



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**PROTEKSI ADAPTIF UNTUK KOORDINASI OPTIMAL  
DIGITAL RELE ARUS LEBIH MENGGUNAKAN *FIREFLY*  
*ALGORITHM* PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL  
DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR**

**Yoga Dewangga  
NRP 2211 100 061**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng  
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***ADAPTIVE PROTECTION FOR OPTIMAL COORDINATION  
DIGITAL OVERCURRENT RELAY USING FIREFLY  
ALGORITHM ON RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM WITH  
DISTRIBUTED GENERATION***

Yoga Dewangga  
NRP 2211 100 061

Advisor  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng  
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**PROTEKSI ADAPTIF UNTUK KOORDINASI OPTIMAL  
DIGITAL RELE ARUS LEBIH MENGGUNAKAN *FIREFLY*  
ALGORITHM PADA DISTRIBUSI RADIAL DENGAN  
PEMBANGKIT TERSEBAR**

**TUGAS AKHIR**

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

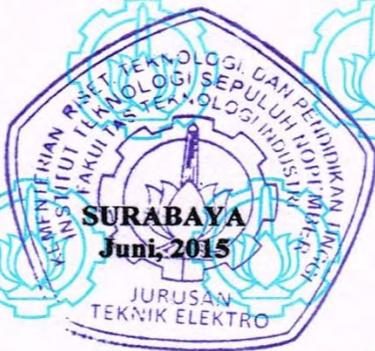
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**

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

**Prof. Dr Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng**  
NIP. 195809161986011001



# PROTEKSI ADAPTIF UNTUK KOORDINASI OPTIMAL DIGITAL RELE ARUS LEBIH MENGUNAKAN *FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR

**Nama** : Yoga Dewangga  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng  
**Pembimbing II** : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng

## ABSTRAK

Kontinuitas daya, efisiensi energi, dan keamanan sistem tenaga listrik adalah alasan utama yang menyebabkan peningkatan penambahan *distributed generation* pada saluran distribusi listrik. Dengan penambahan *distributed generation* pada sistem distribusi mengakibatkan kontinuitas daya dan efisiensi daya akan terjaga, namun akan mengakibatkan konfigurasi sistem berubah-ubah seiring dengan penambahan *distributed generation*. Perubahan konfigurasi sistem tersebut akan berpengaruh pada *setting* rele proteksi sistem eksisting. Apabila *setting* rele menggunakan *setting* eksisting pada saat terjadi perubahan konfigurasi sistem maka kemungkinan akan terjadi *miss coordination* atau *loss coordination* pada sistem, untuk menghindari hal tersebut, diperlukan *setting* rele yang adaptif. Dalam proses adaptasi rele, parameter-parameter rele harus ditentukan dari masing-masing konfigurasi sistem. Penentuan parameter-parameter rele dapat dilakukan secara manual, namun cara ini terkadang membutuhkan banyak waktu karena *setting* manual dilakukan dengan proses *trial and error*. Proses *trial and error* dapat dihilangkan dengan mengoptimalkan rele, dengan optimalisasi rele, penentuan parameter rele dapat dilakukan dengan sekali menjalankan program. Pada tugas akhir ini, proses pengoptimalkan rele menggunakan *firefly algorithm*.

**Kata kunci:** Koordinasi proteksi, Rele Arus Lebih Adaptif, Optimalisasi, *Firefly Algorithm*.

---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---

# **ADAPTIVE PROTECTION FOR OPTIMAL COORDINATION DIGITAL OVERCURRENT RELAY USING FIREFLY ALGORITHM ON RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM WITH DISTRIBUTED GENERATION**

**Name** : Yoga Dewangga  
**Advisor I** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng  
**Advisor II** : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng

## **ABSTRACT**

*Power continuity, energy efficiency, and power system security are the main reasons that resulted significant penetration of distributed generation on distribution power system. The Addition of distributed generation on distribution power system will causing power continuity and energy efficiency will be maintained, but the other result is in a system configuration change along with the addition of distributed generation. The system configuration changes will affect the existing system of protection relay settings. If the system configuration changes and the relay still using the existing settings, it may lead to a miss coordination or loss coordination in the system. To avoid this, an adaptive relay setting is needed. In the relay adaptation process, the parameters should be determined from each system configuration. The determination of the parameters can be done manually, but in manual settings sometimes requires a lot of time because it's done by trial and error process. The process of trial and error can be eliminated by optimizing the relay, with optimization of relay the parameters determination can be done with a running program. In this final project, the optimization relay process using firefly algorithm.*

**Keywords:** *Protection coordination, Adaptive Overcurrent Relay, Optimization, Firefly Algorithm.*

*---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah rabbil 'alamin*, Puji syukur yang sangat mendalam kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya yang tiada terkira penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas akhir yang berjudul **“Proteksi Adaptif Untuk Koordinasi Optimal Digital Rele Arus Lebih Menggunakan *Firefly Algorithm* Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Pembangkit Tersebar”** diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam tugas akhir ini dilakukan studi mengenai koordinasi proteksi adaptif untuk sistem distribusi radial dengan pembangkit tersebar.

