

TUGAS AKHIR - EE184801

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH
AKIBAT GANGGUAN YANG MENYEBABKAN *BLACK
OUT* PADA PABRIK PUPUK PT. PUPUK SRIWIDJAJA
PALEMBANG**

ILUL ROHMAN

NRP 07111840000067

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

NIP 196603181990101001

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

NIP 197309271998031004

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE184801

**EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH
AKIBAT GANGGUAN YANG MENYEBABKAN *BLACK
OUT* PADA PABRIK PUPUK PT. PUPUK SRIWIDJAJA
PALEMBANG**

ILUL ROHMAN

NRP 07111840000067

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

NIP 196603181990101001

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

NIP 197309271998031004

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - EE184801

**PROTECTION COORDINATION EVALUATION OF
OVERCURRENT DUE TO FAULT THAT CAUSED
BLACK OUT AT FERTILIZER FACTORY PT. PUPUK
SRIWIDJAJA PALEMBANG**

ILUL ROHMAN

NRP 07111840000067

Advisor

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

NIP 196603181990101001

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

NIP 197309271998031004

Electrical Engineering Undergraduate Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH AKIBAT GANGGUAN YANG MENYEBABKAN *BLACK OUT* PADA PABRIK PUPUK PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

TUGAS AKHIR


Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Sarjana Teknik Elektro
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **ILUL ROHMAN**


NRP. 07111840000067

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.


Pembimbing

2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.


Ko-pembimbing

3. Dr.Ir. Ni Ketut Aryani, MT.


Penguji

4. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.


Penguji

5. Ir. Sjamsjul Anam, MT.


Penguji

SURABAYA

Juli, 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPROVAL SHEET

PROTECTION COORDINATION EVALUATION OF OVERCURRENT DUE TO FAULT THAT CAUSED BLACK OUT AT FERTILIZER FACTORY PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a Bachelor of Engineering degree at
Electrical Engineering Undergraduate Program
Department of Electrical Engineering
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **ILUL ROHMAN**

NRP. 07111840000067

Approved by Final Project Examiner Team:


1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.


Advisor

2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi ST. M. Eng.


Co-Advisor

3. Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.


Examiner

4. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.


Examiner

5. Ir. Sjamsjul Anam, MT.


Examiner

SURABAYA

July, 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Ilul Rohman / 07111840000067
Departemen : Teknik Elektro
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. / 196603181990101001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**Evaluasi Koordinasi Proteksi Arus Lebih akibat Gangguan yang Menyebabkan *Black Out* pada Pabrik Pupuk PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang**” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, Juni 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



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

Mahasiswa



Ilul Rohman
NRP. 07111840000067

Halaman ini sengaja dikosongkan

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Ilul Rohman / 07111840000067
Department : Electrical Engineering
Advisor / NIP : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. / 196603181990101001

Hereby declare that the Final Project with the title of “**Protection Coordination Evaluation of Overcurrent due to Fault that Caused Black Out at Fertilizer Factory PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang**” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

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

Surabaya, June 2022

Acknowledged
Advisor



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

Student



Ilul Rohman
NRP. 07111840000067

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

EVALUASI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH AKIBAT GANGGUAN YANG MENYEBABKAN *BLACK OUT* PADA PABRIK PUPUK PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

Nama Mahasiswa / NRP : Ilul Rohman / 0711184000067
Departemen : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

Abstrak

Proteksi pada sistem kelistrikan industri memiliki peran penting dalam melindungi peralatan ketika terjadi gangguan. Dengan sistem proteksi yang baik, maka kontinuitas penyaluran daya listrik dapat terjaga sehingga proses produksi dapat tetap berjalan. Pada kenyataannya, kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan tidak dapat dihindarkan. Dalam waktu satu tahun terakhir PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang mengalami beberapa kali gangguan dalam pelayanannya hingga terjadi *black out*. Hal itu menyebabkan pabrik berhenti beroperasi dan menimbulkan kerugian yang besar. Oleh karena itu, koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang perlu dievaluasi kembali. Pada tugas akhir ini, koordinasi proteksi yang dievaluasi adalah koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan fasa. Evaluasi *setting* koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang ini perlu memperhatikan nilai arus dan waktu dalam keadaan normal maupun dalam keadaan gangguan kelistrikan. Pada tugas akhir ini dilakukan evaluasi *setting* koordinasi proteksi pada pabrik 4, pabrik 3, dan pada sisi *synchronize bus* yang menghubungkan pabrik-pabrik yang ada di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Hasil koordinasi proteksi ini dapat melindungi peralatan dari gangguan arus lebih yang berupa arus beban lebih (*overload*) dan arus hubung singkat. Selain itu, hasil koordinasi proteksi pada tugas akhir ini juga dapat mencegah terjadinya *sympathetic trip*, sehingga gangguan pada salah satu pabrik dapat terisolasi dari pabrik lainnya dan tidak menyebabkan terjadinya *black out*.

Kata kunci: *Black Out*, Kontinuitas, Koordinasi Proteksi, Rele Pengaman, *Sympathetic Trip*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

PROTECTION COORDINATION EVALUATION OF OVERCURRENT DUE TO FAULT THAT CAUSED BLACK OUT AT FERTILIZER FACTORY PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

Student Name / NRP : Ilul Rohman / 07111840000067
Department : Electrical Engineering FTEIC - ITS
Advisor : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

Abstract

Protection in electrical systems of industrial has an important role in protecting equipment when disturbance occurs. With a good protection system, the continuity of the distribution of electric power can be maintained so that the production process can continue to run. In fact, the possibility of disturbances in the electrical system is inevitable. In the last one year PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang experienced several interruptions in its service until a black out occurred. This caused the factory to stop operating and incur huge losses. Therefore, the coordination of protection at PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang needs to be re-evaluated. In this final project, the protection coordination that is evaluated is the overcurrent relay protection coordination of phase faults. Evaluation of protection coordination settings at PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang need to consider the value of current and time under normal conditions or in a state of electrical disturbance. In this final project, an evaluation of the protection coordination settings is carried out at factory 4, factory 3, and on the synchronize bus side that connects factories in PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. The results of this protection coordination can protect equipment from overcurrent fault in the form of overload currents and short circuit currents. In addition, the results of the coordination of protection in this final project can also prevent the occurrence of a sympathetic trip, so that disturbances in one factory can be isolated from other factories and do not cause black out.

Keywords: Black Out, Continuity, Protection Coordination, Protection Relay, Sympathetic Trip.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Evaluasi Koordinasi Proteksi Arus Lebih akibat Gangguan yang Menyebabkan *Black Out* pada Pabrik Pupuk PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang**”.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, kasih sayang, dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara., MT. dan Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan perhatiannya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro ITS.
5. Teman-teman asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) atas segala dukungan, bantuan, kebersamaan, dan kerjasamanya.
6. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Besar harapan penulis menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Juni 2022

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
STATEMENT OF ORIGINALITY	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	3
2.2 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	3
2.2.1 Gangguan Beban Lebih (<i>Overload</i>)	3
2.2.2 Gangguan Hubung Singkat (<i>Short Circuit</i>)	4
2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat	4
2.3.1 Hubung Singkat Tiga Fasa	4
2.3.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa	5
2.3.3 Hubung Singkat Fasa ke Tanah	5
2.4 Rele Proteksi Arus Lebih (<i>Overcurrent Relay</i>)	6
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	6
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (<i>Definite Time</i>)	7
2.5 Koordinasi Proteksi	7
BAB 3 METODOLOGI	9
3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	9
3.2 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjadja Palembang	10
3.2.1 Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembanng	11

3.2.2	Sistem Distribusi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.....	11
3.3	Sistem Proteksi di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	14
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1	Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	17
4.2	Data Arus Gangguan Hubung Singkat.....	17
4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	20
4.3.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	20
4.3.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2.....	29
4.3.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3.....	35
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	55
	DAFTAR PUSTAKA.....	57
	BIODATA PENULIS.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubung Singkat 3 Fasa.....	4
Gambar 2.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	5
Gambar 2.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.....	5
Gambar 2.4 Koordinasi Rele Proteksi Arus Lebih pada Trafo	8
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	9
Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	11
Gambar 4.1 Tipikal Koordinasi Rele Proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	17
Gambar 4.2 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1	21
Gambar 4.3 Kurva TCC Kondisi <i>Existing</i> pada Tipikal 1	22
Gambar 4.4 Kurva TCC Hasil <i>Resetting</i> Tipikal 1	28
Gambar 4.5 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2	29
Gambar 4.6 Kurva TCC Kondisi <i>Existing</i> pada Tipikal 2	30
Gambar 4.7 Kurva TCC Hasil <i>Resetting</i> Tipikal 2	35
Gambar 4.8 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal 3	36
Gambar 4.9 Kurva TCC Kondisi <i>Existing</i> pada Tipikal 3	37
Gambar 4.10 Kurva TCC Hasil <i>Resetting</i> Tipikal 3	52
Gambar 4.11 Kurva TCC Rele <i>Incoming</i> 52S Hasil <i>Resetting</i> pada Tipikal 3	53

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Konstanta k , α , dan β Berdasarkan Jenis Kurva.....	7
Tabel 2.2 CTI untuk Rele Elektromekanik dan Rele Statik.....	7
Tabel 3.1 Data Pembangkit di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.....	11
Tabel 3.2 Data Pembebanan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.....	11
Tabel 3.3 Data Trafo Distribusi pada Pabrik 1B dan Pabrik 3.....	12
Tabel 3.4 Data Trafo Distribusi pada Pabrik 2, Pabrik 2B, dan STG Load.....	13
Tabel 3.5 Data Trafo Distribusi pada Pabrik 4.....	14
Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 Cycle pada Setiap Tipikal.....	18
Tabel 4.2 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 30 Cycle pada Setiap Tipikal.....	18
Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle pada Setiap Tipikal.....	19
Tabel 4.4 Data Kontribusi Arus Hubung Singkat dari Pabrik yang Tidak Terganggu.....	20
Tabel 4.5 Arus Kontribusi Minimum 4 cycle yang Melalui Rele <i>Outgoing Sync Bus</i> SG-4002.....	20
Tabel 4.6 Tabulasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Kondisi <i>Existing</i> pada Tipikal 1.....	21
Tabel 4.7 Tabulasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Kondisi <i>Resetting</i> pada Tipikal 1.....	27
Tabel 4.8 Tabulasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Kondisi <i>Existing</i> pada Tipikal 2.....	29
Tabel 4.9 Tabulasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Kondisi <i>Resetting</i> pada Tipikal 2.....	34
Tabel 4.10 Tabulasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Kondisi <i>Existing</i> pada Tipikal 3.....	36
Tabel 4.11 Tabulasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Kondisi <i>Resetting</i> pada Tipikal 3.....	50

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya, kontinuitas proses produksi merupakan salah satu indikator kualitas produksi yang baik dari suatu industri. Di lain sisi, kontinuitas proses produksi pada suatu industri sangat bergantung pada sistem kelistrikannya. Apabila sistem kelistrikan mengalami gangguan, maka proses produksi juga akan terpengaruh dan akan menimbulkan kerugian yang besar. Pada kenyataannya, kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan tidak dapat dihindarkan, terutama pada sistem kelistrikan yang kompleks. Oleh karena itu, koordinasi sistem proteksi yang baik diperlukan untuk meminimalisir resiko akibat dari gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan.

Sistem proteksi harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan. Gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan bisa disebabkan oleh banyak hal, antara lain kesalahan pengoperasian, kerusakan peralatan, *lifetime* peralatan yang sudah terlewati, maupun faktor-faktor dari luar sistem (Asyad et al., 2020). Selain harus bekerja secara cepat dan akurat, sistem proteksi juga harus selektif dalam mengisolasi gangguan, memiliki tingkat keandalan yang tinggi, dan memiliki sensitivitas yang baik sehingga peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan dengan nilai sekecil mungkin (P.M. Anderson, 1999). Salah satu peralatan yang digunakan dalam mengatur sistem proteksi tenaga listrik adalah rele proteksi. Dalam sistem proteksi digunakan berbagai macam jenis rele, antara lain rele arus lebih dan rele gangguan tanah. Rele proteksi di-*setting* dengan mempertimbangkan arus ketika kondisi normal dan arus ketika terjadi gangguan.

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bergerak di bidang industri pupuk dan bahan kimia lainnya. Saat ini sistem kelistrikan pabrik diperoleh dari pembangkit sendiri yang terdiri dari 4 *gas turbine generator* (GTG) dan 1 *steam turbine generator* (STG). Sistem distribusi utama yang digunakan adalah sistem *single bus bar* 33 kV dan 13,8 kV dengan pola operasi radial. Sebagai pelopor produsen pupuk nasional, kelangsungan proses produksi menjadi hal yang harus dijaga dengan baik. Namun, dalam waktu satu tahun terakhir PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang mengalami beberapa kali gangguan dalam pelayanannya hingga terjadi *black out*. Hal itu menyebabkan pabrik berhenti beroperasi dan menimbulkan kerugian yang besar. Kejadian *black out* ini diduga akibat gagalnya koordinasi rele-rele pengaman yang ada pada pabrik PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, terutama rele 52S yang menghubungkan setiap pabrik dengan *synchronize bus*. Dalam beberapa kasus gangguan, rele 52S di salah satu pabrik bekerja saat terjadi gangguan di pabrik lainnya hingga menyebabkan *black out* pada keseluruhan pabrik. Oleh karena itu, evaluasi pada sistem koordinasi proteksi *existing* dan penyempurnaan sistem koordinasi proteksi diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem koordinasi proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis *setting* dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa *existing* pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang?
2. Bagaimana *sequence tripping* rele proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang yang tepat supaya tidak terjadi *black out*?
3. Bagaimana *setting* dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa yang tepat pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Plant* yang digunakan merupakan *plant* sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
2. Analisis yang dilakukan merupakan analisis terhadap rele proteksi arus lebih.
3. Rele proteksi arus lebih yang dianalisis merupakan rele proteksi arus lebih gangguan fasa.
4. Analisis dilakukan dengan pemilihan beberapa tipikal yang mampu merepresentasikan keadaan kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dan diasumsikan sesuai dengan laporan kejadian gangguan yang menyebabkan *black out* pada pabrik.
5. Seluruh *setting* koordinasi proteksi yang dilakukan akan disimulasikan menggunakan *software* ETAP.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis *setting* dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa *existing* pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
2. Mengetahui *sequence tripping* rele proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang yang tepat supaya tidak terjadi *black out*.
3. Memperoleh *setting* dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa yang tepat pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

1.5 Manfaat

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dalam melakukan evaluasi *setting* dan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa.
2. Sebagai bahan referensi untuk pengerjaan Tugas Akhir dengan topik serupa bagi mahasiswa lainnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Studi koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang sebelumnya sudah pernah dibahas pada beberapa tugas akhir. Dalam penelitian sebelumnya, studi koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang telah dilakukan oleh Talitha Puspita Sari. Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang terjadi ekspansi penambahan beban berupa pabrik Pusri 2B serta pembangkit STG-1. Ekspansi tersebut membuat perubahan sistem kelistrikan pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang sehingga membutuhkan penambahan *synchronize bus* baru dengan kapasitas 33 kV untuk mengintegrasikan jaringan baru dan jaringan lama. Penambahan tersebut mengakibatkan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki konfigurasi jaringan kelistrikan yang baru yang awalnya terdiri dari 4 pabrik dengan 4 generator pembangkit menjadi 5 pabrik dengan 5 generator pembangkit. Berubahnya konfigurasi sistem kelistrikan mengakibatkan perlunya evaluasi koordinasi proteksi di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Dalam penelitian tersebut digunakan 4 tipikal *setting* koordinasi proteksi. Hasil *setting* koordinasi proteksi sudah disesuaikan dengan mempertimbangkan ekspor-impor daya sehingga koordinasi proteksi pada jaringan baru dan jaringan lama sudah tepat (Sari, 2017). Namun dalam penelitian tersebut, koordinasi rele 52S yang menghubungkan setiap pabrik dengan *synchronize bus* tidak dijelaskan.

Dalam waktu satu tahun terakhir PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang mengalami beberapa kali gangguan hingga terjadi *black out*. Kejadian ini diduga akibat gagalnya koordinasi rele-rele pengaman yang ada pada pabrik PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, terutama rele 52S yang menghubungkan setiap pabrik dengan *synchronize bus*. Dalam beberapa kasus gangguan, rele 52S di salah satu pabrik bekerja saat terjadi gangguan di pabrik lainnya hingga menyebabkan *black out* pada keseluruhan pabrik. Maka dari itu, evaluasi koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang menjadi perlu dilakukan kembali.

2.2 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengganggu penyaluran daya listrik. Gangguan pada sistem kelistrikan merupakan keadaan abnormal pada sistem kelistrikan yang menyebabkan sistem bekerja dalam keadaan yang tidak seharusnya. Terdapat dua jenis gangguan pada sistem tenaga listrik, yaitu gangguan permanen dan gangguan temporer (Gonen, 2013). Gangguan permanen merupakan gangguan yang dapat merusak peralatan. Kerusakan peralatan disebabkan oleh besarnya energi yang mengalir pada saat terjadi gangguan hubung singkat hingga dapat menyebabkan terjadinya ledakan. Gangguan temporer atau gangguan sementara merupakan jenis gangguan yang tidak menimbulkan kerusakan peralatan yang parah dan masih dapat diatasi dengan mengisolasi peralatan yang mengalami gangguan, sehingga gangguan tidak menyebar ke peralatan lainnya.

Gangguan arus lebih merupakan salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan. Gangguan arus lebih dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu akibat beban lebih dan akibat hubung singkat.

2.2.1 Gangguan Beban Lebih (*Overload*)

Gangguan beban lebih merupakan jenis gangguan dimana arus yang mengalir pada peralatan melebihi arus nominalnya atau kapasitas *rating* arus peralatan yang diperbolehkan. Sehingga apabila hal ini terjadi dalam waktu yang cukup lama, maka akan menyebabkan panas berlebih yang dapat merusak peralatan.

2.2.2 Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang terjadi ketika dua titik dengan potensial yang berbeda terhubung melalui impedansi yang sangat kecil. Hubung singkat terjadi pada sistem tenaga ketika insulasi peralatan gagal karena tegangan lebih sistem yang disebabkan oleh petir atau surja *switching*, kontaminasi insulasi (semburan garam atau polusi), atau penyebab mekanis lainnya. Besarnya arus hubung singkat yang dihasilkan ditentukan oleh tegangan internal mesin sinkron dan oleh impedansi sistem antara tegangan mesin dan gangguan (Glover et al., 2012). Gangguan hubung singkat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu hubung singkat simetri dan tidak simetri.

