45	0,1
R TR-TIE 500	P343	60/1	50G				<i>Instantaneous</i>	45	0,1
R INC PLN-A	P343	60/1	50G				<i>Instantaneous</i>	45	0,3

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil analisis dan evaluasi sistem koordinasi proteksi pada PT Pertamina RU IV Cilacap dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaturan arus *pickup* rele yang menghubungkan generator bus dan transfer bus (R 52-A2 dan 52-TBA) di bawah nilai FLA. Hal ini menyebabkan rele akan bekerja saat sistem beroperasi normal pada arus beban maksimum sebesar 2114,86 A.
2. Pada pengaturan pengaman *feeder* yang menghubungkan transfer bus dan generator bus hanya menggunakan rele dengan kode ANSI 51 yang bekerja untuk gangguan arus beban lebih. Sehingga saat terjadi gangguan generator bus, rele bekerja pada 0,666 detik. Namun saat gangguan pada transfer bus, waktu kerja rele sangat lama yaitu lebih dari 1,72 detik. Waktu kerja rele utama ini kurang efektif dalam mengamankan.
3. Saat terjadi gangguan fasa di tegangan 150 kV, arus kontribusi dari transfer bus yang mengalir melalui *incoming feeder* PLN (150 A) bernilai di bawah nilai arus beban penuh (2091,85 A). Sehingga tidak ada rele yang bekerja untuk memutus arus kontribusi dari transfer bus.
4. Beberapa rele pengaman eksisting tidak memiliki pengaturan rele pengaman gangguan fasa ke tanah. Sehingga tidak ada rele yang mendeteksi arus gangguan tanah sebesar 400 A.

#### **5.2 Saran**

Dengan meninjau hasil analisis dan evaluasi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat dikemukakan untuk menjaga keandalan sistem serta kontinuitas daya. Saran tersebut antara lain :

1. Perlu dilakukan pengaturan ulang peralatan pengaman agar koordinasi PT Pertamina RU IV Cilacap berjalan dengan baik.
2. Pada rele yang terhubung pada generator bus dan transfer bus direkomendasikan untuk mengatur ulang arus *pickup* dan *time dial* agar didapatkan *grading time* sesuai standar.

3. Pada rele eksisting yang menghubungkan bus generator dengan transfer bus, direkomendasikan untuk menambah rele dengan kode ANSI 50 untuk mempercepat pemutusan gangguan fasa pada transfer bus.
4. Pada *incoming feeder* PLN direkomendasikan untuk menambah rele *directional* (Kode ANSI 67) untuk mengamankan arus kontribusi gangguan fasa dari transfer bus yang bernilai di bawah arus beban maksimum.
5. Pada rele eksisting yang hanya dapat mendeteksi gangguan fasa, direkomendasikan untuk menambah rele dan CT *ground fault*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT Pertamina, “Unit Pengolahan IV, Cilacap,” PT Pertamina, 2018. [Online]. Available: <https://www.pertamina.com/id/unit-pengolahan-iv--cilacap>. [Diakses 2019].
- [2] PT Pertamina, “Sinergi BUMN Pertamina - PLN Suplai Listrik Untuk Kilang, Hemat Rp2,79 Triliun,” PT Pertamina, Agustus 2018. [Online]. Available: <https://www.pertamina.com/id/news-room/news-release/sinergi-bumn-pertamina-pln-suplai-listrik-untuk-kilang-hemat-rp-2-79-triliun>. [Diakses April 2019].
- [3] D. N. Heirman dan dkk, IEEE Std 242 - IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, New York: IEEE, Inc, 2001.
- [4] A. J. Urdaneta, R. Nadira dan L. G. Perez Gimenez, “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in Interconnected Power Systems,” *IEEE*, 1988.
- [5] A. I. Kusumawati, M. Pujiantara dan V. L. Putri, “Studi Penggunaan Insulating Transformer untuk Mengatasi Kegagalan Koordinasi Proteksi di PT Terminal Teluk Lamong,” dalam *Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, FTI, ITS*, Surabaya, 2015.
- [6] R. Syahputra, Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik, Yogyakarta: LP3M UMY Yogyakarta, 2017.
- [7] D. William dan J. Stevenson, Elements of Power System Analysis, 4th penyunt., New York: McGraw-Hill Electrical and Electronic Engineering Series, 2002.
- [8] B. de Metz-Noblart, F. Dumas dan C. Poulain, “Calculation of Short-Circuit Current,” *Schneider Electric*, 2005.
- [9] P. M. Anderson, “Power System Protection,” *Wiley-IEEE*, 1999.
- [10] J. M. Gers dan E. J. Holmes, Protection Electricity Distribution Network, 2nd ed., IEEE Electrical Insulation Magazine, 2005.
- [11] Schneider Electric, “MiCom P125, P126, & P127,” *Schneider Electric Datasheet*, 2011.
- [12] GE Multilin, “Instruction Manual for 489 Generator Management Relay,” *GE Multilin Datasheet*, 2006.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## INDEKS