Pengerjaan tugas akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Efi Kisworini, Bpk. Misbakul Ulum (Alm.), Galuh, Happy, dan Icha, orang tua dan adik-adik penulis yang tiada lelah memanjatkan do'a dan memberikan semangat untuk penulis.
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng dan Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng, dosen yang dengan sabar membimbing penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. Slamet, Wahyu, Feisal, Irfan, Deta, Agung, Dino, Dahlan, Addien, Hendra, Alfa, Rizki, Satria, Aziz, Galuh, dan Mas Iskandar yang telah menemani penulis dalam berdiskusi dan menggali ilmu.
4. Mentari Queen Glossyta, partner dan rekan yang selalu memberi semangat saat pengerjaan tugas akhir.
5. Diri saya sendiri, yang sudah kuat memperjuangkan pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai dengan baik.

Penulis berharap pembaca dapat memberikan saran dan kritik bagi buku ini untuk menjadi perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

*---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---*

# DAFTAR ISI

HALAMAN

Halaman Judul	
Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	
Lembar Pengesahan	
Abstrak .....	i
<i>Abstract</i> .....	iii
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
<b>BAB 1 Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
1.6 Manfaat .....	4
<b>BAB 2 Teori Penunjang.....</b>	<b>5</b>
2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik .....	6
2.2.1 Gangguan Beban Lebih.....	7
2.2.2 Gangguan Tegangan Lebih .....	7
2.2.3 Gangguan Hubung Singkat .....	7
2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	8
2.3.1 Hubung Singkat 3 Fasa .....	9
2.3.2 Hubung Singkat Antar Fasa .....	10
2.3.3 Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah .....	11
2.4 Rele Pengaman .....	11
2.5 Rele Arus Lebih .....	12
2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	13
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu <i>Instant</i> .....	13
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite</i> ).....	14
2.5.4 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	15
2.6 Penyetelan Rele Arus Lebih .....	15
2.6.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	15

2.6.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	16
2.7 Koordinasi Berdasarkan Arus Dan Waktu .....	17
2.8 <i>Firefly Algorithm</i> .....	18
2.9 <i>Distributed Generation</i> .....	19
<b>BAB 3 Pemodelan Sistem .....</b>	<b>21</b>
3.1 Sistem Kelistrikan.....	21
3.2 Sistem Pembangkitan.....	21
3.3 Skema Operasi .....	22
3.3.1 Skema 1 .....	22
3.3.2 Skema 2 .....	22
3.3.3 Skema 3 .....	22
3.4 Sistem Distribusi Pemodelan.....	26
3.5 Beban .....	26
3.6 Pemodelan Algoritma Kunang-Kunang.....	27
<b>BAB 4 Hasil Simulasi Program Dan Analisis.....</b>	<b>29</b>
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan.....	29
4.2 Pemilihan Skema Koordinasi Pada Sistem Pemodelan .....	29
4.3 Analisis Gangguan Hubung Singkat .....	30
4.3.1 Analisis Gangguan Hubung Singkat Minimum .....	30
4.3.2 Analisis Gangguan Hubung Singkat Maksimum .....	31
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa .....	32
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Skema 1 .....	32
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Skema 2 .....	40
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Skema 3 .....	49
4.5 Optimalisasi Rele Arus Lebih.....	64
4.5.1 Batasan-Batasan Optimalisasi .....	65
4.5.2 Algoritma Kunang-Kunang Optimalisasi Rele Arus Lebih..	66
4.6 Hasil Simulasi Program .....	69
4.6.1 Hasil Optimalisasi Skema 1 .....	69
4.6.2 Hasil Optimalisasi Skema 2.....	70
4.6.3 Hasil Optimalisasi Skema 3.....	71
<b>BAB 5 Penutup .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan .....	79
5.2 Saran Penelitian Selanjutnya .....	80
Daftar Pustaka .....	81
Biografi Penulis .....	83

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Gelombang arus hubung singkat .....	9
Gambar 2.2 Gangguan shunt 3 fasa .....	10
Gambar 2.3 Gangguan shunt 2 fasa (antar fasa) .....	10
Gambar 2.4 Gangguan shunt 1 fasa .....	11
Gambar 2.5 Karakteristik <i>standard inverse</i> , <i>very inverse</i> dan <i>extremely inverse</i> .....	13
Gambar 2.6 Karakteristik rele arus lebih <i>instant</i> .....	14
Gambar 2.7 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu .....	14
Gambar 2.8 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan ..	15
Gambar 2.9 Rele arus lebih pengamanan trafo .....	17
Gambar 3.1 Skema 1 pemodelan sistem .....	23
Gambar 3.2 Skema 2 pemodelan sistem .....	24
Gambar 3.3 Skema 3 pemodelan sistem .....	25
Gambar 3.4 <i>Flow chart firefly algorithm</i> .....	28
Gambar 4.1 Sistem kelistrikan skema 1 .....	33
Gambar 4.2 <i>Time-current curve</i> Skema 1 .....	39
Gambar 4.3 Sistem kelistrikan skema 2 .....	40
Gambar 4.4 <i>Time-current curve</i> skema 2 .....	48
Gambar 4.5 Sistem kelistrikan skema 3 .....	49
Gambar 4.6 <i>Time current curve</i> skema 3 .....	58
Gambar 4.7 <i>Time current curve</i> skema 3 setelah <i>resetting</i> .....	62
Gambar 4.8 <i>Flow chart firefly algorithm</i> .....	68
Gambar 4.9 Diagram konvergensi dari <i>running program</i> skema 1 ....	69
Gambar 4.10 Diagram konvergensi dari <i>running program</i> skema 2 ....	70
Gambar 4.11 Diagram konvergensi dari <i>running program</i> skema 3 ....	71
Gambar 4.12 <i>Time current curve</i> skema 1 hasil optimalisasi .....	73
Gambar 4.13 <i>Time current curve</i> skema 2 hasil optimalisasi .....	74
Gambar 4.14 <i>Time current curve</i> skema 3 hasil optimalisasi .....	75