2.2.2.1 Hubung Singkat Simetri

Gangguan hubung singkat simetri merupakan jenis gangguan hubung singkat yang terjadi pada seluruh fasa (3 fasa) sehingga sistem tetap seimbang (Putra, 2019). Jenis hubung singkat yang termasuk ke dalam gangguan hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah (L-L-L-G) dan gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L).

2.2.2.2 Hubung Singkat Asimetri

Gangguan hubung singkat asimetri merupakan jenis gangguan hubung singkat yang mengakibatkan magnitudo maupun sudut fasa diantara ketiga fasa berbeda, sehingga menyebabkan sistem menjadi tidak seimbang (Putra, 2019). Jenis hubung singkat yang termasuk ke dalam gangguan hubung singkat tidak simetri yaitu gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (L-G), gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (L-L-G) dan gangguan hubung singkat dua fasa (L-L).

2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Dalam menentukan setting koordinasi proteksi yang tepat dibutuhkan beberapa parameter. Salah satu parameter yang dibutuhkan adalah besar nilai pada setiap jenis arus hubung singkat. Perhitungan hubung singkat tersebut nantinya bisa menggunakan perhitungan berdasarkan rumus pada beberapa sub-sub bab berikut ini (Metz-Noblat et al., 2000).

2.3.1 Hubung Singkat Tiga Fasa

Hubung singkat tiga fasa adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasa, sehingga akan menimbulkan arus kontribusi dari ketiga fasanya. Adanya arus kontribusi dari ketiga fasa tersebut mengakibatkan mengalirnya arus hubung singkat yang relatif sangat besar. Hubung singkat tiga fasa juga dapat dikatakan sebagai nilai arus hubung singkat maksimum.



Gambar 2.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Perhitungan arus hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada persamaan (1) berikut.

$$I_{SC_{3ph}} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (1)$$

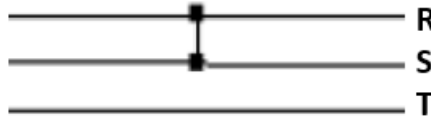
Keterangan:

V_{LN} = Tegangan Fasa ke Netral

X_1 = Impedansi urutan positif

2.3.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Hubung singkat fasa ke fasa merupakan hubung singkat yang terjadi ketika terdapat dua fasa yang saling terhubung satu sama lain.



Gambar 2.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Adapun perhitungan arus hubung singkat fasa ke fasa dapat dilihat pada persamaan (2) sebagai berikut.

$$I_{SC_{2ph}} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} \quad (2)$$

Keterangan:

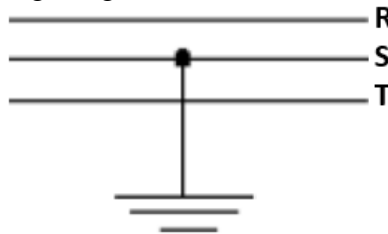
- V_{LL} = Tegangan Fasa ke Fasa
- X_1 = Impedansi Urutan Positif
- X_2 = Impedansi Urutan Negatif

Rumus arus hubung singkat fasa ke fasa juga dapat ditulis dengan mengacu pada rumus hubung singkat tiga fasa seperti pada persamaan (3) berikut.

$$I_{SC_{2ph}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{SC_{3ph}} \approx 0,866 \times I_{SC_{3ph}} \quad (3)$$

2.3.3 Hubung Singkat Fasa ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan jenis hubung singkat yang terjadi ketika salah satu fasa terhubung langsung dengan tanah.



Gambar 2.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Tipe *grounding* yang digunakan juga mempengaruhi besar arus hubung singkat satu fasa ke tanah. Adapun perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dilihat pada persamaan (4) sebagai berikut.

$$I_{SC_{1ph}} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + 3Z_G} \quad (4)$$

Keterangan:

- V_{LN} = Tegangan Fasa ke Netral
- X_1 = Impedansi Urutan Positif
- X_2 = Impedansi Urutan Negatif
- X_0 = Impedansi Urutan Nol
- Z_G = Impedansi Grounding

2.4 Rele Proteksi Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele proteksi merupakan perangkat pelindung dalam strategi yang terkendali, untuk memaksimalkan kontinuitas layanan dan meminimalkan kerusakan pada peralatan listrik karena perilaku sistem yang tidak normal. Rele proteksi arus lebih merupakan rele yang dapat bekerja ketika nilai arus yang terbaca oleh rele telah melewati nilai arus yang diatur pada rele (P.M. Anderson, 1999). Rele ini digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat. Dalam penggunaannya, rele arus lebih terbagi menjadi rele arus lebih waktu *inverse* dan rele arus lebih waktu tertentu.

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Rele arus lebih waktu *inverse* adalah rele yang mempunyai karakteristik waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguan yang terjadi maka rele akan semakin cepat bekerja, begitu pula sebaliknya (P.M. Anderson, 1999). Pada beberapa standar seperti standar IEC 60225 dan IEEE 242 menjelaskan bahwa jenis perlindungan waktu *inverse* dibedakan menggunakan gradien kurva yang berbeda-beda. Kurva-kurva tersebut adalah *long time inverse*, *standard inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *ultra inverse*. Terdapat beberapa parameter yang perlu diatur pada rele arus lebih waktu *inverse*, yaitu jenis kurva, nilai arus *pickup*, dan *Time Dial Setting* (TDS). Nilai arus *pickup* merupakan nilai minimum rele untuk bekerja atau beroperasi, sedangkan nilai TDS menunjukkan waktu operasi yang dibutuhkan oleh rele (Blackburn & Domin, 2006). Berdasarkan *British Standard BS 142*, nilai arus *pickup* dapat ditentukan dari persamaan (5) berikut ini.

$$1,05 FLA \leq I_{set} \leq 1,4 FLA \quad (5)$$

Keterangan:

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

I_{set} = Arus *pickup*

Setelah didapatkan nilai I_{set} , langkah selanjutnya yaitu dilakukan pengaturan tap dengan membandingkan nilai I_{set} dengan belitan primer dari CT (nCT) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Tap = \frac{I_{set}}{nCT \text{ Primer}} \quad (6)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai TDS dapat menggunakan rumus perhitungan berdasarkan manufaktur rele yang digunakan. Dalam Protection and Control Sepam 1000 (1998) nilai TDS dapat dihitung menggunakan persamaan (7) berikut:

$$t_{op} = TDS \times \frac{k}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right) \times \beta} \quad (7)$$

Keterangan:

t_{op} = Waktu operasi rele

TDS = *Time Dial Setting*

I = Arus gangguan yang mengalir pada saat t_{op}

I_p = Arus *pickup* untuk perlindungan beban lebih

k, α , dan β = koefisien kurva *inverse*

Nilai k, α , dan β bergantung pada jenis kurva yang digunakan dengan nilai seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.1** berikut ini:

Tabel 2.1 Nilai Konstanta k , α , dan β Berdasarkan Jenis Kurva

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

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

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

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

Keterangan:

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

I_{set} = Arus *pickup*

$I_{sc \text{ min}}$ = Arus hubung singkat minimum

Nilai arus hubung singkat minimum merupakan nilai arus hubung singkat fasa ke fasa ($I_{sc \ 2\phi}$) dalam durasi *steady state* (30 cycle). Kemudian nilai arus *pickup* yang telah didapat dibagi dengan belitan primer dari CT untuk menentukan nilai tap.

2.5 Koordinasi Proteksi

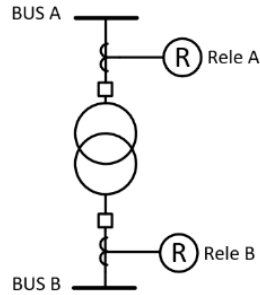
Koordinasi proteksi pada sistem tenaga listrik bertujuan untuk menentukan karakteristik, *rating*, dan *setting* dari peralatan pengaman arus lebih yang berfungsi untuk meminimalisasi kerusakan peralatan serta melokalisasi gangguan hubung singkat sesegera mungkin. Sistem proteksi juga harus dirancang dengan memperhatikan ketidakandalannya sendiri. Ini berarti bahwa sistem proteksi cadangan (*backup*) harus dipasang untuk beroperasi jika terjadi kegagalan peralatan proteksi primer sehingga kerusakan sistem dapat diminimalkan dan pemulihan layanan normal dapat dicapai dengan cepat (P.M. Anderson, 1999).

Jarak waktu operasi antara rele utama dengan rele *backup* perlu mempertimbangkan *Coordination Time Interval* (CTI). Berdasarkan IEEE Std. 242-2001, nilai CTI minimum yang direkomendasikan untuk rele proteksi jenis elektromekanik dan statik dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut ini:

Tabel 2.2 CTI untuk Rele Elektromekanik dan Rele Statik

Komponen	Waktu (Detik)	
	Elektromekanik	Statik
Waktu <i>Circuit Breaker</i> membuka	0,08	0,08
<i>Overtravel</i> pada rele	0,10	0,00
Toleransi rele dan <i>error setting</i>	0,12	0,12
Total CTI	0,30	0,20

Sehingga dapat disimpulkan bahwa CTI minimum yang direkomendasikan adalah 0,2 detik untuk rele statik dan 0,3 detik untuk rele elektromekanik. Namun pada *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, nilai arus hubung singkat pada *bus* di sisi primer dan sisi sekunder perlu diperhatikan dan dipertimbangkan dalam koordinasi rele proteksi (Putra, 2019).



Gambar 2.4 Koordinasi Rele Proteksi Arus Lebih pada Trafo

Berdasarkan **Gambar 2.4** diasumsikan *bus A* merupakan *bus HV*, sedangkan *bus B* merupakan *bus LV*. Jika

$$I_{sc \max bus B} < 0,8 I_{sc \min bus A} \quad (9)$$

maka, penentuan nilai arus *pickup* rele arus lebih waktu tertentu dapat menggunakan persamaan (10) berikut ini.

$$I_{sc \max bus B} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min bus A} \quad (10)$$

Jika persamaan (10) digunakan, maka pengaturan *time delay* pada rele di sisi *bus A* dapat diatur menjadi rele proteksi utamanya (0,1 detik).

Berdasarkan **Gambar 2.4**, jika

$$I_{sc \max bus B} > 0,8 I_{sc \min bus A} \quad (11)$$

maka, penentuan nilai arus *pickup* rele arus lebih waktu tertentu dapat menggunakan persamaan berikut:

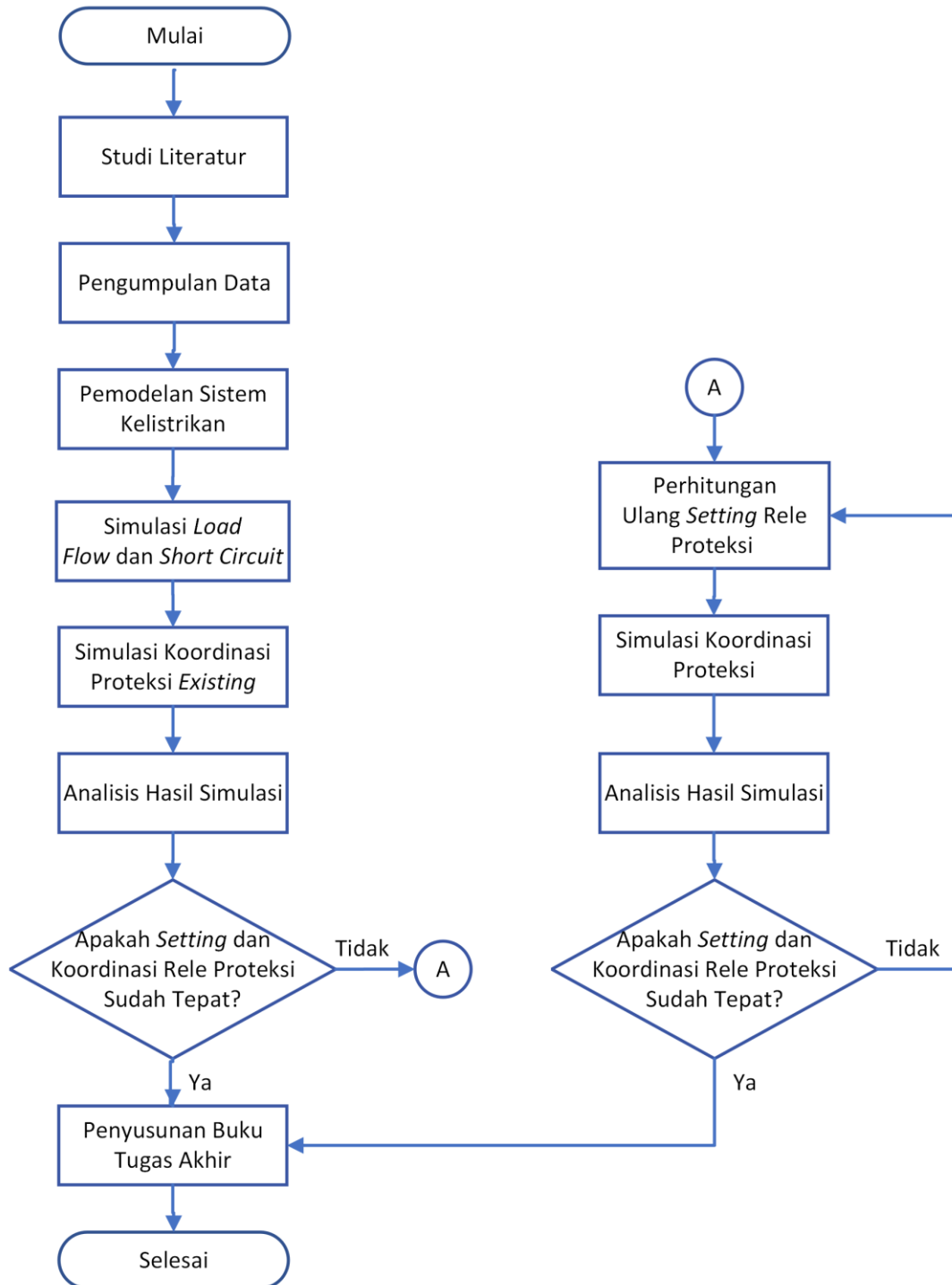
$$I_{set} > 0,8 I_{sc \min bus A} \quad (12)$$

Pada kasus ini, pengaturan *time delay* pada rele A dan rele B diatur sesuai dengan CTI yang telah dijelaskan sebelumnya.

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, digunakan *software* ETAP untuk melakukan simulasi koordinasi proteksi dan kemudian dilakukan analisis terhadap hasil simulasi untuk mengetahui ketepatan *setting* dan koordinasi rele proteksi. Adapun diagram alir dalam pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1** berikut ini.



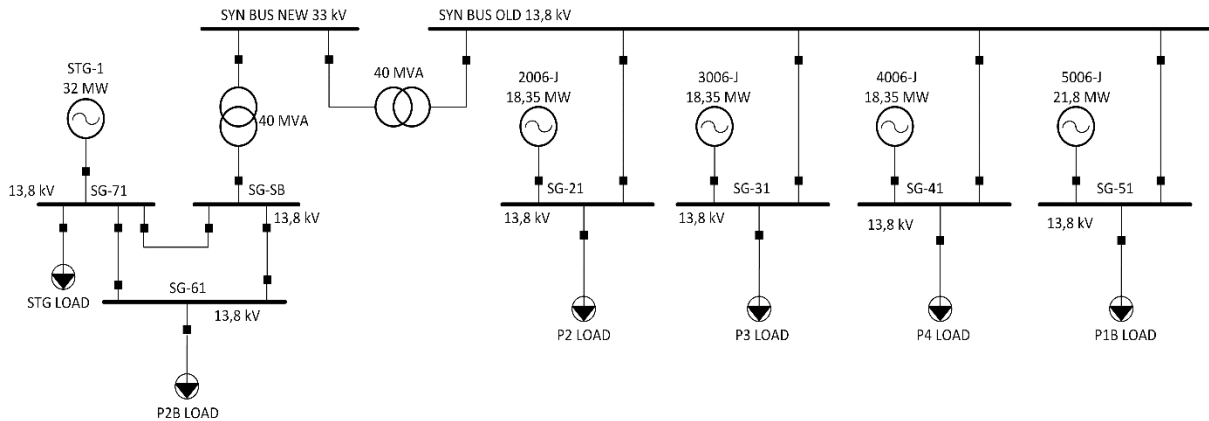
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Penjelasan diagram alir pengerjaan tugas akhir sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.1** adalah sebagai berikut:

1. Tahapan pertama akan dilakukan studi literatur untuk memperkuat teori penunjang dalam pengerjaan tugas akhir. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan membaca referensi yang mengandung informasi berkaitan dengan dasar-dasar proteksi sistem tenaga listrik, standar *setting* rele-rele proteksi arus lebih, dan koordinasi rele proteksi arus lebih.
2. Langkah selanjutnya yaitu pengumpulan data-data yang dibutuhkan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Data-data yang dibutuhkan berupa *single line diagram* PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang beserta data komponen-komponen dan beban di dalamnya, data/informasi mengenai gangguan-gangguan yang terjadi, dan data *setting* rele proteksi *existing*.
3. Setelah seluruh data sudah terkumpul dan studi literatur dilaksanakan, maka akan langkah selanjutnya adalah memodelkan sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang menggunakan *software* ETAP. Pemodelan ini bertujuan agar dapat melakukan simulasi yang menunjang pengerjaan tugas akhir ini.
4. Langkah selanjutnya yaitu simulasi *load flow* dan *short circuit*. Simulasi *load flow* bertujuan untuk mendapatkan data aliran daya, sedangkan simulasi *short circuit* dilakukan untuk mendapatkan data nilai arus hubung singkat guna keperluan *setting* rele arus lebih.
5. Kemudian dilakukan simulasi koordinasi proteksi *existing* sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.
6. Hasil simulasi kemudian dianalisis apakah *setting* dan koordinasi rele proteksi sudah tepat dan sesuai standar atau tidak.
7. Apabila *setting* dan koordinasi rele proteksi tidak tepat, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan ulang *setting* rele proteksi. Perhitungan ini perlu mempertimbangan nilai arus beban normal dan nilai arus gangguan hubung singkat.
8. Setelah dilakukan perhitungan ulang *setting* rele proteksi, maka selanjutnya adalah melakukan simulasi koordinasi proteksi hasil perhitungan ulang.
9. Hasil simulasi kemudian dianalisis apakah *setting* dan koordinasi rele proteksi sudah tepat dan sesuai standar atau tidak.
10. Apabila *setting* dan koordinasi rele proteksi belum tepat, maka akan dilakukan perhitungan ulang hingga mencapai koordinasi proteksi yang diharapkan.
11. Jika *setting* dan koordinasi proteksi sudah tepat, maka langkah selanjutnya adalah penarikan suatu kesimpulan dari hasil yang diperoleh dan saran untuk penelitian selanjutnya. Kemudian dapat diakhiri dengan penyusunan buku Tugas Akhir.