- Arus nominal, 1, 5, 6  
*Backup*, 5, 13, 42, 43, 53, 58,  
59, 64, 66, 68, 70, 75, 77  
Beban komposit motor, 23, 24  
Beban lebih, 1, 2, 6, 10, 30, 99  
CB, 1, 2, 11, 13, 34, 35, 37, 46,  
48, 50, 53, 54, 61, 63, 65, 68,  
79, 80, 81, 84, 85, 86, 87, 88,  
89, 90, 93  
CT, 10, 26, 27, 28, 29, 34, 35,  
37, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 61,  
63, 65, 68, 79, 84, 85, 87, 88,  
89, 90, 96, 100  
CTI, 13, 44, 58, 59, 66, 68, 70,  
75, 77, 82, 85, 92, 93  
*Damage curve transformer*, 33,  
37, 50, 53, 62, 67  
*Definite Time OCR*, 11  
*Directional*, 79  
FLA, 14, 15, 31, 32, 33, 34, 35,  
36, 38, 47, 48, 49, 51, 52, 53,  
54, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 99  
GFR, 16  
*Grading time*, 1, 92, 99  
*Grid*, 19, 20, 24, 25, 60, 61, 76,  
78, 93  
Hubung singkat, 1, 3, 6, 7, 8, 9,  
10, 12, 15, 16, 23, 25, 26, 27,  
28, 29, 30, 33, 35, 36, 38, 39,  
41, 42, 43, 44, 45, 47, 49, 51,  
54, 56, 57, 58, 59, 61, 64, 66,  
68, 70, 72, 75, 77, 79, 81, 82,  
85, 90, 93, 94, 95  
Impedansi urutan negatif, 8, 9,  
10  
Impedansi urutan nol, 8, 10  
Impedansi urutan positif, 8, 9,  
10  
*Inrush*, 33, 37, 50, 53, 62, 67  
*Instantaneous OCR*, 10  
Koordinasi proteksi, 1, 2, 3, 4, 9,  
23, 99  
Kurva IAC, 14, 35, 36, 38, 47,  
54  
*Long Time Setting*, 31, 32, 34,  
36, 37, 47, 48, 51, 54, 61, 64,  
65, 68  
NGR, 8, 16, 81, 83, 85, 86, 87,  
88, 89, 90, 93, 94  
OCR, 10  
*Pickup*, 12, 13, 14, 15, 30, 99  
Rele, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13,  
14, 15, 16, 21, 23, 24, 25, 27,  
30, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 41,  
42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50,  
51, 52, 53, 54, 56, 57, 59, 60,  
61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69,  
70, 72, 74, 75, 76, 78, 79, 80,  
81, 82, 84, 86, 87, 89, 91, 95,  
96, 99, 100  
Rele arus lebih, 1, 10, 11, 12  
RU, 1, 2, 3, 4, 17, 18, 19, 20, 21,  
23, 25, 81, 95, 99, 106  
*Short Time Setting*, 32, 33, 49,  
52, 53, 62, 65, 66, 69, 79, 85,  
87, 88, 89, 90, 93  
SLD, 2, 17, 18, 23, 84, 87, 92,  
95  
*Stationary*, 6  
*Tap setting*, 14  
TCC, 3, 33, 34, 36, 37, 38, 39,  
50, 52, 55, 63, 67, 69, 70

TDS, 1, 14, 27, 35, 36, 38, 48,  
49, 51, 55, 62, 65, 66, 69, 96  
*Temporary*, 6  
*Time delay*, 1, 10, 11, 65, 66, 69  
*Time Delay*, 49, 52, 53, 62, 65,  
67, 69, 79, 85, 88, 89, 90, 93  
Tipikal, 23, 24, 25, 26, 27, 28,  
29, 30, 31, 38, 39, 46, 55, 56,  
60, 61, 64, 69, 70, 80, 81, 82,  
83, 84, 86, 87, 91, 92, 94, 95  
Trip, 1, 10, 33, 41, 81  
Waktu *inverse*, 10, 12, 13, 14



## BIOGRAFI PENULIS



Tri Adi Kresna lahir di Jombang pada tanggal 8 Juli 1996. Penulis akrab dipanggil Adi dan bertempat tinggal di Jalan Raya Tebel, Bareng, Jombang. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dan mulai menempuh pendidikan di perguruan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Kegemaran penulis yaitu membaca dan desain grafis. Selain itu, penulis juga gemar futsal serta basket. Selama kuliah, penulis aktif mengikuti organisasi mahasiswa HIMATEKTRO ITS 2016 hingga 2018 dan pada tahun 2019 pernah menjadi juara 3 Lomba Karya Tulis Ilmiah Tingkat Mahasiswa Se-Indonesia yang diadakan oleh Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Penulis juga merupakan salah satu asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Selama menjadi asisten, penulis pernah membantu dalam proyek integrasi sistem kelistrikan PT Pertamina RU IV Cilacap dengan sistem PLN 150 kV. Penulis dapat dihubungi melalui email [triadikresna08@gmail.com](mailto:triadikresna08@gmail.com).