*---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---*

## Daftar Tabel

	HALAMAN
Tabel 2.1 Koefisien invers <i>time dial</i> .....	16
Tabel 3.1 Data Unit Pembangkit.....	22
Tabel 3.2 Data <i>bus</i> .....	26
Tabel 3.3 Data beban <i>lump</i> .....	26
Tabel 4.1 Data arus hubung singkat minimum .....	31
Tabel 4.2 Data arus hubung singkat maksimum .....	32
Tabel 4.3 Data parameter untuk <i>setting</i> rele pada skema 1 .....	63
Tabel 4.4 Data parameter untuk <i>setting</i> rele pada skema 2 .....	63
Tabel 4.5 Data parameter untuk <i>setting</i> rele pada skema 3 .....	64
Tabel 4.6 Data parameter untuk <i>setting</i> rele pada skema 3 setelah <i>resetting</i> .....	64
Tabel 4.7 Data hasil optimalisasi parameter untuk setting rele pada skema 1 .....	70
Tabel 4.8 Data hasil optimalisasi parameter untuk setting rele pada skema 2 .....	71
Tabel 4.9 Data hasil optimalisasi parameter untuk setting rele pada skema 3 .....	72
Tabel 4.10 Perbandingan waktu <i>trip</i> pada masing-masing rele.....	77

*---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem proteksi sangat penting bagi sistem kelistrikan baik sistem transmisi dan distribusi. Peralatan yang paling umum dikenal dalam sistem proteksi adalah rele dan CB (*Circuit Breaker*). Kedua peralatan tersebut merupakan peralatan utama dalam sistem proteksi. Terdapat berbagai macam rele sesuai dengan jenis gangguan yang dapat ditangani oleh rele. Jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem adalah gangguan arus hubung singkat, gangguan arus lebih, dan juga beban lebih. Untuk mengatasi gangguan tersebut, digunakan OCR (*Overcurrent Relay*).

Kecepatan kinerja rele juga mempengaruhi sistem proteksi, kecepatan kinerja rele analog dan rele digital (berbasis *microprocessor*) berbeda. Pada masa sekarang sudah banyak yang menerapkan rele digital pada sistem kelistrikan yang ada. Untuk sistem kelistrikan pada umumnya cukup menggunakan *setting* rele yang sesuai standar. Namun untuk rele yang terpasang pada sistem distribusi dengan pembangkitan tersebar, dibutuhkan *setting* yang berbeda.

*Distributed generation* yang banyak dan terkoneksi dengan sistem distribusi dapat menurunkan waktu operasi rele, sehingga kinerja rele melambat. Sistem distribusi menjadi tidak menentu, konfigurasi dan kondisi sistem dapat berubah setiap waktu. Perubahan ini dikarenakan waktu trip dan tersambungannya DGs tidak tentu. Pada umumnya, *setting* rele sudah di *setting* sesuai standar. Sedangkan sistem kelistrikan pada sistem distribusi radial dengan pembangkitan tersebar membutuhkan *setting* rele yang sesuai dengan kondisi dan konfigurasi sistem. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan rele yang adaptif yang dapat bekerja secara optimal meskipun konfigurasi dan kondisi sistem berubah-ubah.

Untuk mensetting rele agar bersifat adaptif, diperlukan suatu optimalisasi pada sistem koordinasi proteksi sehingga didapat *setting* waktu yang optimal pada rele. Terdapat banyak metode optimalisasi, yaitu GA (*Genetic Algorithm*), PSO (*Particle Swarm Optimization*), FA (*Firefly Algorithm*), dll. Di antara metode optimalisasi yang ada, *Firefly Algorithm* mempunyai keunggulan yaitu lebih akurat dan efektif dalam optimalisasi. Untuk mengoptimalkan koordinasi proteksi pada sistem distribusi radial dengan pembangkitan tersebar, dipilih metode FA

(*Firefly Algorithm*) sehingga didapat rele yang mempunyai kemampuan menentukan keputusan lebih cepat dan sistem koordinasi proteksi sitem tersebut menjadi optimal.

## 1.2 Permasalahan

Pada tugas akhir ini yang menjadi permasalahan utama adalah mendapatkan waktu kerja rele dan koordinasi proteksi yang adaptif saat sistem eksisting pada distribusi radial mendapat penambahan unit *distributed generator* atau terdapat penambahan sumber listrik baru yang terhubung dengan sistem eksisting.

## 1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh digital rele arus lebih yang bisa berkoordinasi dalam pengambilan keputusan untuk mengubah *setting* rele tersebut menyesuaikan dengan kondisi dan konfigurasi sistem (adaptif), menentukan nilai kerja rele yang paling efektif dengan *firefly algorithm* pada sistem distribusi radial dengan pembangkit tersebar, dan menjaga waktu operasi yang tepat dan memberikan interval waktu koordinasi proteksi dengan respon yang cepat. Sehingga, hasilnya mampu memberikan suatu gambaran perbandingan antara hasil optimalisasi terhadap perhitungan manual secara teoritis.