3.2 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjadja Palembang

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bergerak di bidang industri pupuk dan bahan kimia lainnya. Saat ini sistem kelistrikan pabrik diperoleh dari pembangkit sendiri. Sistem distribusi utama yang digunakan adalah sistem *single bus bar* 33 kV dan 13,8 kV dengan pola operasi radial. Untuk memenuhi target produksi, saat ini PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki 5 pabrik yang dimana sistem kelistrikan tiap pabrik saling terhubung melalui *synchronize bus* guna keperluan ekspor dan impor daya tiap pabrik. PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang melayani kebutuhan suplai daya listrik ke beban-bebannya dengan mengoperasikan beberapa pembangkit. Sistem pembangkitan utama yang terdapat pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang adalah 4 *gas turbin generator* (GTG) dan 1 *steam turbine generator* (STG) seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.2** berikut.



Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

3.2.1 Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Dalam memenuhi kebutuhan listrik pabrik, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki sumber pembangkitan sendiri berupa 4 unit *gas turbine generator* (GTG) dan 1 unit *steam turbine generator* (STG). Kelima unit pembangkit tersebut berada di pabrik-pabrik yang berbeda sesuai *single line diagram* pada **Gambar 3.2**. Spesifikasi umum kelima unit pembangkit tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Data Pembangkit di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Generator ID	Area	Daya Rating (MW)	Tegangan (kV)	Faktor Daya (PF)
2006-J	Pusri 2	18,35	13,8	85%
3006-J	Pusri 3	18,35	13,8	85%
4006-J	Pusri 4	18,35	13,8	85%
5006-J	Pusri 1B	21,8	13,8	85%
STG-1	Pusri 2B	32	13,8	85%

Kelima unit pembangkit pada **Tabel 3.1** akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban ada di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang sebesar 45,03 MW dengan rincian pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Data Pembebanan di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Pabrik	Tegangan (kV)	Total Pembebanan (MW)
Pusri 2	13,8	0,84
Pusri 3	13,8	23,83
Pusri 4	13,8	5,84
Pusri 1B	13,8	4,52
Pusri 2B dan STG Load	13,8	10,01

3.2.2 Sistem Distribusi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Untuk menyuplai pasokan listrik ke beban-beban yang ada di pabrik, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang menggunakan sistem distribusi radial yang dimana sistem kelistrikan tiap pabrik saling terhubung melalui *synchronize bus*. Pada sistem distribusi kelistrikannya, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang menggunakan level tegangan yang berbeda yaitu 0,4 kV, 0,48 kV, 2,4, 13,8, dan 33 kV. Untuk mengkonversi nilai-nilai tegangan tersebut digunakan trafo *step-up* dan *step-down*. Data masing-masing trafo distribusi yang digunakan di dalam sistem distribusi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 3.3 Data Trafo Distribusi pada Pabrik 1B dan Pabrik 3

ID Trafo	MVA	Tegangan (kV)	%Z	Lokasi	
NPK I-TR-1	1	13,8 / 2,4	7	Pusri 1B	
NPK I-TR-2	1,6	13,8 / 0,4	7		
TR#51	1,25	13,8 / 0,48	5,5		
TR#51A	2,5	13,8 / 2,4	5,5		
TR#52	1,25	13,8 / 0,48	5,5		
TR#53	2	13,8 / 2,4	5,5		
TR#54	2	13,8 / 2,4	5,5		
TR#55	1,25	13,8 / 0,48	5,5		
TR#56	0,8	13,8 / 0,48	5,5		
TR#57	0,8	13,8 / 0,48	5,5		
TR#58	4	13,8 / 2,4	6		
TR#59	2,5	13,8 / 2,4	6		
TR-64	3	13,8 / 2,5	5,5		
TR#315	1	13,8 / 0,48	5,75		
TR#315A	0,5	13,8 / 0,4	5,75		
TR#510	0,315	13,8 / 0,48	4		
TR#511	2,5	2,4 / 0,48	5,5		
TR#512	2,5	13,8 / 2,4	6		
TR#512A	0,5	2,4 / 0,4	4		
TR#5006	0,75	13,8 / 2,4	5,63		
TR#NPK.	2,5	13,8 / 0,4	5,75		
TR#30'	2,5	2,4 / 0,48	7,51		Pusri 3
TR#31*'	1,25	13,8 / 0,48	8,93		
TR#33	2,5	13,8 / 2,4	6,53		
TR#35	1,25	13,8 / 0,48	6,56		
TR#35A	1	13,8 / 0,48	6,53		
TR#36	1,25	13,8 / 0,48	5,09		
TR#37	1	13,8 / 0,48	4		
TR#38	7,5	13,8 / 2,4	5,81		
TR#39	1	13,8 / 2,4	5,29		
TR#310	0,225	13,8 / 0,48	3,31		
TR#311	0,5	13,8 / 0,48	4,72		
TR#311A	1	13,8 / 2,4	5,79		
TR#311B	0,63	13,8 / 0,48	5,75		
TR#312	1,25	13,8 / 0,48	6		
TR#312A	1	13,8 / 2,4	5,24		
TR#2006	1,6	13,8 / 2,4	5,5		
TRAOP3	0,5	13,8 / 0,48	4		

Tabel 3.4 Data Trafo Distribusi pada Pabrik 2, Pabrik 2B, dan STG Load

ID Trafo	MVA	Tegangan (kV)	%Z	Lokasi
TR#23	4	13,8 / 2,4	6,18	Pusri 2
TR#26	0,5	2,4 / 0,48	5,89	
TR#27	0,5	2,4 / 0,48	5,89	
TR#28	1	2,4 / 0,48	7,86	
TR#211	0,225	13,8 / 0,48	5,69	
TR#219	0,075	2,4 / 0,48	5,75	
TRRP	0,15	2,4 / 0,48	5,75	
TRUOP1	2,5	13,8 / 2,4	6	
TRUOP2	1	2,4 / 0,48	5	
02-TR-001	1,6	13,8 / 2,4	7	
02-TR-002	2	13,8 / 0,4	7	
03-TR-2	1,6	13,8 / 2,4	7	
03-TR-002	2	13,8 / 0,4	7	
6P-1001-LVTR	2,5	2,4 / 0,48	6,25	
6P-1001-MVTR	12	13,8 / 2,4	10	
6P-2001-LVTR	2,5	2,4 / 0,48	6,25	
6P-2001-MVTR	12	13,8 / 2,4	10	
6P-3001-ELVTR	1,6	2,4 / 0,48	6,25	
6P-3001-LVTR	2,5	2,4 / 0,48	6,25	
6P-3001-MVTR	8,5	13,8 / 2,4	8,35	
6P-3002-LVTR	2,5	2,4 / 0,48	6,25	
6P-3002-MVTR	8,5	13,8 / 2,4	8,35	
6P-4001-LVTR	1,25	13,8 / 0,48	5	
6P-6101-TR	0,63	13,8 / 0,4	5,5	
6P-6201-TR	1,6	13,8 / 0,4	5,5	
TR#02	3	13,8 / 0,4	5,5	
TR-2	3	2,4 / 0,4	5,5	
TR-61	2	13,8 / 0,48	5,5	
TR-61A	4	13,8 / 2,4	5,5	
TR-62	2	13,8 / 0,48	5,5	
TR-63	3	13,8 / 2,4	5,5	
TR-65	12	13,8 / 2,4	10	
TR-69	2,5	13,8 / 2,4	5,5	
TR#SB-1	40	33 / 13,8	12,5	
TR-610	1	13,8 / 2,4	5,5	
TR-612	7,5	13,8 / 2,4	7,5	
TR-DS-68	7,5	13,8 / 2,4	5,5	

Tabel 3.5 Data Trafo Distribusi pada Pabrik 4

ID Trafo	MVA	Tegangan (kV)	%Z	Lokasi
TR#40'	2,5	2,4 / 0,48	8,15	Pusri 4
TR#41	1	13,8 / 0,48	6,78	
TR#44	2,5	13,8 / 2,4	5,76	
TR#45	1	13,8 / 0,48	6,76	
TR#45A	0,63	13,8 / 0,48	5,75	
TR#45B	2	13,8 / 2,4	5,5	
TR#46'	0,5	13,8 / 0,48	4,82	
TR#48	7,5	13,8 / 2,4	6,05	
TRAOP4	0,5	13,8 / 0,48	4	

3.3 Sistem Proteksi di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang membutuhkan suplai daya listrik yang baik dan handal untuk menjaga kontinuitas proses produksi. Oleh karena itu, sistem proteksi dibutuhkan untuk menjaga suplai daya listrik dan melindungi sistem kelistrikan dari gangguan arus lebih agar proses produksi tetap berjalan optimal. Peralatan yang dibutuhkan dalam sistem proteksi arus lebih adalah rele proteksi arus lebih. Pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang terdapat beberapa jenis rele proteksi yang digunakan sehingga terdapat perbedaan nilai konstanta, cara *setting* maupun jenis kurva yang tersedia pada masing-masing rele. Berikut merupakan data beberapa jenis rele proteksi yang ada pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang:

1. Siemens 7SJ62

Overcurrent

Pickup Range : 0,1 – 20 x CT sec

Pickup Step : 0,01

Curve Type :

- *Definite Time*
- *IEC: Normal Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, Long Inverse*
- *ANSI: Inverse, Short Inverse, Long Inverse, Moderately Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, Definite Inverse*

Instantaneous

Pickup Range : 0,1 – 175 x CT sec

Pickup Step : 0,01

Delay Range : 0 – 60 s

2. Merlin Gerin Sepam 1000

Overcurrent

Pickup Range : 0,3 – 2,4 x CT sec

Pickup Step : 0,05

Curve Type :

- *Definite Time*
- *IEC: Standard Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, Ultra Inverse, RI Curve*

Instantaneous

Pickup Range : 1 – 24 x CT sec

Pickup Step : 0,1
Delay Range : 0,025 – 2 s

3. GE Multilin 760

Overcurrent

Pickup Range : 0,05 – 20 x CT sec
Pickup Step : 0,01
Curve Type :

- *Definite Time*
- *IEC: Curve A, Curve B, Curve C, Short Time Inverse*
- *ANSI: Extremely Inverse, Very Inverse, Normally Inverse, Moderately Inverse*
- *IAC: Extremely Inverse, Very Inverse, Short Time Inverse, Inverse*

Instantaneous

Pickup Range : 0,05 – 20 x CT sec
Pickup Step : 0,01
Delay Range : 0 – 600 s

4. GE Multilin G30

Overcurrent

Pickup Range : 0 – 30 x CT sec
Pickup Step : 0,001
Curve Type :

- *Definite Time, I²T*
- *IEC: Curve A, Curve B, Curve C, Short Time Inverse*
- *IEEE: Extremely Inverse, Very Inverse, Moderately Inverse*
- *IAC: Extremely Inverse, Very Inverse, Short Time Inverse, Inverse*

Instantaneous

Pickup Range : 0 – 30 x CT sec
Pickup Step : 0,001
Delay Range : 0 – 600 s

5. GE Multilin MIF II

Overcurrent

Pickup Range : 0,1 – 2,4 x CT sec
Pickup Step : 0,01
Curve Type :

- *Definite Time*
- *IEC: Curve A, Curve B, Curve C*
- *ANSI: Extremely Inverse, Very Inverse, Inverse*
- *IAC: Inverse, Extremely Inverse, Very Inverse, Inverse Short, Inverse Long*

Instantaneous

Pickup Range : 0,1 – 30 x CT sec
Pickup Step : 0,1
Delay Range : 0 – 600 s

6. Merlin Gerin Sepam Series 20

Overcurrent

Pickup Range : 0,1 – 2,4 x CT sec

Pickup Step : 0,01

Curve Type :

- *Definite Time*
- *IEC: Standard Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, Ultra Inverse, RI Curve*
- *IEEE: Moderately Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse*
- *IAC: Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse*

Instantaneous

Pickup Range : 0,1 – 24 x CT sec

Pickup Step : 0,1

Delay Range : 0,05 – 300 s

7. MiCOM P543

Overcurrent

Pickup Range : 0,08 – 4 x CT sec

Pickup Step : 0,01

Curve Type :

- *IEC: Normally Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse, Long Time Inverse, Short Time Inverse*
- *ANSI: Extremely Inverse, Very Inverse, Moderately Inverse*

Instantaneous

Pickup Range : 0,08 – 4 x CT sec

Pickup Step : 0,01

Delay Range : 0 – 100 s

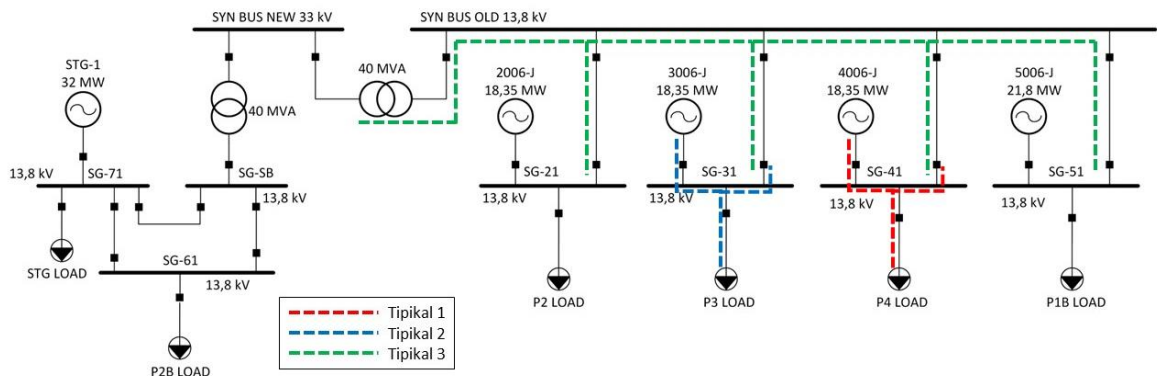
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Dalam melakukan *setting* koordinasi proteksi sistem tenaga listrik PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat dilakukan dengan pemilihan beberapa tipikal koordinasi. Tipikal yang dipilih dapat dijadikan sebagai acuan untuk melakukan *setting* koordinasi proteksi bagian yang lain dalam sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Dalam evaluasi koordinasi proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang pada tugas akhir dipilih 3 tipikal koordinasi proteksi. Tipikal-tipikal tersebut dipilih berdasarkan laporan kejadian gangguan yang terjadi hingga menyebabkan *black out* pada keseluruhan pabrik. Berikut merupakan tipikal yang dianalisis pada tugas akhir ini:

1. Tipikal 1: Koordinasi rele proteksi arus lebih pada pabrik 4 mulai dari trafo TR#48 hingga generator GTG P4. Rele yang termasuk pada tipikal 1 meliputi R MCC#48, R 41C, R 52S P4 (IMPORT), dan R GTG P4.
2. Tipikal 2: Koordinasi rele proteksi arus lebih pada pabrik 3 mulai dari TR#38 hingga generator GTG P3. Rele yang termasuk dalam tipikal 2 ini meliputi R SG31 J, R 52S P3 (IMPORT), dan R GTG P3.
3. Tipikal 3: Koordinasi rele proteksi arus lebih pada *synchronize bus* yang menghubungkan setiap pabrik. Rele yang termasuk dalam tipikal 3 ini meliputi R 52S P1B (IMPORT), R 52S P2 (IMPORT), R 52S P3 (IMPORT), R 52S P4 (IMPORT), R 52S P1B (EKSPORT), R 52S P2 (EKSPORT), R 52S P3 (EKSPORT), R 52S P4 (EKSPORT), R 52S P-1B, R 52S P-2, R 52S P-3, R 52S P-4, dan R SG 4002 K01 INC.

Tipikal koordinasi proteksi ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Tipikal Koordinasi Rele Proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

4.2 Data Arus Gangguan Hubung Singkat

Selain data arus nominal atau FLA yang melalui rele proteksi, dalam penentuan *setting* rele proteksi arus lebih juga diperlukan data arus gangguan hubung singkat yang melewati rele proteksi pada saat terjadi gangguan. Data arus hubung singkat yang dibutuhkan dalam penentuan *setting* rele proteksi meliputi data nilai arus hubung singkat minimum dan arus hubung singkat maksimum. Arus hubung singkat minimum merupakan arus gangguan hubung singkat 2 fasa atau fasa ke fasa pada 30 *cycle*, yaitu kondisi pada saat kondisi *steady state*. Nilai arus hubung singkat minimum dibutuhkan sebagai parameter *setting pickup* kurva rele arus lebih waktu instan. Sedangkan arus hubung singkat maksimum merupakan arus gangguan hubung singkat 3 fasa. Arus hubung singkat maksimum ini digunakan untuk melakukan

perhitungan *time dial* kurva rele arus lebih waktu *inverse*. Terdapat 2 jenis data arus hubung singkat maksimum yang dibutuhkan, yaitu arus hubung singkat maksimum 30 *cycle* dan arus hubung singkat maksimum 4 *cycle*. Nilai Arus hubung singkat maksimum 30 *cycle* digunakan untuk menghitung *time dial* rele yang beroperasi pada waktu > 0,1 detik. Sedangkan arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk menghitung *time dial* rele yang beroperasi pada waktu ≤ 1 detik. Data nilai arus hubung singkat diperoleh dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP. Data nilai arus gangguan hubung singkat ditunjukkan pada **Tabel 4.1**, **Tabel 4.2**, dan **Tabel 4.3**.