## 1.4 Metodologi

Metode penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur  
Studi literatur untuk mencari referensi bahan melalui buku, jurnal ilmiah (*paper*) yang berhubungan dengan koordinasi proteksi. Hal tersebut dilakukan untuk lebih memahami permasalahan dan mengetahui cara menyelesaikan permasalahan tersebut.
2. Pemodelan Sistem  
Memodelkan sistem kelistrikan dalam bentuk *single line diagram* menggunakan *software* ETAP. Pemodelan sistem dilakukan agar dapat melakukan simulasi untuk mengetahui aliran daya dan besarnya arus gangguan hubung singkat.
3. Simulasi Aliran Daya dan Hubung Singkat  
Simulasi dilakukan untuk mengetahui aliran daya serta tegangan pada setiap bus dalam sistem kelistrikan dan mendapatkan besar arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum pada setiap bus.

4. Implementasi Algoritma Kunang-kunang (*Firefly Algorithm*) dan Program untuk Optimalisasi  
Menentukan langkah-langkah algoritma, batasan (*constrain*), dan parameter-parameter optimalisasi agar luaran optimalisasi akurat. Algoritma disimulasikan dengan menggunakan *software* MATLAB.
5. Analisis Hasil Simulasi  
Dari simulasi yang dilakukan akan didapatkan suatu hasil optimal yang selanjutnya akan digunakan sebagai komponen pembanding, apakah hasil simulasi sesuai dengan teori atau tidak. Bila sudah sesuai maka hasil simulasi akan digunakan untuk *setting* rele arus lebih.
6. Pembuatan Laporan Tugas Akhir  
Laporan tugas akhir berisi hasil analisis koordinasi rele pengaman arus lebih dengan metode optimalisasi. Dengan nilai *setting* yang telah didapatkan dari optimalisasi diharapkan sistem proteksi dapat bekerja dengan cepat dan selektif dalam memutus arus gangguan yang muncul pada sistem radial dengan pembangkit tersebar.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini pembahasan akan dibagi menjadi 5 bab dengan sistematika sebagai berikut :

### **Bab 1 : Pendahuluan**

Bab ini berisi latar belakang pembuatan tugas akhir, permasalahan yang akan diangkat, tujuan dan manfaat tugas akhir, metodologi penulisan serta sistematika penulisan tugas akhir.

### **Bab 2 : Teori Penunjang**

Bab ini berisi teori-teori penunjang yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

### **Bab 3 : Pemodelan Sistem Kelistrikan**

Bab ini berisi tentang pemodelan sistem kelistrikan yang akan digunakan untuk simulasi, meliputi bagaimana konfigurasi sistem dan komponen – komponennya.

### **Bab 4 : Hasil Simulasi Program Dan Analisis**

Bab ini membahas perhitungan dan analisis terhadap koordinasi proteksi yang dilakukan secara manual dengan hasil optimalisasi ketika terjadi gangguan hubung singkat sehingga menghasilkan koordinasi proteksi yang tepat.

### **Bab 5 : Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan, saran, rekomendasi dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan.

## **1.6 Manfaat**

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu menjadi referensi dan rekomendasi untuk sistem kelistrikan pada sistem distribusi radial dengan pembangkit tersebar, khususnya berkaitan dengan koordinasi rele pengaman arus lebih. Selain itu, tugas akhir ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya tentang koordinasi rele pengaman arus lebih yang optimal dengan menggunakan metode *artificial intelligence*.

## **BAB 2**

### **TEORI PENUNJANG**

Suatu sistem tenaga listrik tidak akan terlepas dari berbagai macam gangguan listrik. Gangguan listrik yang dimaksud adalah keadaan sistem yang menyimpang atau tidak seharusnya terjadi pada kondisi normal dimana keadaan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, mengurangi tingkat keamanan sistem, membahayakan keselamatan pekerja dan mengakibatkan terganggunya kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

Sistem proteksi pada sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari peralatan-peralatan yang berfungsi meminimalkan gangguan dengan cara mengisolasi ataupun memutus bagian yang terkena gangguan sehingga bagian sistem yang lain terbebas dari gangguan, kontinuitas penyaluran daya listrik tidak terganggu, dan sistem dapat bekerja secara normal. Arus gangguan yang mengalir pada sistem tenaga listrik akan menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga sehingga terputus aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut. Masing-masing rele proteksi dalam sistem tenaga listrik perlu dikoordinasikan dengan rele-rele proteksi lainnya untuk melindungi peralatan yang berdekatan. Koordinasi rele proteksi merupakan pengaturan *setting* arus dan waktu dari beberapa rele pemaman agar diperoleh selektivitas yang tepat dalam melokalisir gangguan yang terjadi agar tidak terjadi trip di sisi hulu dan hilir pada saat yang bersamaan. Kecepatan waktu trip yang tepat dapat memberikan perlindungan yang baik pada sistem dan peralatan yang ada agar tidak terjadi kerusakan, hal ini juga dapat mencegah kebakaran.

#### **2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik**

Penyebab gangguan listrik pada suatu sistem tenaga listrik dapat bermacam-macam, namun pada umumnya gangguan tersebut dibagi menjadi dua, yaitu gangguan dari dalam dan luar sistem [1]. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus yang tidak normal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan pada peralatan.
4. Beban lebih.

5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat pada isolasi.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

1. Gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Selain itu, gangguan juga dapat dibedakan berdasarkan jenisnya. Jenis gangguan (*fault*) pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 kelompok:

1. Gangguan yang bersifat temporer, dimana gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan seketika, baik hilang dengan sendirinya maupun karena kerja alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu untuk memperbaikinya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara, setelah arus gangguan diputus misalnya karena *circuit breaker* terbuka oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap untuk beroperasi kembali. Sedangkan untuk gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Saat terjadi gangguan pada suatu sistem akan mengalir arus yang sangat besar menuju ke titik gangguan pada fasa yang terganggu, dimana arus gangguan tersebut memiliki nilai yang jauh lebih besar dari *rating* arus maksimum yang diijinkan, sehingga dapat terjadi kenaikan temperatur/panas pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan [1].

## **2.2 Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik**

Pada sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan adanya arus berlebih diantaranya adalah gangguan beban lebih (*overload*), gangguan tegangan lebih (*over voltage*), dan gangguan arus hubung singkat (*short circuit*)

### **2.2.1 Gangguan Beban Lebih**

Merupakan gangguan yang disebabkan oleh arus yang mengalir melebihi kapasitas suatu peralatan listrik atau peralatan pengaman. Arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diijinkan ( $I > I_n$ ). Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus maka dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang dialiri arus tersebut. Pencegahan gangguan semacam ini dapat dilakukan dengan cara mengatur pembangkitan agar tidak ada bagian tertentu dalam sistem yang mengalami beban lebih. Namun hal ini tidaklah selalu mungkin dilakukan karena tergantung dengan kondisi sistem.

### **2.2.2 Gangguan Tegangan Lebih**

Gangguan tegangan lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat gangguan dari luar yang memberikan tegangan seketika sehingga sistem kelistrikan mengalami kelainan. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena :

1. Gangguan petir.
2. Gangguan surja hubung, di antaranya adalah penutupan saluran tak serempak pada pemutus tiga fasa, penutupan kembali saluran dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk sistem menjadi masuk sistem, dan sebagainya.

### **2.2.3 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat dapat terjadi satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat simetri, gangguan ini dapat digunakan untuk menghitung ketahanan pada peralatan. Sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat asimetri.

Gangguan asimetri akan menyebabkan arus tidak seimbang mengalir dalam sistem sehingga untuk menganalisis gangguan yang terjadi digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus

maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan asimetri akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan asimetri dapat di gunakan untuk menghitung arus *pick-up* pada rele, dan pada umumnya sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan asimetri.

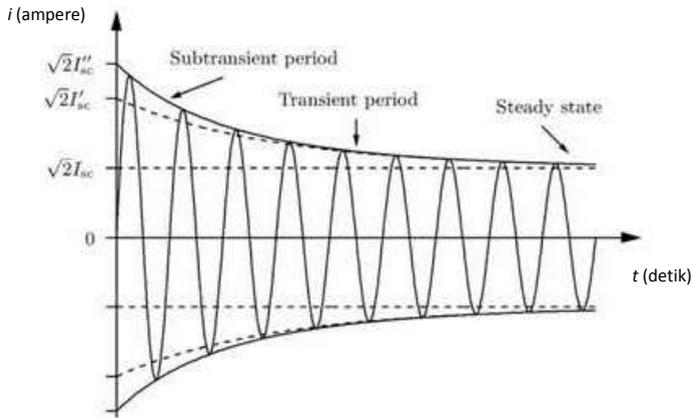
Apabila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung pada suatu sistem tenaga listrik maka timbul pengaruh yang tidak diinginkan yang mungkin terjadi pada sistem, antara lain:

1. Kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
2. Stabilitas daya pada sistem menurun.

Kontinuitas pelayanan listrik ke beban dapat terhenti apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan *circuit breaker* (CB) bekerja sehingga terjadi pemadaman listrik.

### **2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat**

Arus yang cukup tinggi akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi saat hubung singkat. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat. Reaktansi pada beberapa *cycle* pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi subtransient atau *subtransient reactance* ( $X''_d$ ). Beberapa *cycle* kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau *transient reactance* ( $X'_d$ ) dan akhirnya kondisinya mencapai *steady state* dan pada saat ini reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* ( $X_d$ ) [2]. Reaktansi pada rangkaian yang dialiri arus hubung singkat dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Gelombang arus hubung singkat

Suatu sistem tenaga listrik apabila terjadi gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung maka akan timbul pengaruh yang tidak diinginkan pada sistem, antara lain :

1. Rusaknya peralatan sistem tenaga listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar, arus-arus tak seimbang atau tegangan-tegangan rendah yang terhubung dengan arus hubung singkat.
2. Kemungkinan terjadinya ledakan pada peralatan-peralatan yang mengandung minyak isolasi saat terjadi gangguan hubung singkat dan mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan operator atau manusia dan peralatan yang lain.
3. Suatu sistem yang terkena gangguan dapat terpisah dari sistem interkoneksi.