Tabel 4.1 Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 *Cycle* pada Setiap Tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Tegangan	Arus hubung singkat 2 fasa (30 <i>cycle</i>)
1	R MCC#48	MCC#48	2,4 kV	17,5 kA
	R 41C	DS-4101*	13,8 kV	9,48 kA
	R 52S P4 (IMPORT)	SG-41	13,8 kV	5,3 kA
	R GTG P4	SG-41	13,8 kV	5,6 kA
2	R SG31 J	inc TR38	13,8 kV	10,38 kA
	R 52S P3 (IMPORT)	SG-31	13,8 kV	5,3 kA
	R GTG P3	SG-31	13,8 kV	5,6 kA
3	R 52S P1B (IMPORT)	SG-51	13,8 kV	6,43 kA
	R 52S P2 (IMPORT)	SG-21	13,8 kV	5,3 kA
	R 52S P3 (IMPORT)	SG-31	13,8 kV	5,3 kA
	R 52S P4 (IMPORT)	SG-41	13,8 kV	5,3 kA
	R 52S P1B (EKSPORT)	SG-51	13,8 kV	6,43 kA
	R 52S P2 (EKSPORT)	SG-21	13,8 kV	5,3 kA
	R 52S P3 (EKSPORT)	SG-31	13,8 kV	5,3 kA
	R 52S P4 (EKSPORT)	SG-41	13,8 kV	5,3 kA
	R 52S P-1B	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	4,31 kA
	R 52S P-2	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	3,37 kA
	R 52S P-3	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	3,36 kA
	R 52S P-4	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	3,37 kA
	R SG 4002 K01 INC	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	2,56 kA

Tabel 4.2 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 30 *Cycle* pada Setiap Tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Tegangan	Arus hubung singkat 3 fasa (30 <i>cycle</i>)
1	R MCC#48	MCC#48	2,4 kV	19,7 kA
	R 41C	DS-4101*	13,8 kV	10,13 kA
	R 52S P4 (IMPORT)	SG-41	13,8 kV	5,87 kA
	R GTG P4	SG-41	13,8 kV	5,63 kA
2	R SG31 J	inc TR38	13,8 kV	11,01 kA
	R 52S P3 (IMPORT)	SG 31	13,8 kV	5,86 kA
	R GTG P3	SG 31	13,8 kV	5,62 kA

Tabel 4.2 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 30 *Cycle* pada Setiap Tipikal (Lanjutan)

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Tegangan	Arus hubung singkat 3 fasa (30 cycle)
3	R 52S P1B (IMPORT)	SG-51	13,8 kV	7,14 kA
	R 52S P2 (IMPORT)	SG-21	13,8 kV	5,86 kA
	R 52S P3 (IMPORT)	SG-31	13,8 kV	5,86 kA
	R 52S P4 (IMPORT)	SG-41	13,8 kV	5,87 kA
	R 52S P1B (EKSPORT)	SG-51	13,8 kV	7,14 kA
	R 52S P2 (EKSPORT)	SG-21	13,8 kV	5,86 kA
	R 52S P3 (EKSPORT)	SG-31	13,8 kV	5,86 kA
	R 52S P4 (EKSPORT)	SG-41	13,8 kV	5,87 kA
	R 52S P-1B	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	4,34 kA
	R 52S P-2	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	3,59 kA
	R 52S P-3	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	3,59 kA
	R 52S P-4	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	3,6 kA
	R SG 4002 K01 INC	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	2,8 kA

Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 *Cycle* pada Setiap Tipikal

Tipikal	ID Rele	Lokasi Gangguan	Tegangan	Arus hubung singkat 3 fasa (4 cycle)
1	R MCC#48	MCC#48	2,4 kV	22,02 kA
	R 41C	DS-4101*	13,8 kV	14,68 kA
	R 52S P4 (IMPORT)	SG-41	13,8 kV	6,72 kA
	R GTG P4	SG-41	13,8 kV	10 kA
2	R SG31 J	inc TR38	13,8 kV	16,53 kA
	R 52S P3 (IMPORT)	SG 31	13,8 kV	6,71 kA
	R GTG P3	SG 31	13,8 kV	9,97 kA
3	R 52S P1B (IMPORT)	SG-51	13,8 kV	8,56 kA
	R 52S P2 (IMPORT)	SG-21	13,8 kV	6,73 kA
	R 52S P3 (IMPORT)	SG-31	13,8 kV	6,71 kA
	R 52S P4 (IMPORT)	SG-41	13,8 kV	6,72 kA
	R 52S P1B (EKSPORT)	SG-51	13,8 kV	8,56 kA
	R 52S P2 (EKSPORT)	SG-21	13,8 kV	6,73 kA
	R 52S P3 (EKSPORT)	SG-31	13,8 kV	6,71 kA
	R 52S P4 (EKSPORT)	SG-41	13,8 kV	6,72 kA
	R 52S P-1B	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	6,2 kA
	R 52S P-2	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	5,06 kA
	R 52S P-3	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	5,27 kA
	R 52S P-4	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	5,29 kA
R SG 4002 K01 INC	SYN BUS SG-4002	13,8 kV	4,21 kA	

Selain data arus hubung singkat maksimum dan minimum, dibutuhkan juga data arus kontribusi hubung singkat dari setiap pabrik yang menuju *synchronize bus* ketika terjadi hubung singkat di salah satu pabrik maupun hubung singkat di *synchronize bus* SG-4002. Data tersebut dibutuhkan untuk keperluan *setting* koordinasi proteksi tipikal 3. Pada tipikal 3 perlu dipertimbangkan data arus kontribusi dari masing-masing pabrik supaya tidak terjadi *sympathetic trip* ketika terjadi gangguan hubung singkat di salah satu pabrik. Data arus kontribusi tersebut dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5**.

Tabel 4.4 Data Kontribusi Arus Hubung Singkat dari Pabrik yang Tidak Terganggu

Gangguan		Kontribusi Arus Hubung Singkat Menuju Sync Bus (EKSPORT)			
Lokasi Bus	Jenis	52S P1B	52S P2	52S P3	52S P4
SG-51 (P1B)	3ph		1,89 kA	1,89 kA	1,89 kA
	2ph		1,71 kA	1,71 kA	1,71 kA
SG-21 (P2)	3ph	1,77 kA		1,47 kA	1,47 kA
	2ph	1,67 kA		1,31 kA	1,31 kA
SG-31 (P3)	3ph	1,77 kA	1,47 kA		1,47 kA
	2ph	1,67 kA	1,31 kA		1,31 kA
SG-41 (P4)	3ph	1,78 kA	1,47 kA	1,47 kA	
	2ph	1,67 kA	1,31 kA	1,31 kA	

Tabel 4.5 Arus Kontribusi Minimum 4 Cycle yang Melalui Rele *Outgoing Sync Bus* SG-4002

ID Rele	Lokasi gangguan	Tegangan	Arus hubung singkat 2 fasa (4 cycle)
R 52S P-1B	<i>Sync bus</i> SG-4002	13,8 kV	5,63 kA
	Terminal reaktor P1B terhubung <i>Sync Bus</i>	13,8 kV	16,63 kA
R 52S P-2	<i>Sync bus</i> SG-4002	13,8 kV	4,1 kA
	Terminal reaktor P2 terhubung <i>Sync Bus</i>	13,8 kV	18,15 kA
R 52S P-3	<i>Sync bus</i> SG-4002	13,8 kV	4,4 kA
	Terminal reaktor P3 terhubung <i>Sync Bus</i>	13,8 kV	17,86 kA
R 52S P-4	<i>Sync bus</i> SG-4002	13,8 kV	4,4 kA
	Terminal reaktor P4 terhubung <i>Sync Bus</i>	13,8 kV	17,86 kA

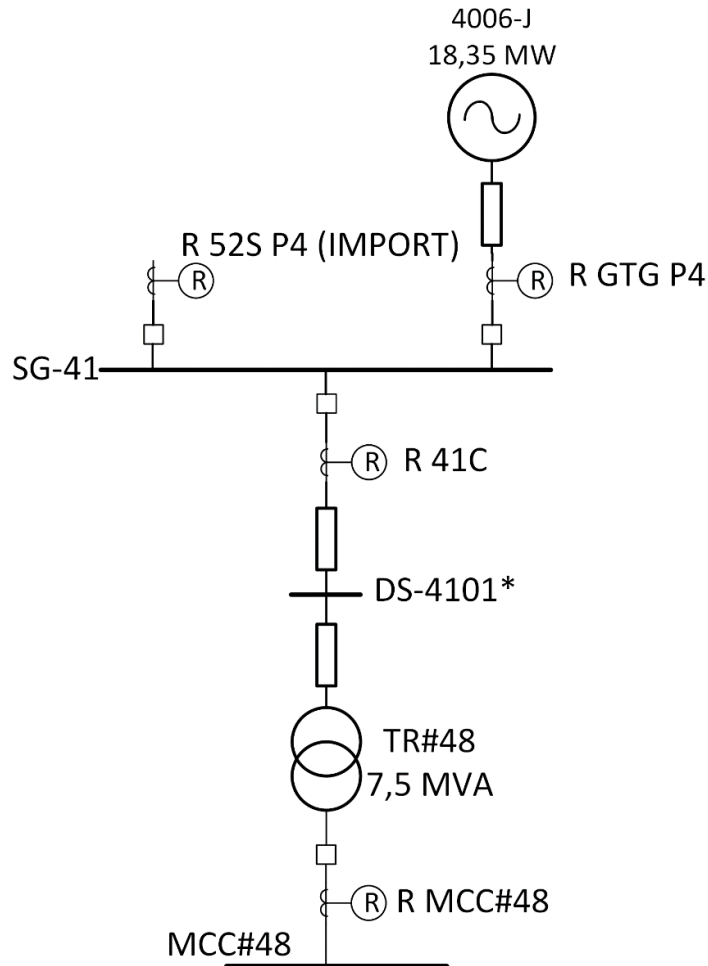
4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan koordinasi rele pengaman yang bertujuan untuk mengamankan sistem kelistrikan ketika terjadi gangguan arus lebih berupa gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat 2 fasa ataupun 3 fasa. Terdapat beberapa parameter yang perlu diatur pada *setting* rele arus lebih, yaitu *overcurrent pickup*, *time dial*, *instantaneous pickup*, dan *time delay*. Hasil perhitungan *setting* parameter-parameter rele yang didapat kemudian dimasukkan ke dalam *software* ETAP untuk peninjauan kurva *time current characteristic* (TCC) dan keperluan simulasi koordinasi proteksi ketika terjadi gangguan hubung singkat pada tipikal-tipikal yang sudah dipilih.

4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1 merupakan koordinasi rele proteksi arus lebih pada pabrik 4 mulai dari trafo TR#48 hingga generator GTG P4. Rele yang termasuk pada tipikal 1 meliputi R MCC#48, R 41C, R 52S P4 (IMPORT), dan R GTG P4. Pemilihan tipikal

1 ini didasari oleh adanya laporan kejadian gangguan hubung singkat di DS 13,8 kV Pabrik 4 yang mengakibatkan bekerjanya rele GTG P4, 52S P1B eksport, 52S P2 import dan lepasnya CB TR SB2b hingga menyebabkan lepasnya integrasi 33 kV. *Single line diagram* dan *setting* rele arus lebih kondisi *existing* pada tipikal 1 dapat dilihat pada **Gambar 4.2** dan **Tabel 4.6** berikut ini.

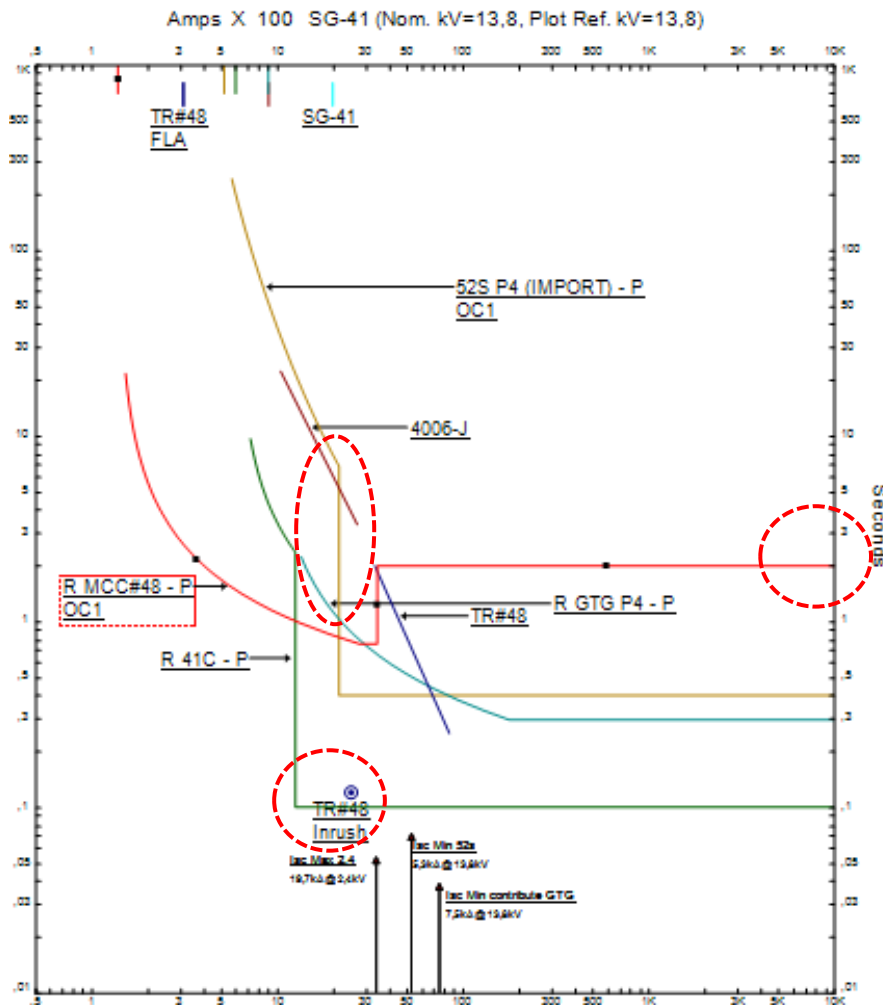


Gambar 4.2 *Single Line Diagram* Tipikal 1

Tabel 4.6 Tabulasi *Setting* Rele Arus Lebih Kondisi *Existing* pada Tipikal 1

ID Rele	Model	Rasio CT	Kurva	i>	td	i>>	Tdelay (sec)
R MCC#48	Siemens 7SJ62	2000/5	ANSI Mod Inverse	2	4	50	2
R 41C	MG SEPAM 1000	600/5	Std Inverse	1	0,75	2,1	0,1
R 52S P4 (IMPORT)	GE Multilin 760	800 /5	ANSI Extr Inverse	0,65	20	2,7	0,4
R GTG P4	GE Multilin G30	1500/5	IEC Curve A	0,6	0,13	Off	Off

Sedangkan kurva TCC *existing* Tipikal 1 ditunjukkan pada **Gambar 4.3** berikut ini.



Gambar 4.3 Kurva TCC Kondisi *Existing* pada Tipikal 1

Mengacu pada kurva TCC *existing* pada **Gambar 4.3** terdapat beberapa temuan terkait *setting* koordinasi proteksi yang kurang tepat, antara lain:

1. *Setting high-set (instantaneous)* R MCC#48 yang memiliki *setting time delay* 2 detik seharusnya memiliki *setting time delay* 0,3 detik dengan *setting arus instantaneous pickup* lebih kecil dari *Isc maks* pada tegangan 2,4 kV.
2. *Setting instantaneous pickup* R 41C lebih kecil dari *setting instantaneous pickup* R MCC#48. Hal ini akan menyebabkan rele R 41C pada sisi 13,8 kV akan bekerja terlebih dahulu ketika terjadi hubung singkat di tegangan 2,4 kV.
3. *Setting instantaneous pickup* R 41C lebih kecil dari nilai *inrush current* trafo TR#48. Hal ini akan menyebabkan bekerjanya rele R 41C ketika terjadi *energizing* trafo TR#48.
4. Terdapat *overlapping* antara R 52S P4 dengan R GTG P4, hal ini mengakibatkan bekerjanya R GTG P4 terlabih dahulu dibandingkan R 52S P4.

Dari temuan hasil koordinasi proteksi *existing* tipikal 1, maka perlu dilakukan *setting* ulang koordinasi proteksi rele arus lebih sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

- **R MCC#48**
Manufacturer : Siemens

Model	: 7SJ62
Tipe Kurva	: ANSI <i>Very Inverse</i>
Rasio CT	: 2000/5
FLA Sekunder TR#48	: 1804 A
Isc min 30 cycle pada MCC#48 yang melewati R MCC#48	: 17500 A
Isc maks 30 cycle pada MCC#48 yang melewati R MCC#48	: 19700 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 1804 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 1804 \text{ A} \\
 1894,2 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 2525,6 \text{ A} \\
 \frac{1894,2}{2000/5} \text{ In} &\leq Tap \leq \frac{2525,6}{2000/5} \text{ In} \\
 4,7355 \text{ In} &\leq Tap \leq 6,314 \text{ In}
 \end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 20 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 4,8 In (Iset = 1920 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Berdasarkan *datasheet* Siemens 7SJ62, penentuan *time dial* dengan tipe kurva ANSI *Very Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,0982 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,0982 \right)}$$

$$TD = \frac{0,3}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{19700}{1920}\right)^2 - 1} + 0,0982 \right)}$$

TD = 2,2

Didapatkan *time dial* minimum = 2,2 (step: 0,01)

Dipilih *time dial* = 2,3

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min}} \\
 1,6 \times 1804 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 17500 \text{ A} \\
 2886,4 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 14000 \text{ A} \\
 \frac{2886,4}{2000/5} \text{ In} &\leq Tap \leq \frac{14000}{2000/5} \text{ In} \\
 7,216 \text{ In} &\leq Tap \leq 35 \text{ In}
 \end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 175 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 21 In (Iset = 8400 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

• **R 41C**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: IEC <i>Very Inverse</i>
Rasio CT	: 600/5
FLA primer (TR#48 + TR AOP4)	: 334,72 A
Isc min 30 cycle pada DS-4101* yang melewati R 41C	: 9480 A
Isc maks 30 cycle pada MCC#48 yang melewati R 41C	: 3430 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 334,72 A &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 334,72 A \\ 351,46 A &\leq I_{set} \leq 468,61 A \\ \frac{351,46}{600} In &\leq Tap \leq \frac{468,61}{600} In \\ 0,585 In &\leq Tap \leq 0,78 In \end{aligned}$$

(Range: 0,3 – 2,4 In, step: 0,05)

Dipilih Tap = 0,6 In (Iset = 360 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,5 s

Berdasarkan *datasheet* Merlin Gerin Sepam 1000, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC *Very Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = \frac{TD}{1,5} \times \left(\frac{13,5}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right) - 1} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times 1,5}{\left(\frac{13,5}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right) - 1} \right)}$$

$$TD = \frac{0,5 \times 1,5}{\left(\frac{13,5}{\left(\frac{3430}{360}\right) - 1} \right)}$$

$$TD = 0,47$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,47 (step: 0,1)

Dipilih *time dial* = 0,5

Instantaneous Pickup

Rele R 41C merupakan rele yang berfungsi untuk melindungi trafo TR#48. Oleh karena itu dalam penentuan *setting instantaneous pickup*-nya perlu memperhatikan pertimbangan

khusus seperti yang telah dijelaskan pada bab 2. Dalam melakukan *setting instantaneous pickup* rele R 41C diperlukan data arus hubung singkat:

Isc maks 4 cycle sisi sekunder TR#48 yang melewati R 41C = 3830 A (13,8 kV)

Isc min 30 cycle sisi primer TR#48 yang melewati R 41C = 9480 A (13,8 kV)

Maka,

Isc maks 4 cycle sisi sekunder TR#48 < 0,8 Isc min 30 cycle sisi primer TR#48, sehingga dalam penentuan *instantaneous pickup* berlaku persamaan:

$$Isc \text{ maks } 4 \text{ cycle} \leq I_{set} \leq 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$3830 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 9480 \text{ A}$$

$$3830 \text{ A} \leq I_{set} \leq 7584 \text{ A}$$

$$\frac{3830}{600} In \leq Tap \leq \frac{7584}{600} In$$

$$6,38 In \leq Tap \leq 12,64 In$$

(Range: 1 – 24 In, step: 0,1)

Dipilih Tap = 6,6 In (Iset = 3960 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• **R 52S P4 (IMPORT)**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
Model	: 760
Tipe Kurva	: IAC <i>Inverse</i>
Rasio CT	: 800/5
FLA kabel penghantar pabrik 4	: 890,7 A
Isc min 30 cycle pada Bus SG-41 yang melewati R 52S P4 (IMPORT)	: 5300 A
Isc maks 30 cycle pada Bus DS-4101* yang melewati R 52S P4 (IMPORT)	: 5170 A

Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 890,7 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 \text{ A}$$

$$935,24 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1246,98 \text{ A}$$

$$\frac{935,24}{800} In \leq Tap \leq \frac{1246,98}{800} In$$

$$1,17 In \leq Tap \leq 1,56 In$$

(Range: 0,05 – 20 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 1,2 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* GE Multilin 760, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IAC *Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3}\right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{5170}{960} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{5170}{960} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{5170}{960} - 0,8\right)^3}\right)}$$

$$TD = 1,057$$

Didapatkan *time dial* minimum = 1,057 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 1,7

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min}$$

$$1,6 \times 890,7 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 5300 \text{ A}$$

$$1425,12 \text{ A} \leq I_{set} \leq 4240 \text{ A}$$

$$\frac{1425,12}{800} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{4240}{800} \text{ In}$$

$$1,781 \text{ In} \leq Tap \leq 5,3 \text{ In}$$

(*Range*: 0,05 – 20 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 5,25 In (Iset = 4200 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,4 s

• **R GTG P4**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
Model	: G30
Tipe Kurva	: IEC Curve A
Rasio CT	: 1500/5
FLA generator	: 903,2 A
Isc min 30 cycle pada Bus SG-41 yang melewati R GTG P4	: 5600 A
Isc maks 30 cycle pada Bus DS-4101* yang melewati R GTG P4	: 4960 A

Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 903,2 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1,4 \times 903,2 \text{ A}$$

$$948,36 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1264,48 \text{ A}$$

$$\frac{948,36}{1500} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{1264,48}{1500} \text{ In}$$

$$0,632 \text{ In} \leq Tap \leq 0,843 \text{ In}$$

(*Range*: 0 – 30 In, *step*: 0,001)

Dipilih Tap = 0,686 In (Iset = 1029 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,7 s

Berdasarkan *datasheet* GE Multilin G30, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC Curve A digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(\frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \right)}$$

$$TD = \frac{0,7}{\left(\frac{0,14}{\left(\frac{4960}{1029}\right)^{0,02} - 1} \right)}$$

$$TD = 0,16$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,16 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 0,18

Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 903,2 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 5600 \text{ A}$$

$$1445,12 \text{ A} \leq I_{set} \leq 4480 \text{ A}$$

$$\frac{1445,12}{1500} I_n \leq Tap \leq \frac{4480}{1500} I_n$$

$$0,963 I_n \leq Tap \leq 2,986 I_n$$

(Range: 0 – 30 In, step: 0,001)

Dipilih Tap = 2,95 In (Iset = 4425 A)

Time Delay

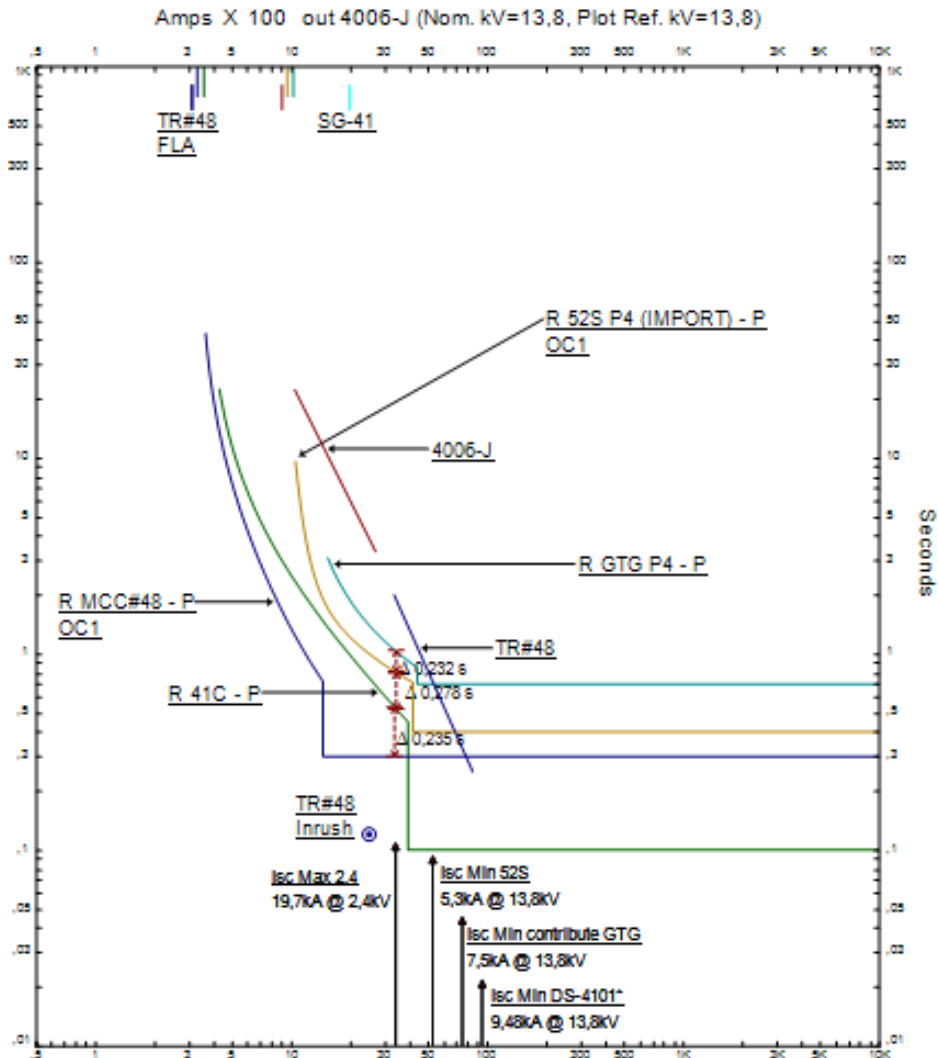
Dipilih *time delay* = 0,7 s

Hasil *setting* rele arus lebih tipikal 1 yang telah dihitung sebelumnya kemudian dirangkum pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Tabulasi *Setting* Rele Arus Lebih Kondisi *Resetting* pada Tipikal 1

ID Rele	Model	Rasio CT	Kurva	i>	td	i>>	Tdelay (sec)
R MCC#48	Siemens 7SJ62	2000/5	ANSI Very Inverse	4,8	2,3	21	0,3
R 41C	MG SEPAM 1000	600/5	IEC Very Inverse	0,6	0,5	6,67	0,1
R 52S P4 (IMPORT)	GE Multilin 760	800 /5	IAC Inverse	1,2	1,7	5,25	0,4
R GTG P4	GE Multilin G30	1500/5	IEC Curve A	0,686	0,18	2,95	0,7

Setelah melakukan penentuan *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1, maka dapat dilakukan verifikasi *setting* dengan memasukkan hasil perhitungan *setting* ke dalam *software* ETAP. Verifikasi dilakukan dengan meninjau urutan kejadian *tripping* dan CTI melalui kurva TCC sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



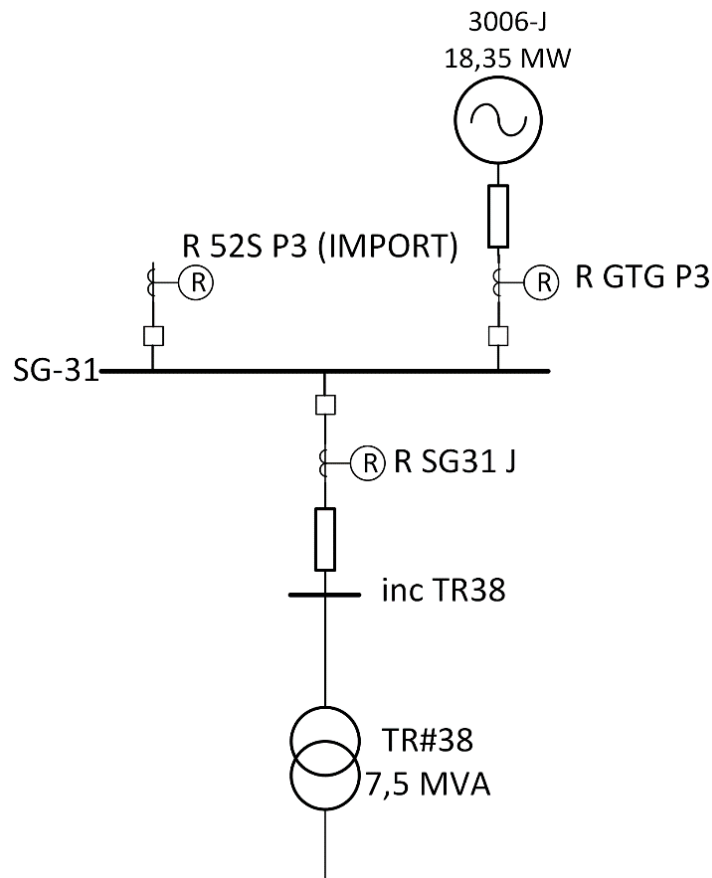
Gambar 4.4 Kurva TCC Hasil *Resetting* Tipikal 1

Berdasarkan **Gambar 4.4** dapat dianalisis bahwa:

1. Rele R MCC#48 akan bekerja sebagai rele pengaman utama ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus MCC#48 (2,4 kV) dengan waktu tunda 0,3 detik. Sedangkan rele R 41C akan bekerja sebagai *backup* dari rele utama dengan waktu tunda 0,5 detik.
2. Rele R 41C tidak akan memerintahkan *circuit breaker* untuk *trip* ketika trafo TR#48 melakukan *starting* atau *energizing*.
3. Ketika terjadi gangguan di bagian primer trafo TR#48 (bus DS-4101 13,8 kV), rele R 41C akan bekerja sebagai pengaman utama dengan waktu tunda 0,1 detik. Kemudian rele R 52S P4 (IMPORT) dan R GTG P4 secara berurutan akan bekerja sebagai *backup* dengan waktu tunda sebesar 0,4 detik dan 0,7 detik.

4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2 merupakan koordinasi rele proteksi arus lebih pada pabrik 3 mulai dari TR#38 hingga generator GTG P3. Rele yang termasuk dalam tipikal 2 ini meliputi R SG31 J, R 52S P3 (IMPORT), dan R GTG P3. Pemilihan tipikal 2 ini didasari dengan adanya laporan kejadian hubung singkat di terminal kabel DS 13,8 kV trafo TR#38 yang mengakibatkan CB 52G P3 *trip*. Kemudian saat *recovery* daya menuju TR#38, rele 52S ekspor pada pabrik 2, pabrik 4, dan pabrik 1B bekerja hingga terjadi *black out*. *Single line diagram* dan *setting* rele arus lebih kondisi *existing* pada tipikal 2 dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan **Tabel 4.8** berikut ini.

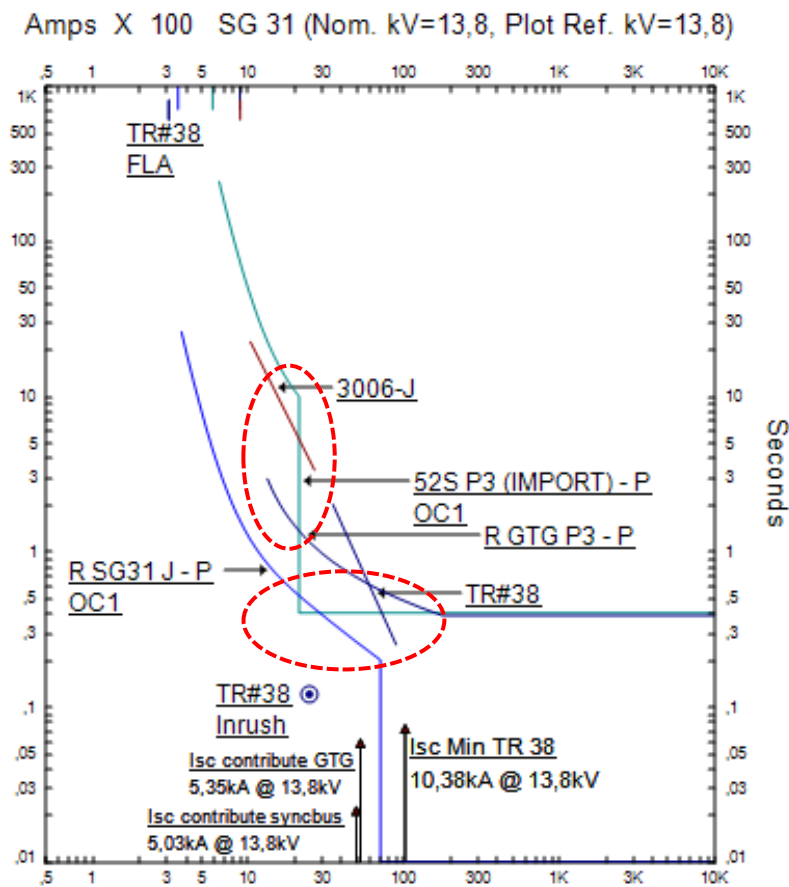


Gambar 4.5 *Single Line Diagram* Tipikal 2

Tabel 4.8 Tabulasi *Setting* Rele Arus Lebih Kondisi *Existing* pada Tipikal 2

ID Rele	Model	Rasio CT	Kurva	i>	td	i>>	Tdelay (sec)
R SG31 J	GE Multilin MIF II	300/5	ANSI <i>Inverse</i>	1,2	1,5	24	0,01
R 52S P3 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	ANSI <i>Inverse</i>	0,75	17	2,7	0,4
R GTG P3	GE Multilin G30	1500/5	IEC <i>Curve A</i>	0,6	0,17	<i>Off</i>	<i>Off</i>

Dengan memasukkan parameter *setting existing* pada **Tabel 4.8** di atas ke *software* ETAP, maka didapatkan kurva TCC *existing* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.6** berikut.



Gambar 4.6 Kurva TCC Kondisi *Existing* pada Tipikal 2

Dari hasil *plotting* kurva R 52S P3 (IMPORT), R GTG P3 dan R SG31 J serta simulasi arus gangguan hubung singkat 2 fasa di *feeder* TR#38 menunjukkan ketidaksesuaian dengan kronologis kejadian. Seharusnya R SG31 J (*outgoing* ke TR#38) dapat bekerja terlebih dahulu sebelum R 52S P3 dan R GTG P3. Namun pada kurva TCC *existing* yang ditunjukkan **Gambar 4.6** juga terdapat beberapa temuan terkait *setting* koordinasi proteksi yang kurang tepat, antara lain:

1. *Setting high-set (instantaneous)* R SG31 J yang memiliki *setting time delay* 0,01 detik seharusnya memiliki *setting time delay* 0,1 detik.
2. Fungsi *high-set* dari R GTG P3 seharusnya diaktifkan dengan waktu tunda 0.7 detik
3. Terdapat *overlapping* antar kurva rele, hal ini mengakibatkan koordinasi rele yang kurang tepat.
4. *Grading* waktu antar kurva rele perlu disempurnakan kembali.