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut :

### 2.3.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.1)$$

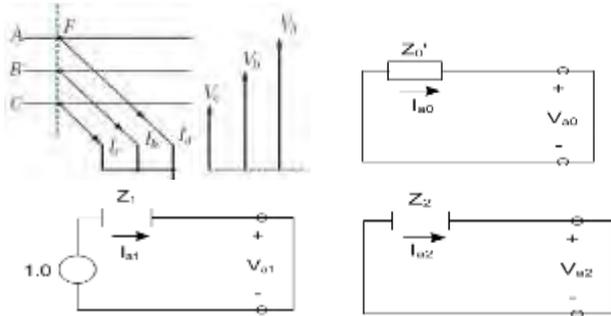
Di mana  $V_{LN}$  adalah tegangan nominal *line to neutral*, dan  $X1$  adalah reaktansi urutan positif.

$$V_{a0} = 0$$

$$V_{a2} = 0$$

$$I_{a0} = 0$$

$$I_{a2} = 0$$



**Gambar 2.2** Gangguan shunt 3 fasa

### 2.3.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa ( $I_{sc}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

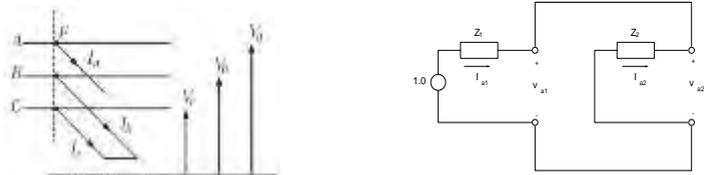
$$I_{sc} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} \quad (2.2)$$

Dengan  $V_{LL}$  adalah tegangan nominal *line to line*, dan  $X_2$  adalah reaktansi urutan negatif.

$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c$$

$$V_b = V_c$$



**Gambar 2.3** Gangguan shunt 2 fasa (antar fasa)

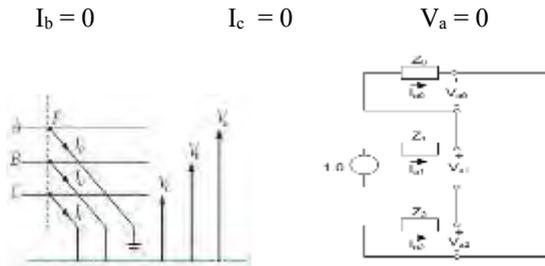
### 2.3.3 Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa ( $I_{sc}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (2.3)$$

Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka  $Z_g = 0$  dan  $X_1 = X_2 = X_0$  sehingga persamaannya menjadi :

$$I_{sc} = \frac{3 \times V_{LN}}{3 \times X_1} \quad (2.4)$$



**Gambar 2.4** Gangguan shunt 1 fasa

## 2.4 Rele Pengaman

Dalam mengatasi bahaya dari berbagai macam gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik, maka diperlukan rele pengaman. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik ke konsumen oleh karena itu sistem tersebut haruslah dirancang dengan baik agar kontinuitas terjaga, handal dan ekonomis. Dalam membangun sistem tenaga listrik diperlukan biaya yang banyak karena peralatan yang berbagai macam dan sistem yang rumit. Biaya tersebut diharapkan memiliki sistem pengaman yang baik dan tepat.

Oleh karena itu dalam pengoperasiannya peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi syarat-syarat berikut:

1. Selektifitas, yaitu kemampuan rele pengaman mendeteksi dan memerintahkan circuit breaker untuk trip dan mengisolasi bagian yang terganggu saja. Untuk mengkoordinasikan rele agar menjadi selektif adalah melakukan perhitungan hubung singkat dengan cermat dan memperhatikan karakteristik dari rele tersebut.
2. Stabilitas, yaitu kemampuan rele pengaman untuk menjaga suplai pada bagian yang tidak mengalami gangguan.
3. Sensitifitas, yaitu kemampuan rele pengaman untuk mendeteksi gangguan yang paling kecil sekalipun dan beroperasi dengan benar sesuai dengan setelannya sebelum gangguan yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan.
4. Kecepatan, yaitu kecepatan bereaksi rele pengaman memberi sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) agar dapat beroperasi secepat mungkin saat terjadi gangguan sehingga keamanan sistem terjaga. Waktu bereaksi diusahakan sesingkat mungkin sehingga kerusakan yang terjadi semakin kecil, serta dapat mengurangi meluasnya akibat dari adanya gangguan itu sendiri sehingga kestabilan sistem menjadi lebih baik.
5. Keandalan, dapat dihitung dari jumlah rele yang bekerja untuk mengamankan gangguan berbanding jumlah gangguan yang terjadi. Semakin tinggi keandalan maka sistem tersebut semakin baik dan dapat meminimalkan terjadinya kerusakan akibat gangguan. Untuk mencapai keandalan yang tinggi tidak lepas dari kualitas peralatan dan cara pemasangannya. Keandalan harus memenuhi beberapa faktor yaitu: *dependable*: peralatan harus trip ketika dibutuhkan, *secure*: tidak boleh trip saat tidak dibutuhkan dan *availability*: perbandingan antara waktu dimana rele pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

## 2.5 Rele Arus Lebih

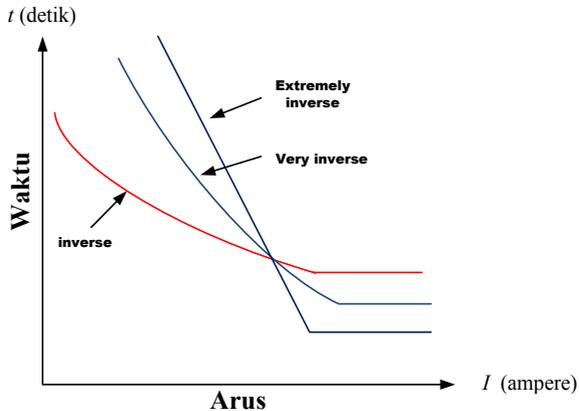
Untuk mengatasi gangguan arus lebih kita dapat menggunakan rele arus lebih. Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan [5]. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

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

Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut belitan sekunder dari trafo arus (CT). Dan  $I_f$  merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap belitan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem Rele arus lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan.