Dari temuan hasil koordinasi proteksi *existing* tipikal 2, maka perlu dilakukan *setting* ulang koordinasi proteksi rele arus lebih sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

• **R SG31 J**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
Model	: MIF II
Tipe Kurva	: ANSI <i>Inverse</i>
Rasio CT	: 300/5

FLA Primer (TR#38 + TRAOP3)	: 334,72 A
Isc min 30 cycle pada bus inc TR38 yang melewati R SG31 J	: 10380 A
Isc maks 30 cycle pada sisi sekunder TR#38 yang melewati R SG31 J	: 3620 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 334,72 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 334,72 \text{ A} \\
 351,45 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 468,6 \text{ A} \\
 \frac{351,45}{300} I_n &\leq Tap \leq \frac{468,6}{300} I_n \\
 1,17 I_n &\leq Tap \leq 1,56 I_n
 \end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 2,4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 1,2 In (Iset = 360 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,3 s

Berdasarkan *datasheet* GE Multilin MIF II, penentuan *time dial* dengan tipe kurva ANSI Inverse digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(0,0274 + \frac{2,2614}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,3\right)} + \frac{-4,1899}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,3\right)^2} + \frac{9,1272}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,3\right)^3} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(0,0274 + \frac{2,2614}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,3\right)} + \frac{-4,1899}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,3\right)^2} + \frac{9,1272}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,3\right)^3} \right)}$$

$$TD = \frac{0,1}{\left(0,0274 + \frac{2,2614}{\left(\frac{3620}{360} - 0,3\right)} + \frac{-4,1899}{\left(\frac{3620}{360} - 0,3\right)^2} + \frac{9,1272}{\left(\frac{3620}{360} - 0,3\right)^3} \right)}$$

TD = 1,33

Didapatkan *time dial* minimum = 1,33 (step: 0,01)

Dipilih *time dial* = 1,5

Instantaneous Pickup

Rele R SG31 J merupakan rele yang berfungsi untuk melindungi trafo TR#38. Oleh karena itu dalam penentuan *setting instantaneous pickup*-nya perlu memperhatikan pertimbangan khusus seperti yang telah dijelaskan pada bab 2. Dalam melakukan *setting instantaneous pickup* rele R SG31 J diperlukan data arus hubung singkat:

Isc maks 4 cycle sisi sekunder TR#38 yang melewati R SG31 J = 4070 A (13,8 kV)

Isc min 30 cycle sisi primer TR#38 yang melewati R SG31 J = 10380 A (13,8 kV)

Maka,

Isc maks 4 cycle sisi sekunder TR#38 < 0,8 Isc min 30 cycle sisi primer TR#38, sehingga dalam penentuan *instantaneous pickup* berlaku persamaan:

$$\begin{aligned}
I_{sc} \text{ maks } 4 \text{ cycle} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min} \\
4070 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 10380 \text{ A} \\
4070 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 8304 \text{ A} \\
\frac{4070}{300} I_n &\leq Tap \leq \frac{8304}{300} I_n \\
13,56 I_n &\leq Tap \leq 27,68 I_n
\end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 30 In, step: 0,1)

Dipilih Tap = 24,7 In (Iset = 7410 A)

Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

• **R 52S P3 (IMPORT)**

Manufacturer	: GE Multilin
Model	: 760
Tipe Kurva	: IAC Inverse
Rasio CT	: 800/5
FLA kabel penghantar pabrik 3	: 890,7 A
Isc min 30 cycle pada Bus SG 31 yang melewati R 52S P3 (IMPORT)	: 5300 A
Isc maks 30 cycle pada Bus inc TR38 yang melewati R 52S P3 (IMPORT)	: 5620 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
1,05 \times 890,7 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 \text{ A} \\
935,24 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1246,98 \text{ A} \\
\frac{935,24}{800} I_n &\leq Tap \leq \frac{1246,98}{800} I_n \\
1,17 I_n &\leq Tap \leq 1,56 I_n
\end{aligned}$$

(Range: 0,05 – 20 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 1,2 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan datasheet GE Multilin 760, penentuan time dial dengan tipe kurva IAC Inverse digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{5620}{960} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{5620}{960} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{5620}{960} - 0,8\right)^3}\right)}$$

$$TD = 1,1$$

Didapatkan *time dial* minimum = 1,057 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 1,7

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \\ 1,6 \times 890,7 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 5300 \text{ A} \\ 1425,12 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 4240 \text{ A} \\ \frac{1425,12}{800} In &\leq Tap \leq \frac{4240}{800} In \\ 1,781 In &\leq Tap \leq 5,3 In \end{aligned}$$

(Range: 0,05 – 20 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 5,25 In (Iset = 4200 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,4 s

• **R GTG P3**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G30
<i>Tipe Kurva</i>	: IEC Curve A
<i>Rasio CT</i>	: 1500/5
<i>FLA generator</i>	: 903,2 A
<i>Isc min 30 cycle pada Bus SG 31 yang melewati R GTG P3</i>	: 5600 A
<i>Isc maks 30 cycle pada Bus inc TR38 yang melewati R GTG P3</i>	: 5400 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 903,2 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 903,2 \text{ A} \\ 948,36 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1264,48 \text{ A} \\ \frac{948,36}{1500} In &\leq Tap \leq \frac{1264,48}{1500} In \\ 0,632 In &\leq Tap \leq 0,843 In \end{aligned}$$

(Range: 0 – 30 In, step: 0,001)

Dipilih Tap = 0,686 In (Iset = 1029 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,7 s

Berdasarkan *datasheet* GE Multilin G30, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEC Curve A digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(\frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \right)}$$

$$TD = \frac{0,7}{\left(\frac{0,14}{\left(\frac{5400}{1029}\right)^{0,02} - 1} \right)}$$

$$TD = 0,168$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,16 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 0,19

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min}$$

$$1,6 \times 903,2 A \leq I_{set} \leq 0,8 \times 5600 A$$

$$1445,12 A \leq I_{set} \leq 4480 A$$

$$\frac{1445,12}{1500} In \leq Tap \leq \frac{4480}{1500} In$$

$$0,963 In \leq Tap \leq 2,986 In$$

(*Range*: 0 – 30 In, *step*: 0,001)

Dipilih Tap = 2,95 In (Iset = 4425 A)

Time Delay

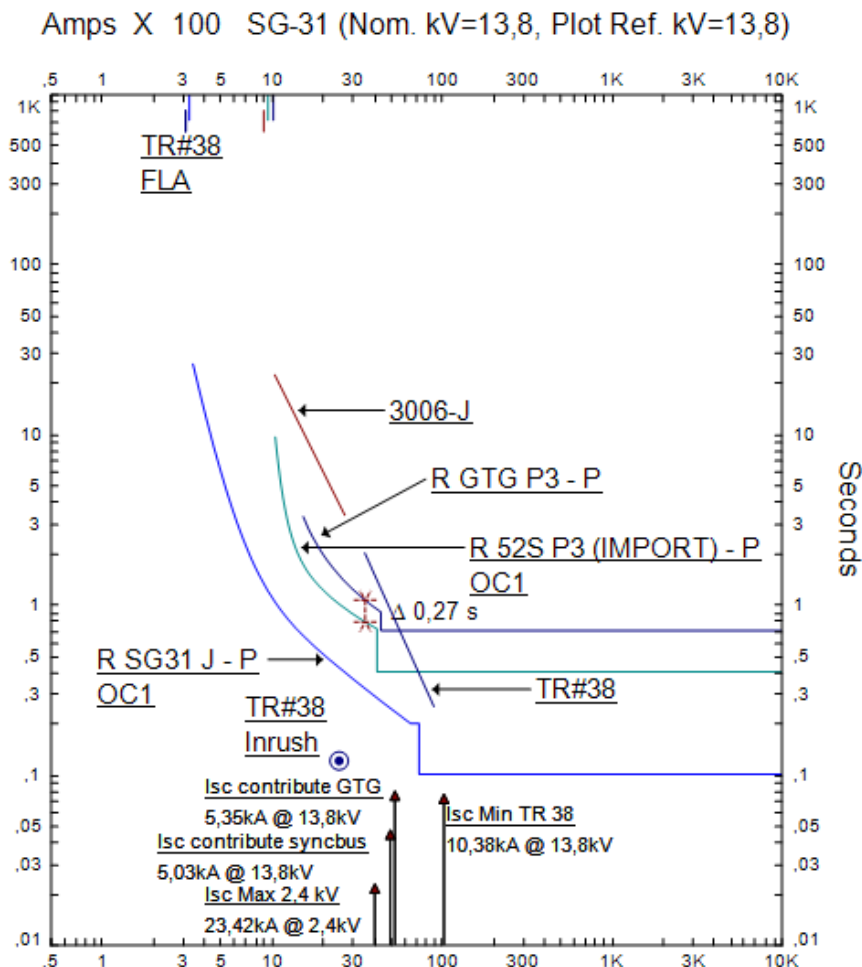
Dipilih *time delay* = 0,7 s

Hasil *setting* rele arus lebih tipikal 2 yang telah dihitung sebelumnya kemudian dirangkum pada **Tabel 4.9**

Tabel 4.9 Tabulasi *Setting* Rele Arus Lebih Kondisi *Resetting* pada Tipikal 2

ID Rele	Model	Rasio CT	Kurva	i>	td	i>>	Tdelay (sec)
R SG31 J	GE Multilin MIF II	300/5	ANSI <i>Inverse</i>	1,2	1,5	24,7	0,1
R 52S P3 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	IAC <i>Inverse</i>	1,2	1,7	5,25	0,4
R GTG P3	GE Multilin G30	1500/5	IEC <i>Curve A</i>	0,686	0,19	2,95	0,7

Setelah melakukan penentuan *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 2, maka dapat dilakukan verifikasi *setting* dengan memasukkan hasil perhitungan *setting* ke dalam *software* ETAP. Verifikasi dilakukan dengan meninjau urutan kejadian *tripping* dan CTI melalui kurva TCC sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.



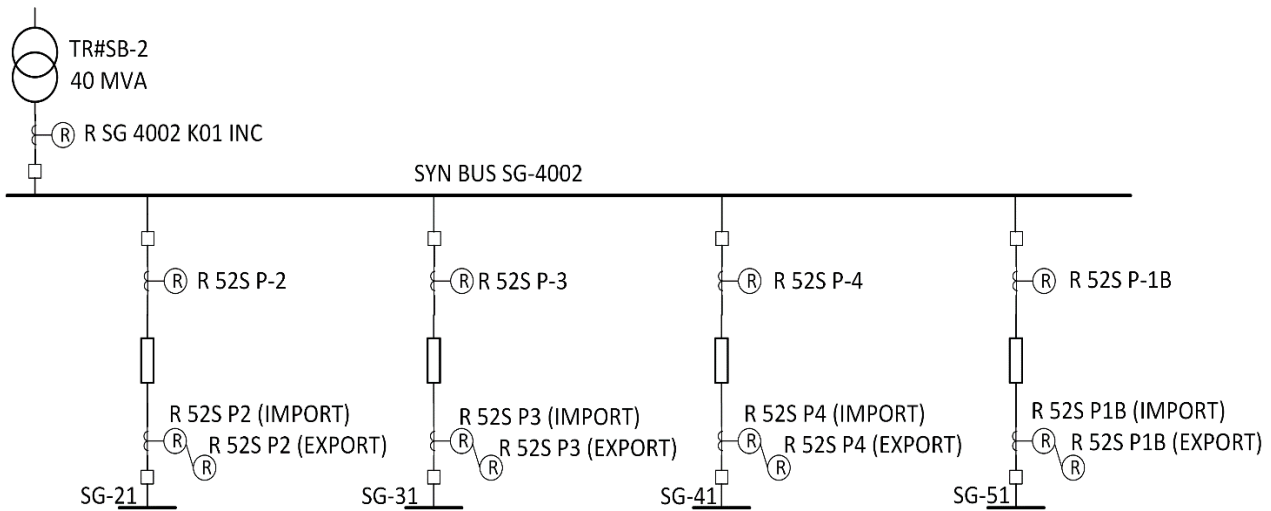
Gambar 4.7 Kurva TCC Hasil *Resetting* Tipikal 2

Berdasarkan **Gambar 4.7** dapat dianalisis bahwa:

1. Rele R SG31 J, R 52S P3, dan R GTG P3 tidak akan memerintahkan *circuit breaker* untuk *trip* ketika trafo TR#38 melakukan *starting* atau *energizing*.
2. Ketika terjadi gangguan hubung singkat di MCC#38 (2,4 kV), maka rele R SG31 J akan bekerja dengan waktu tunda 0,3 detik.
3. Ketika terjadi gangguan di bagian primer trafo TR#38 (inc TR38 13,8 kV), rele R SG31 J akan bekerja sebagai pengaman utama dengan waktu tunda 0,1 detik. Kemudian rele R 52S P3 dan R GTG P3 secara berurutan akan bekerja sebagai *backup* dengan waktu tunda sebesar 0,4 detik dan 0,7 detik.

4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3 merupakan koordinasi rele proteksi arus lebih pada *synchronize bus* yang menghubungkan setiap pabrik. Rele yang termasuk dalam tipikal 3 ini meliputi R 52S P1B (IMPORT), R 52S P2 (IMPORT), R 52S P3 (IMPORT), R 52S P4 (IMPORT), R 52S P1B (EKSPORT), R 52S P2 (EKSPORT), R 52S P3 (EKSPORT), R 52S P4 (EKSPORT), R 52S P-1B, R 52S P-2, R 52S P-3, R 52S P-4, dan R SG 4002 K01 INC. Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk mengkoordinasikan rele 52S setiap pabrik supaya tidak terjadi *sympathetic trip*, yaitu bekerjanya rele di salah satu pabrik ketika terjadi hubung singkat di pabrik lainnya. *Single line diagram* dan *setting* rele arus lebih kondisi *existing* pada tipikal 3 dapat dilihat pada **Gambar 4.8** dan **Tabel 4.10**.

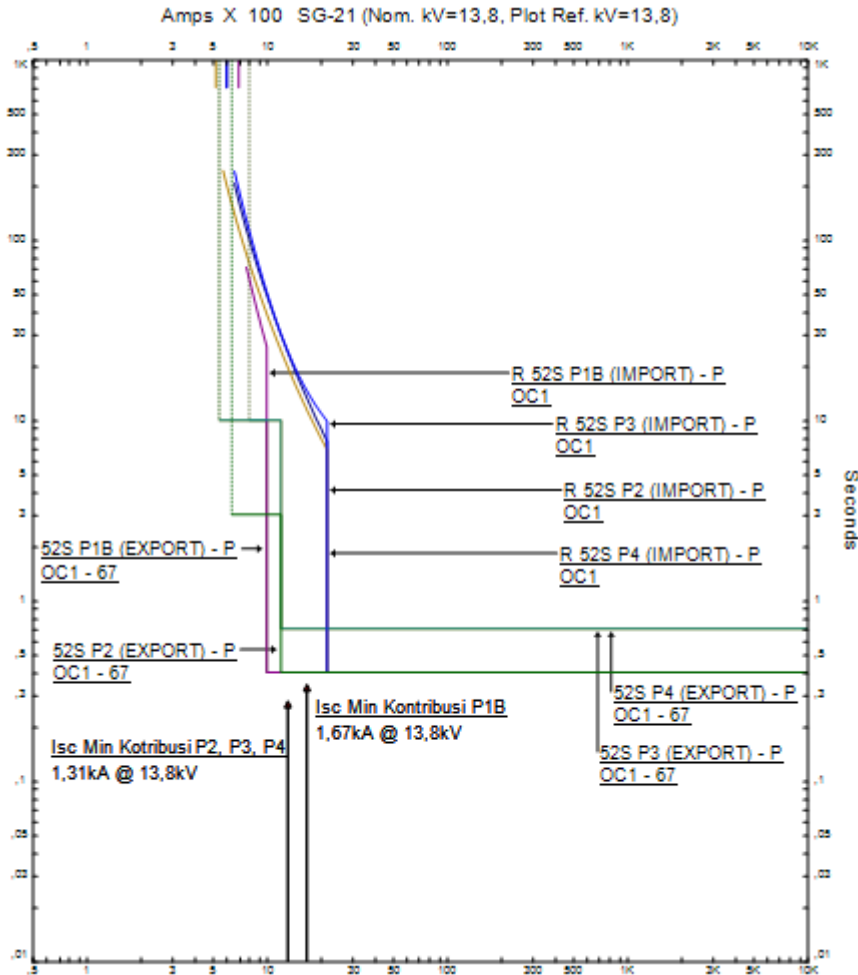


Gambar 4.8 Single Line Diagram Tipikal 3

Tabel 4.10 Tabulasi *Setting* Rele Arus Lebih Kondisi *Existing* pada Tipikal 3

ID Rele	Model	Rasio CT	Kurva	i>	td	i>>	Tdelay
							(sec)
R 52S P1B (IMPORT)	GE Multilin 760	2000/5	ANSI Inverse	0,35	5	0,5	0,4
R 52S P2 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	ANSI Extr Inverse	0,75	17	2,7	0,4
R 52S P3 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	ANSI Inverse	0,75	17	2,7	0,4
R 52S P4 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	ANSI Extr Inverse	0,65	20	2,7	0,4
R 52S P1B (EKSPORT)	GE Multilin 760	2000/5	Definite Time	0,4	100	0,5	0,4
R 52S P2 (EKSPORT)	GE Multilin 760	800/5	Definite Time	0,8	30	1,5	0,4
R 52S P3 (EKSPORT)	GE Multilin 760	800/5	Definite Time	0,68	100	1,5	0,7
R 52S P4 (EKSPORT)	GE Multilin 760	800/5	Definite Time	0,68	100	1,5	0,7
R 52S P-1B	MG Sepam Series 20	1200/5	Std Inverse Time	0,7	0,401	1,84	0,4
R 52S P-2	MG Sepam Series 20	1200/5	Std Inverse Time	0,63	3,99	2	0,4
R 52S P-3	MG Sepam Series 20	1200/5	Std Inverse Time	0,63	3,99	2	0,4
R 52S P-4	MG Sepam Series 20	1200/5	Std Inverse Time	0,63	3,99	2	0,4
R SG 4002 K01 INC	Micom P543	2000/5	IEC Extr Inverse	4,4	0,7	6,5	0,6

Hal yang menjadi fokus perhatian dalam *setting existing* tipikal 3 ini adalah rele 52S (IMPORT) dan 52S (EKSPORT), dimana rele-rele ini bekerja ketika terjadi hubung singkat di pabrik yang lain. Dengan memasukkan parameter *setting existing* pada **Tabel 4.10** di atas ke *software* ETAP, maka didapatkan kurva TCC *existing* rele 52S (IMPORT) dan 52S (EKSPORT) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9** berikut.



Gambar 4.9 Kurva TCC Kondisi *Existing* pada Tipikal 3

Berdasarkan kurva TCC *existing* seperti yang ditunjukkan **Gambar 4.9** dapat diketahui adanya *setting* rele arus lebih yang tidak tepat. Sebelumnya **Tabel 4.4** pada sub-bab 4.2 menunjukkan bahwa setiap pabrik akan memberikan arus kontribusi melalui 52S ketika terjadi hubung singkat di pabrik lainnya. Nilai arus kontribusi tersebut akan terbaca oleh rele 52S (EKSPORT). Sebagai contoh pada **Gambar 4.9** dapat diketahui bahwa arus kontribusi hubung singkat dari P2 (Isc Min Kontribusi P2) ketika terjadi hubung singkat di pabrik lainnya adalah sebesar 1,31 kA. Pada kurva TCC *existing*, nilai arus kontribusi hubung singkat tersebut akan memotong kurva R 52S P2 (EKSPORT), hal ini akan mengakibatkan R 52S P2 (EKSPORT) bekerja sehingga memutus suplai daya dari *synchronize bus* menuju pabrik P2. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan *setting* koordinasi proteksi pada tipikal 3 dengan cara:

1. Menon-aktifkan fungsi *setting* rele R 52S (EKSPORT) semua pabrik.
2. Melakukan *setting* ulang parameter-parameter rele yang lain sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

• **R 52S P1B (IMPORT)**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
Model	: 760
Tipe Kurva	: IAC <i>Inverse</i>
Rasio CT	: 2000/5
FLA kabel penghantar pabrik 1B	: 890,7 A
Isc min 30 cycle pada Bus SG-51 yang melewati R 52S P1B (IMPORT)	: 6430 A
Isc maks 30 cycle pada Bus Beban P1B yang melewati R 52S P1B (IMPORT)	: 7140 A

Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 890,7 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 A$$

$$935,24 A \leq I_{set} \leq 1246,98 A$$

$$\frac{935,24}{1200} In \leq Tap \leq \frac{1246,98}{1200} In$$

$$1,17 In \leq Tap \leq 1,56 In$$

(Range: 0,05 – 20 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,48 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* GE Multilin 760, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IAC *Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{7140}{960} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{7140}{960} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{7140}{960} - 0,8\right)^3} \right)}$$

TD = 1,21

Didapatkan *time dial* minimum = 1,21 (step: 0,01)

Dipilih *time dial* = 1,7

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \min$$

$$1,6 \times 890,7 A \leq I_{set} \leq 0,8 \times 6430 A$$

$$1425,12 A \leq I_{set} \leq 5144 A$$

$$\frac{1425,12}{1200} In \leq Tap \leq \frac{5144}{1200} In$$

$$1,71 In \leq Tap \leq 2,57 In$$

(Range: 0,05 – 20 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 2,3 In (Iset = 4600 A)

Time Delay

Dipilih time delay = 0,4 s

• **R 52 P2 (IMPORT)**

Manufacturer	: GE Multilin
Model	: 760
Tipe Kurva	: IAC Inverse
Rasio CT	: 800/5
FLA kabel penghantar pabrik 2	: 890,7 A
Isc min 30 cycle pada Bus SG-21 yang melewati R 52S P2 (IMPORT)	: 5300 A
Isc maks 30 cycle pada Bus inc TR23 yang melewati R 52S P2 (IMPORT)	: 5850 A

Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 890,7 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 A$$

$$935,24 A \leq I_{set} \leq 1246,98 A$$

$$\frac{935,24}{800} In \leq Tap \leq \frac{1246,98}{800} In$$

$$1,17 In \leq Tap \leq 1,56 In$$

(Range: 0,05 – 20 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 1,2 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan datasheet GE Multilin 760, penentuan time dial dengan tipe kurva IAC Inverse digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{5850}{960} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{5850}{960} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{5850}{960} - 0,8\right)^3} \right)}$$

$$TD = 1,12$$

Didapatkan *time dial* minimum = 1,12 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 1,7

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \\1,6 \times 890,7 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 5300 \text{ A} \\1425,12 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 4240 \text{ A} \\ \frac{1425,12}{800} In &\leq Tap \leq \frac{4240}{800} In \\1,781 In &\leq Tap \leq 5,3 In\end{aligned}$$

(*Range*: 0,05 – 20 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 5,25 In (Iset = 4200 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,4 s

• **R 52S P3 (IMPORT)**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
Model	: 760
Tipe Kurva	: IAC Inverse
Rasio CT	: 800/5
FLA kabel penghantar pabrik 3	: 890,7 A
Isc min 30 cycle pada Bus SG 31 yang melewati R 52S P3 (IMPORT)	: 5300 A
Isc maks 30 cycle pada Bus inc TR38 yang melewati R 52S P3 (IMPORT)	: 5620 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\1,05 \times 890,7 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 \text{ A} \\935,24 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1246,98 \text{ A} \\ \frac{935,24}{800} In &\leq Tap \leq \frac{1246,98}{800} In \\1,17 In &\leq Tap \leq 1,56 In\end{aligned}$$

(*Range*: 0,05 – 20 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 1,2 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* GE Multilin 760, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IAC Inverse digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3}\right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{5620}{960} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{5620}{960} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{5620}{960} - 0,8\right)^3}\right)}$$

$$TD = 1,1$$

Didapatkan *time dial* minimum = 1,057 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 1,7

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min}$$

$$1,6 \times 890,7 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 5300 \text{ A}$$

$$1425,12 \text{ A} \leq I_{set} \leq 4240 \text{ A}$$

$$\frac{1425,12}{800} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{4240}{800} \text{ In}$$

$$1,781 \text{ In} \leq Tap \leq 5,3 \text{ In}$$

(*Range*: 0,05 – 20 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 5,25 In (Iset = 4200 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,4 s

• **R 52S P4 (IMPORT)**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
Model	: 760
Tipe Kurva	: IAC <i>Inverse</i>
Rasio CT	: 800/5
FLA kabel penghantar pabrik 4	: 890,7 A
Isc min 30 <i>cycle</i> pada Bus SG-41 yang melewati R 52S P4 (IMPORT)	: 5300 A
Isc maks 30 <i>cycle</i> pada Bus DS-4101* yang melewati R 52S P4 (IMPORT)	: 5170 A

Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 890,7 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 \text{ A}$$

$$935,24 \text{ A} \leq I_{set} \leq 1246,98 \text{ A}$$

$$\frac{935,24}{800} \text{ In} \leq Tap \leq \frac{1246,98}{800} \text{ In}$$

$$1,17 \text{ In} \leq Tap \leq 1,56 \text{ In}$$

(*Range*: 0,05 – 20 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 1,2 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* GE Multilin 760, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IAC *Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} - 0,8\right)^3} \right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{5170}{960} - 0,8\right)} + \frac{-0,418}{\left(\frac{5170}{960} - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\frac{5170}{960} - 0,8\right)^3} \right)}$$

$$TD = 1,057$$

Didapatkan *time dial* minimum = 1,057 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 1,7

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min} \\ 1,6 \times 890,7 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 5300 \text{ A} \\ 1425,12 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 4240 \text{ A} \\ \frac{1425,12}{800} \text{ In} &\leq Tap \leq \frac{4240}{800} \text{ In} \\ 1,781 \text{ In} &\leq Tap \leq 5,3 \text{ In} \end{aligned}$$

(*Range*: 0,05 – 20 In, *step*: 0,01)

Dipilih Tap = 5,25 In (Iset = 4200 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,4 s

• **R 52S P-1B**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
Model	: Sepam Series 20
Tipe Kurva	: IEEE <i>Very Inverse</i>
Rasio CT	: 1200/5
FLA kabel penghantar pabrik 1B	: 890,7 A
Isc min 4 cycle pada terminal reaktor P1B yang melewati R 52S P-1B	: 16630 A
Isc min 4 cycle pada <i>sync bus</i> SG-4002 yang melewati R 52S P-1B	: 5630 A
Isc maks 30 cycle pada <i>Bus</i> Beban P1B yang melewati R 52S P-1B	: 7140 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\1,05 \times 890,7 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 \text{ A} \\935,24 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1246,98 \text{ A} \\ \frac{935,24}{1200} \text{ In} &\leq Tap \leq \frac{1246,98}{1200} \text{ In} \\0,78 \text{ In} &\leq Tap \leq 1,04 \text{ In}\end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 2,4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,8 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* Merlin Gerin Sepam Series 20, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEEE *Very Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = \frac{TD}{0,138} \times \left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = \frac{0,4 \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{7140}{960}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = 0,32$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,32 (step: 0,01)

Dipilih *time dial* = 0,33

Instantaneous Pickup

Rele R 52S P-1B merupakan rele *outgoing sync bus* SG-4002 ke pabrik 1B yang diharapkan dapat bekerja dalam waktu 0,1 detik ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor P1B yang terhubung dengan *sync bus* SG-4002 dengan nilai arus hubung singkat yang sangat besar. Namun rele R 52S P-1B diharapkan tidak bekerja ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor pabrik lainnya sehingga dalam penentuan *setting instantaneous pickup* rele R 52S P-1B perlu mempertimbangkan nilai arus kontribusi hubung singkat yang melewati rele R 52S P-1B ketika hubung singkat di *sync bus* SG-4002 dan terminal reaktor P1B yang terhubung *sync bus* dengan ketentuan sebagai berikut:

I_{sc} min kontribusi ke *sync bus* $\leq I_{set} \leq I_{sc}$ min kontribusi ke reaktor

$$\begin{aligned}5630 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 16630 \text{ A} \\ \frac{5630}{1200} \text{ In} &\leq Tap \leq \frac{16630}{1200} \text{ In} \\4,7 \text{ In} &\leq Tap \leq 13,86 \text{ In}\end{aligned}$$

(Range: 0,1– 24 In, step: 0,1)

Dipilih Tap = 5,6 In (Iset = 6720 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• R 52S P-2

Manufacturer	: Merlin Gerin
Model	: Sepam Series 20
Tipe Kurva	: IEEE Very Inverse
Rasio CT	: 1200/5
FLA kabel penghantar pabrik 2	: 890,7 A
Isc min 4 cycle pada terminal reaktor P2 yang melewati R 52S P-2	: 18150 A
Isc min 4 cycle pada sync bus SG-4002 yang melewati R 52S P-2	: 4100 A
Isc maks 30 cycle pada Bus inc TR23 yang melewati R 52S P-2	: 5850 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\1,05 \times 890,7 A &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 A \\935,24 A &\leq I_{set} \leq 1246,98 A \\ \frac{935,24}{1200} I_n &\leq Tap \leq \frac{1246,98}{1200} I_n \\0,78 I_n &\leq Tap \leq 1,04 I_n\end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 2,4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,8 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* Merlin Gerin Sepam Series 20, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEEE Very Inverse digunakan rumus:

$$t_{op} = \frac{TD}{0,138} \times \left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = \frac{0,4 \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{5850}{960}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = 0,27$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,27 (step: 0,01)

Dipilih *time dial* = 0,33

Instantaneous Pickup

Rele R 52S P-2 merupakan rele *outgoing sync bus* SG-4002 ke pabrik 2 yang diharapkan dapat bekerja dalam waktu 0,1 detik ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor P2 yang terhubung dengan *sync bus* SG-4002 dengan nilai arus hubung singkat yang sangat besar. Namun rele R 52S P-2 diharapkan tidak bekerja ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor pabrik lainnya sehingga dalam penentuan *setting instantaneous pickup* rele R 52S P-2 perlu mempertimbangkan nilai arus kontribusi hubung singkat yang melewati rele R 52S P-2 ketika hubung singkat di *sync bus* SG-4002 dan terminal reaktor P2 yang terhubung *sync bus* dengan ketentuan sebagai berikut:

I_{sc} min kontribusi ke *sync bus* $\leq I_{set} \leq I_{sc}$ min kontribusi ke reaktor

$$\begin{aligned} 4100 A &\leq I_{set} \leq 18150 A \\ \frac{4100}{1200} In &\leq Tap \leq \frac{18150}{1200} In \\ 3,42 In &\leq Tap \leq 15,13 In \end{aligned}$$

(Range: 0,1– 24 In, step: 0,1)

Dipilih Tap = 5 In (Iset = 6000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• R 52S P-3

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
Model	: Sepam Series 20
Tipe Kurva	: IEEE <i>Very Inverse</i>
Rasio CT	: 1200/5
FLA kabel penghantar pabrik 1B	: 890,7 A
Isc min 4 cycle pada terminal reaktor P3 yang melewati R 52S P-3	: 17860 A
Isc min 4 cycle pada <i>sync bus</i> SG-4002 yang melewati R 52S P-3	: 4400 A
Isc maks 30 cycle pada <i>Bus</i> inc TR38 yang melewati R 52S P-3	: 5620 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 890,7 A &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 A \\ 935,24 A &\leq I_{set} \leq 1246,98 A \\ \frac{935,24}{1200} In &\leq Tap \leq \frac{1246,98}{1200} In \\ 0,78 In &\leq Tap \leq 1,04 In \end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 2,4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,8 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* Merlin Gerin Sepam Series 20, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEEE *Very Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = \frac{TD}{0,138} \times \left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = \frac{0,4 \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{5620}{960}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = 0,25$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,25 (*step*: 0,01)

Dipilih *time dial* = 0,33

Instantaneous Pickup

Rele R 52S P-3 merupakan rele *outgoing sync bus* SG-4002 ke pabrik 3 yang diharapkan dapat bekerja dalam waktu 0,1 detik ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor P3 yang terhubung dengan *sync bus* SG-4002 dengan nilai arus hubung singkat yang sangat besar. Namun rele R 52S P-3 diharapkan tidak bekerja ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor pabrik lainnya sehingga dalam penentuan *setting instantaneous pickup* rele R 52S P-3 perlu mempertimbangkan nilai arus kontribusi hubung singkat yang melewati rele R 52S P-3 ketika hubung singkat di *sync bus* SG-4002 dan terminal reaktor P3 yang terhubung *sync bus* dengan ketentuan sebagai berikut:

I_{sc} min kontribusi ke *sync bus* $\leq I_{set} \leq I_{sc}$ min kontribusi ke reaktor

$$4400 A \leq I_{set} \leq 17860 A$$

$$\frac{4400}{1200} In \leq Tap \leq \frac{17860}{1200} In$$

$$3,67 In \leq Tap \leq 14,88 In$$

(*Range*: 0,1– 24 In, *step*: 0,1)

Dipilih Tap = 5 In (Iset = 6000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• **R 52S P-4**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
Model	: Sepam Series 20
Tipe Kurva	: IEEE Very Inverse
Rasio CT	: 1200/5
FLA kabel penghantar pabrik 4	: 890,7 A
Isc min 4 cycle pada terminal reaktor P4 yang melewati R 52S P-4	: 17860 A
Isc min 4 cycle pada <i>sync bus</i> SG-4002 yang melewati R 52S P-4	: 4400 A

Isc maks 30 cycle pada Bus DS-4101* : 5170 A
 yang melewati R 52S P-1B

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 890,7 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 890,7 \text{ A} \\
 935,24 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1246,98 \text{ A} \\
 \frac{935,24}{1200} In &\leq Tap \leq \frac{1246,98}{1200} In \\
 0,78 In &\leq Tap \leq 1,04 In
 \end{aligned}$$

(Range: 0,1 – 2,4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,8 In (Iset = 960 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* Merlin Gerin Sepam Series 20, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEEE *Very Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = \frac{TD}{0,138} \times \left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op} \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = \frac{0,4 \times 0,138}{\left(\frac{3,922}{\left(\frac{5170}{960}\right)^2 - 1} + 0,098 \right)}$$

$$TD = 0,23$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,23 (step: 0,01)

Dipilih *time dial* = 0,33

Instantaneous Pickup

Rele R 52S P-4 merupakan rele *outgoing sync bus* SG-4002 ke pabrik 4 yang diharapkan dapat bekerja dalam waktu 0,1 detik ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor P4 yang terhubung dengan *sync bus* SG-4002 dengan nilai arus hubung singkat yang sangat besar. Namun rele R 52S P-1B diharapkan tidak bekerja ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor pabrik lainnya sehingga dalam penentuan *setting instantaneous pickup* rele R 52S P-4 perlu mempertimbangkan nilai arus kontribusi hubung singkat yang melewati rele R 52S P-4 ketika hubung singkat di *sync bus* SG-4002 dan terminal reaktor P4 yang terhubung *sync bus* dengan ketentuan sebagai berikut:

I_{sc} min kontribusi ke *sync bus* $\leq I_{set} \leq I_{sc}$ min kontribusi ke reaktor

$$\begin{aligned}
 4400 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 17860 \text{ A} \\
 \frac{4400}{1200} In &\leq Tap \leq \frac{17860}{1200} In
 \end{aligned}$$

$$3,67 In \leq Tap \leq 14,88 In$$

(Range: 0,1– 24 In, step: 0,1)

Dipilih Tap = 4,6 In (Iset = 5520 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• **R SG 4002 K01 INC**

<i>Manufacturer</i>	: Schneider Electric MiCOM
Model	: P453
Tipe Kurva	: IEEE <i>Very Inverse</i>
Rasio CT	: 2000/5
FLA Sekunder trafo TR#SB-2	: 1673 A
Isc min 30 cycle pada <i>Sync Bus</i> SG-4002 yang melewati R SG 4002 K01 INC	: 2560 A
Isc maks 30 cycle pada <i>Sync Bus New</i> yang melewati R SG 4002 K01 INC	: 6600 A

Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 1673 A \leq I_{set} \leq 1,4 \times 1673 A$$

$$1756,65 A \leq I_{set} \leq 2342,2 A$$

$$\frac{1756,65}{2000} In \leq Tap \leq \frac{2342,2}{2000} In$$

$$0,87 In \leq Tap \leq 1,17 In$$

(Range: 0,08 – 4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,9 In (Iset = 1800 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* Schneider Electric MiCOM P543, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEEE *Very Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{19,61}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,491 \right)$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(\frac{19,61}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,491 \right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(\frac{19,61}{\left(\frac{6600}{1800}\right)^2 - 1} + 0,491 \right)}$$

$$TD = 0,19$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,19 (step: 0,1)

Dipilih *time dial* = 0,2

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \\1,6 \times 1673 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 2560 \text{ A} \\2676,8 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 2048 \text{ A} \\ \frac{2676,8}{2000} I_n &\leq Tap \leq \frac{2048}{2000} I_n \\1,34 I_n &\leq Tap \leq 1,024 I_n\end{aligned}$$

Dapat dilihat bahwa *range instantaneous pickup* rele R SG 4002 K01 INC tidak memenuhi syarat $1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min}$, sehingga dalam kasus khusus seperti ini, maka pemilihan *instantaneous pickup* rele R SG 4002 K01 INC dapat dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}I_{set} &< I_{sc \min} \\I_{set} &< 2560 \text{ A} \\Tap &< \frac{2560}{2000} I_n \\Tap &< 1,28 I_n\end{aligned}$$

(Range: 0,08 – 4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 1,25 In (Iset = 2500 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,4 s

• **R SG 4002 K01 INC – B**

Rele ini merupakan rele tambahan di sisi sekunder trafo TR#SB-2 yang bertujuan untuk memproteksi trafo TR#SB-2 ketika terjadi gangguan hubung singkat di terminal sekunder trafo TR#SB-2 supaya bekerja pada 0,1 detik dengan nilai arus hubung singkat yang lebih besar dari pada arus hubung singkat di *sync bus* SG-4002. Parameter rele R SG 4002 K01 INC – B adalah sebagai berikut:

<i>Manufacturer</i>	: Schneider Electric MiCOM
Model	: P453
Tipe Kurva	: IEEE <i>Very Inverse</i>
Rasio CT	: 2000/5
FLA Sekunder trafo TR#SB-2	: 1673 A
Isc min 30 cycle sisi sekunder TR#SB-2 yang melewati R SG 4002 K01 INC	: 14420 A
Isc maks 30 cycle pada <i>Sync Bus New</i> yang melewati R SG 4002 K01 INC	: 6600 A

Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\1,05 \times 1673 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 1673 \text{ A} \\1756,65 \text{ A} &\leq I_{set} \leq 2342,2 \text{ A} \\ \frac{1756,65}{2000} I_n &\leq Tap \leq \frac{2342,2}{2000} I_n \\0,87 I_n &\leq Tap \leq 1,17 I_n\end{aligned}$$

(Range: 0,08 – 4 In, step: 0,01)

Dipilih Tap = 0,9 In (Iset = 1800 A)

Time Dial Setting

Waktu operasi (t) = 0,4 s

Berdasarkan *datasheet* Schneider Electric MiCOM P543, penentuan *time dial* dengan tipe kurva IEEE *Very Inverse* digunakan rumus:

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{19,61}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,491 \right)$$

$$TD = \frac{t_{op}}{\left(\frac{19,61}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^2 - 1} + 0,491 \right)}$$

$$TD = \frac{0,4}{\left(\frac{19,61}{\left(\frac{6600}{1800}\right)^2 - 1} + 0,491 \right)}$$

$$TD = 0,19$$

Didapatkan *time dial* minimum = 0,19 (*step: 0,1*)

Dipilih *time dial* = 0,4

Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 1673 \text{ A} \leq I_{set} \leq 0,8 \times 14420 \text{ A}$$

$$2676,8 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11536 \text{ A}$$

$$\frac{2676,8}{2000} I_n \leq Tap \leq \frac{11536}{2000} I_n$$

$$1,34 I_n \leq Tap \leq 5,77 I_n$$

(*Range: 0,08 – 4 I_n, step: 0,01*)

Dipilih Tap = 5 I_n (I_{set} = 10000 A)

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

Hasil *setting* rele arus lebih tipikal 3 yang telah dihitung di atas kemudian dirangkum pada **Tabel 4.11** berikut.