### 2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Sebaliknya, jika arus gangguan kecil maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama [3]. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers digambarkan dalam kurva arus-waktu atau yang biasa disebut *time-current characteristic* (TCC). Dalam standart *IEEE std 242-2001* ada beberapa karakteristik kurva inverse, yaitu *long time inverse*, *very inverse*, *short time inverse* dan *extreme inverse*. Penggunaannya juga bisa dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan yang nanti akan dijelaskan lebih lanjut.

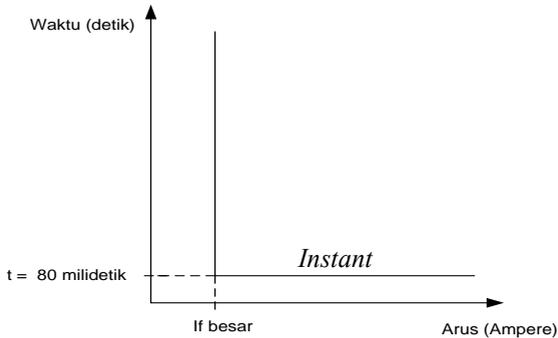


**Gambar 2.5** Karakteristik *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*

### 2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu Instant

Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele

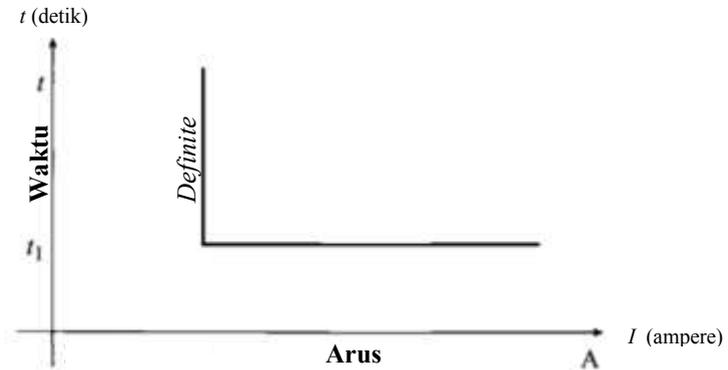
arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *disetting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih *instant*.



**Gambar 2.6** Karakteristik rele arus lebih *instant*

### 2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite*)

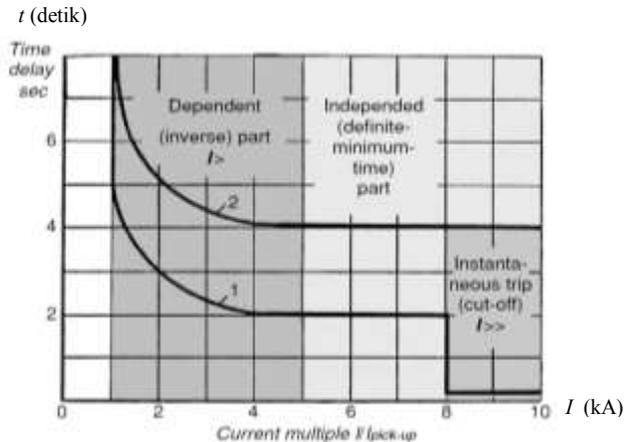
Setelan rele pengaman dengan menggunakan karakteristik waktu tertentu yang disetel pada rele hanya didasarkan pada waktu kerjanya rele pengaman dengan tidak melihat besarnya arus gangguan. Dengan kata lain, semua *level* arus yang melebihi *pickup set point*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama.



**Gambar 2.7** Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

### 2.5.4 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Merupakan kurva hasil kombinasi antara *inverse* dan *definite*. Jenis kurva ini mengantisipasi gangguan dari letaknya. Apabila sumber gangguan terlalu dekat akan digunakan kurva bagian *definite* sehingga dapat trip lebih cepat, sedangkan untuk gangguan jauh dapat menggunakan kurva *inverse* karena bersifat temporer.



**Gambar 2.8** Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu *instant*

## 2.6 Penyetelan Rele Arus Lebih

Untuk melakukan *setting* pada rele arus lebih maka perlu dilakukan studi aliran daya dan studi hubung singkat agar didapat nilai arus hubung singkat sebagai salah satu nilai parameter dari rele [4]. Studi hubung singkat bertujuan untuk menentukan arus dan tegangan maksimum & minimum pada bagian-bagian dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis gangguan yang mungkin terjadi [6].

### 2.6.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers

Untuk *setting* rele arus lebih waktu invers ini kita dapat mensetting dua bagian yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini

ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.5)$$

*Iset* adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut *standard British BS 142* batas penyetelannya adalah  $1,05 I_{fla} < I_{set} < 1,3 I_{fla}$  dimana *Ifla* adalah arus saat beban maksimum perlatan.