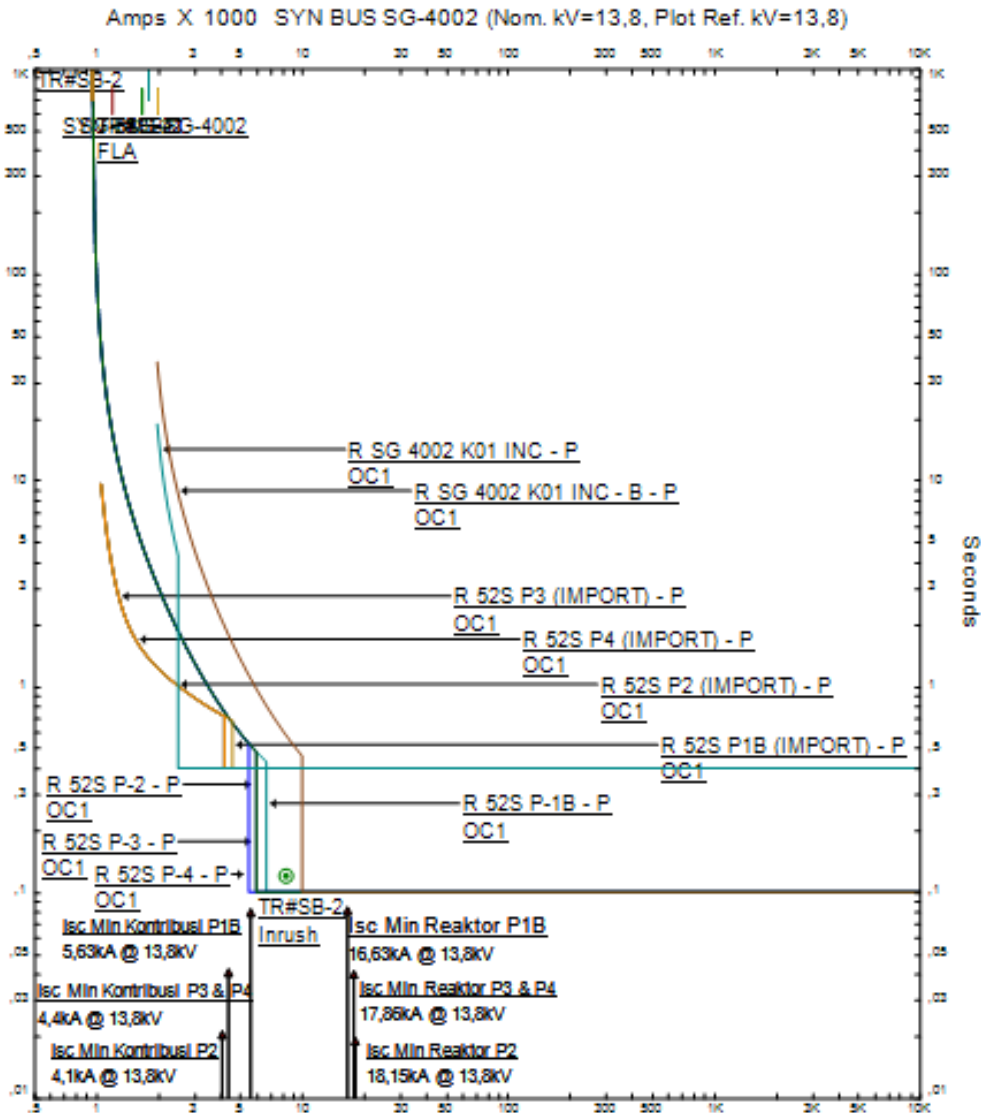
Tabel 4.11 Tabulasi *Setting* Rele Arus Lebih Kondisi *Resetting* pada Tipikal 3

ID Rele	Model	Rasio CT	Kurva	i>	td	i>>	Tdelay
							(sec)
R 52S P1B (IMPORT)	GE Multilin 760	2000/5	IAC <i>Inverse</i>	0,48	1,7	2,3	0,4
R 52S P2 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	IAC <i>Inverse</i>	1,2	1,7	5,25	0,4
R 52S P3 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	IAC <i>Inverse</i>	1,2	1,7	5,25	0,4
R 52S P4 (IMPORT)	GE Multilin 760	800/5	IAC <i>Inverse</i>	1,2	1,7	5,25	0,4

Tabel 4.11 Tabulasi *Setting* Rele Arus Lebih Kondisi *Resetting* pada Tipikal 3 (Lanjutan)

ID Rele	Model	Rasio CT	Kurva	i>	td	i>>	Tdelay
							(sec)
R 52S P1B (EKSPORT)	GE Multilin 760	2000/5	<i>Disabled</i>	Off	Off	Off	Off
R 52S P2 (EKSPORT)	GE Multilin 760	800/5	<i>Disabled</i>	Off	Off	Off	Off
R 52S P3 (EKSPORT)	GE Multilin 760	800/5	<i>Disabled</i>	Off	Off	Off	Off
R 52S P4 (EKSPORT)	GE Multilin 760	800/5	<i>Disabled</i>	Off	Off	Off	Off
R 52S P-1B	MG Sepam Series 20	1200/5	<i>IEEE Very Inverse</i>	0,8	0,33	5,6	0,1
R 52S P-2	MG Sepam Series 20	1200/5	<i>IEEE Very Inverse</i>	0,8	0,33	5	0,1
R 52S P-3	MG Sepam Series 20	1200/5	<i>IEEE Very Inverse</i>	0,8	0,33	5	0,1
R 52S P-4	MG Sepam Series 20	1200/5	<i>IEEE Very Inverse</i>	0,8	0,33	4,6	0,1
R SG 4002 K01 INC	Micom P543	2000/5	<i>IEEE Very Inverse</i>	0,9	0,2	1,25	0,4
R SG 4002 K01 INC - B	Micom P543	2000/5	<i>IEEE Very Inverse</i>	0,9	0,4	5	0,1

Setelah melakukan penentuan *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 3, maka dapat dilakukan verifikasi *setting* dengan memasukkan hasil perhitungan *setting* ke dalam *software* ETAP. Verifikasi dilakukan dengan meninjau urutan kejadian *tripping* dan CTI melalui kurva TCC sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.10**.

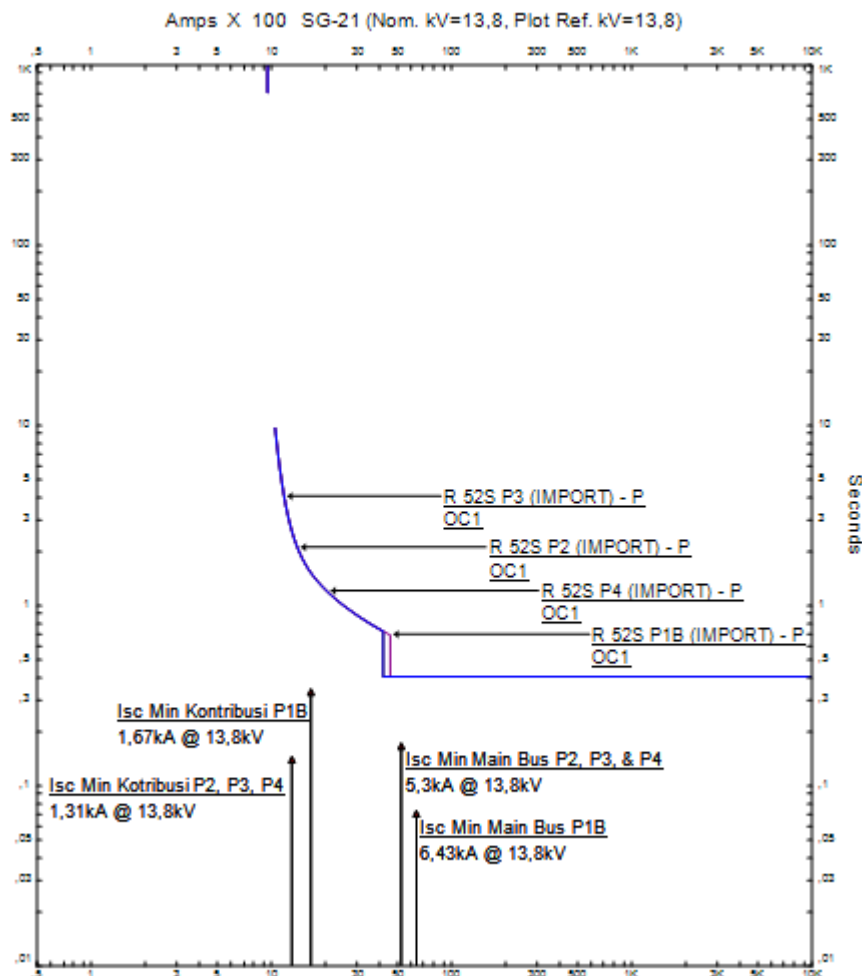


Gambar 4.10 Kurva TCC Hasil *Resetting* Tipikal 3

Berdasarkan **Gambar 4.10** dapat dianalisis bahwa:

1. Ketika terjadi gangguan hubung singkat di masing-masing terminal reaktor semua pabrik yang terhubung dengan *sync bus* SG-4002, maka rele *outgoing* SG-4002 (R 52S P-1B, R 52S P-2, R 52S P-3, dan/ R 52S P-4) akan menjadi pengaman utama dengan waktu tunda 0,1 detik. Sebagai contoh R 52S P-1B akan bekerja pada 0,1 detik ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor P1B yang terhubung dengan *sync bus* SG-4002.
2. Rele *outgoing* SG-4002 (R 52S P-1B, R 52S P-2, R 52S P-3, dan/ R 52S P-4) pada salah satu pabrik tidak akan bekerja ketika terjadi gangguan hubung singkat di terminal reaktor pabrik lainnya. Sebagai contoh R 52S P-2, R 52S P-3, dan R 52S P-4 tidak akan bekerja ketika terjadi hubung singkat di terminal reaktor P1B yang terhubung dengan *sync bus* SG-4002.
3. Rele R SG 4002 K01 INC akan bekerja untuk mengamankan trafo TR#SB-2 dengan waktu tunda 0,4 detik ketika terjadi hubung singkat di *sync bus new* ataupun di *sync bus* SG-4002. Sedangkan rele R SG 4002 K01 INC – B akan bekerja untuk mengamankan trafo TR#SB-2 dengan waktu tunda 0,1 detik ketika terjadi hubung singkat di terminal sekunder trafo TR#SB-2.

Pada tipikal 3 juga dapat dilakukan analisa terhadap rele *incoming* 52S setiap pabrik melalui kurva TCC hasil *resetting* rele R 52S P1B (IMPORT), R 52S P2 (IMPORT), R 52S P3 (IMPORT), dan R 52S P4 (IMPORT) sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.11** berikut.



Gambar 4.11 Kurva TCC Rele *Incoming* 52S Hasil *Resetting* pada Tipikal 3

Berdasarkan **Gambar 4.11** dapat dianalisis bahwa:

1. Rele *incoming* 52S, yaitu R 52S (IMPORT) setiap pabrik akan menjadi pengaman *backup* dengan waktu tunda 0.4 detik jika terjadi gangguan hubung singkat di dalam pabrik atau *main bus* 52S pabrik manapun. Sebagai contoh rele R 52S P4 (IMPORT) akan bekerja pada 0,4 detik ketika terjadi hubung singkat di pabrik 4 atau di *bus* SG-41 (*main bus* pabrik 4).
2. Rele *incoming* 52S pada salah satu pabrik tidak akan bekerja ketika terjadi gangguan hubung singkat di pabrik lainnya. Sebagai contoh R 52S P1B (IMPORT), R 52S P2 (IMPORT), dan R 52S P3 (IMPORT) tidak akan bekerja ketika terjadi hubung singkat di pabrik 4 atau di *bus* SG-41 (*main bus* pabrik 4).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil *setting* evaluasi koordinasi proteksi arus lebih akibat gangguan yang menyebabkan *black out* pada pabrik pupuk PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada koordinasi proteksi tipikal 1, rele R MCC#48 akan bekerja sebagai pengaman utama ketika terjadi gangguan hubung singkat di *bus* MCC#48 (2,4 kV) pada waktu 0,3 detik. Kemudian rele R 41C bekerja pada waktu 0,5 detik sebagai *backup* dari rele R MCC#48 sehingga gangguan pada sisi beban dapat terisolasi. Namun ketika terjadi hubung singkat di sisi primer trafo TR#48 (13,8 kV), yaitu pada *bus* DS-4101, maka rele R 41C akan bekerja pada waktu 0,1 detik. Kemudian rele R 52S P4 (IMPORT) dan R GTG P4 secara berurutan akan bekerja pada waktu 0,4 detik dan 0,7 detik.
2. Pada koordinasi proteksi tipikal 2, rele R SG31 J akan bekerja untuk mengamankan trafo TR#38 pada waktu 0,3 detik ketika terjadi gangguan hubung singkat di *bus* MCC#38 (2,4 kV). Namun ketika terjadi gangguan pada sisi primer trafo TR#38 (13,8 kV), maka rele R SG31 J akan bekerja pada waktu 0,1 detik sebagai rele pengaman utama trafo TR#38. Kemudian rele R 52S P3 dan R GTG P3 secara berurutan akan bekerja sebagai *backup* dengan waktu tunda sebesar 0,4 detik dan 0,7 detik sehingga titik akan terisolasi dari sumber generator.
3. Pada koordinasi proteksi tipikal 3, rele-rele *outgoing sync bus* SG-4002 (R 52S P-1B, R 52S P-2, R 52S P-3, dan/ R 52S P-4) akan menjadi pengaman utama dengan waktu tunda 0,1 detik jika terjadi gangguan hubung singkat di terminal reaktor maupun di *main bus* 52S pabrik. Sedangkan rele *incoming* 52S, yaitu R 52S IMPORT setiap pabrik akan menjadi pengaman *backup* dengan waktu tunda 0,4 detik jika terjadi gangguan hubung singkat di dalam pabrik atau *main bus* 52S pabrik, sehingga gangguan pada salah satu pabrik dapat terisolasi dari pabrik lainnya dan tidak menyebabkan terjadinya *black out*.

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan serta analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pada *setting* koordinasi proteksi tipikal 3 direkomendasikan untuk menon-aktifkan fungsi *setting* rele R 52S EKSPORT semua pabrik dikarenakan rele-rele tersebut akan bekerja ketika terjadi hubung singkat di salah satu pabrik akibat arus kontribusi hubung singkat dari pabrik lainnya.
2. Perlu dilakukan evaluasi dan *setting* rele arus lebih gangguan tanah untuk memastikan skema koordinasi proteksi sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat bekerja dengan baik ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- 750/760 FEEDER MANAGEMENT RELAY® Instruction Manual*. (2002). GE Power Management .
- Asyad, A. A., Pujiantara, M., & Asfani, D. A. (2020). Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi Akibat Hubung Singkat pada Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan. *JURNAL TEKNIK ITS*, 9(2).
- Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2006). *Protective Relaying Principles and Applications* (3rd ed.). CRC Press.
- G30 Generator Protection System Instruction Manual*. (2017). GE Multilin.
- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2012). *Power System Analysis and Design* (5th ed.). Cengage Learning.
- Gonen, T. (2013). *Modern Power System Analysis* (2nd ed.). CRC Press.
- Metz-Noblat, B. de, Dumas, F., & Thomasset, G. (2000). Calculation of Short-Circuit Currents. In *Cahier Technique Schneider Electric* (pp. 1–32). Schneider Electric.
- MiCOM P54x P543, P544, P545 & P546 Current Differential Protection Relay Technical Manual*. (2013). Schneider Electric.
- MIFII Digital Feeder Protection with Recloser Instruction manual*. (2007). GE Multilin.
- P.M. Anderson. (1999). *Power System Protection*. IEEE Press.
- Protection and Control Sepam 1000*. (1998). Schneider Electric.
- Putra, N. A. B. (2019). *Evaluasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan Mempertimbangkan Integrasi PLN*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sari, T. P. (2017). *Studi Koordinasi Proteksi pada PT. Pupuk Sriwidjaja dengan Mempertimbangkan Ekspor-Impor Daya*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sepam™ Series 20 Protective Relays User's Manual*. (2007). Schneider Electric.
- SIPROTEC Multi-Functional Protective Relay with Local Control 7SJ62/63/64*. (2015). Siemens.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Ilul Rohman, lahir di Tuban pada tanggal 18 Januari 1999. Penulis merupakan lulusan dari SDN Sawir, SMP Bina Anak Sholeh Tuban, dan SMAN 2 Tuban. Pada tahun 2018, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Elektro FTEIC - ITS dan terdaftar dengan NRP 07111840000067. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan dan organisasi dalam kampus. Penulis pernah aktif menjadi Wakil Ketua Lembaga Kajian Kerohanian Islam Departemen Teknik Elektro ITS dan Kadiv Pembinaan Ramadhan di Kampus ITS 1441 H. penulis juga menjadi asisten di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) selama 2 tahun terakhir. Selama menjadi asisten laboratorium, penulis pernah berkesempatan menjadi *trainer* maupun *co-trainer* pelatihan *software* ETAP bagi mahasiswa maupun industri, diantaranya pelatihan *software* ETAP di PT. Teluk Lamong dan PT. PJB. Selain itu, penulis juga pernah terlibat dalam salah satu proyek, yaitu Proyek Studi *Setting Relay* Pembangkit PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan. Penulis dapat dihubungi melalui rohmanilul18@gmail.com.