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *inverse* rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- td* = waktu operasi (detik)
- T* = *time dial*
- I* = nilai arus (Ampere)
- Iset* = arus *pickup* (Ampere)
- k* = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- $\alpha$  = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)
- $\beta$  = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

**Tabel 2.1** Koefisien invers *time dial* [7]

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

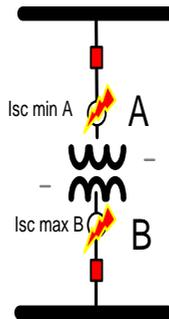
### 2.6.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih instan, seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2.5.2 akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan *Isc min* yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min} \quad (2.7)$$

Selain itu ada juga kondisi khusus yang perlu kita perhatikan dalam mensetting rele arus lebih waktu instan ini. Salah satunya adalah kondisi khusus untuk pengamanan *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, koordinasi pengamanan dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada Gambar 2.9. Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min \text{ A}} \quad (2.8)$$



**Gambar 2.9** Rele arus lebih pengamanan trafo

Di mana  $I_{sc \max \text{ bus B}}$  merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan  $I_{sc \min \text{ A}}$  adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

## 2.7 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Koordinasi ini adalah untuk menentukan *time delay* pada rele pengamanan. Antara rele pengamanan utama dan rele pengamanan *backup* tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB	: 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)
<i>Overtravel</i> dari rele	: 0,1s
Faktor keamanan	: 0,12-0,22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.3s.

## 2.8 *Firefly Algorithm*

Pada bidang *Artificial Intelligence* atau kecerdasan buatan ada istilah *swarm intelligence* yang diartikan sebagai desain algoritma atau alat *problem solving* terdistribusi yang terinspirasi oleh perilaku sosial kolektif koloni serangga dan koloni binatang. *Firefly Algorithm* merupakan salah satu dari *swarm intelligence* tersebut. *Firefly Algorithm* adalah sebuah algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku berkedip kunang-kunang [8].

Algoritma ini dikembangkan oleh Dr. Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Formulasi umum dari algoritma ini disajikan bersama-sama dengan pemodelan matematika analisis untuk memecahkan masalah dengan tujuan ekuivalen fungsi. Hasilnya dibandingkan dengan yang diperoleh dengan teknik alternatif yang diusulkan oleh literatur untuk menunjukkan bahwa ia mampu menghasilkan solusi optimal baik dan benar [9].

Secara khusus, meskipun algoritma kunang-kunang memiliki banyak kemiripan dengan algoritma lain yang didasarkan pada kecerdasan kawanan, seperti yang terkenal *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Artificial Bee Colony optimization* (ABC), dan *Algoritma Bacterial Foraging* (BFA), memang jauh lebih sederhana baik dalam konsep dan implementasi. Selanjutnya, algoritma ini sangat efisien dan dapat mengungguli algoritma konvensional lainnya, seperti algoritma genetika, untuk memecahkan banyak masalah optimalisasi.

Dr Xin-She Yang merumuskan firefly algorithm sebagai berikut :

1. Semua kunang-kunang itu unisex, jadi suatu kunang-kunang akan tertarik pada kunang-kunang yang lain.
2. Daya tarik sebanding dengan tingkat kecerahan kunang-kunang, kunang-kunang dengan tingkat kecerahan lebih rendah akan tertarik dan bergerak ke kunang-kunang dengan tingkat kecerahan lebih tinggi, kecerahan dapat berkurang seiring dengan bertambahnya jarak dan adanya penyerapan cahaya akibat faktor udara.
3. Kecerahan atau intensitas cahaya kunang-kunang ditentukan oleh nilai fungsi tujuan dari masalah yang diberikan. Untuk masalah maksimisasi, intensitas cahaya sebanding dengan nilai fungsi tujuan.

## **2.9 Distributed Generation**

*Distributed Generation* atau pembangkit terdistribusi merupakan pembangkit berskala kecil yang terpasang langsung ke dalam jaringan distribusi atau tersambung langsung dengan jaringan listrik konsumen. Interkoneksi DG kedalam jaringan distribusi eksisting akan merubah konfigurasi jaringan radial dan berdampak pada koordinasi proteksi jaringan eksisting, sehingga dapat mengakibatkan *miscoordination* atau *loss-coordination*. Demikian juga kapasitas dan lokasi interkoneksi DG berpengaruh pada koordinasi proteksi jaringan eksisting.

*----Halaman Ini Sengaja Dikosongkan----*

## **BAB 3**

### **PEMODELAN SISTEM**

Sistem kelistrikan yang digunakan dalam simulasi tugas akhir ini adalah sistem distribusi radial dengan tambahan *distributed generation*. Pertimbangan untuk memilih sistem ini adalah karena sistem ini mudah untuk diubah-ubah konfigurasi sistem kelistrikannya sehingga hasil akhirnya dapat tercapai secara optimal. Luaran atau hasil akhir dari tugas akhir ini adalah koordinasi proteksi yang adaptif akibat dari perubahan konfigurasi sistem pada waktu tertentu. Pada tugas akhir ini, simulasi dilakukan dengan program ETAP untuk sistem kelistrikannya. Sedangkan simulasi untuk proses optimalisasinya menggunakan MATLAB. Mengingat terbatasnya data awal yang diperoleh, data-data yang belum tertera pada sistem awal namun sangat dibutuhkan untuk tujuan simulasi, menggunakan data *typical* dari ETAP itu sendiri.

#### **3.1 Sistem Kelistrikan**

Pada sistem kelistrikan pemodelan sistem ini terdapat 1 unit pembangkit yaitu Gen-1. Sistem kelistrikan pemodelan beroperasi pada jaringan distribusi radial dengan satu level tegangan yaitu tegangan menengah sebesar 11 kV. Beban-beban yang terpasang pada sistem ini merupakan kombinasi beban statis dan beban motor (*Lump Load*). Terdapat 4 beban yang membutuhkan suplai daya dari pembangkit.

#### **3.2 Sistem Pembangkitan**

Sistem kelistrikan pada pemodelan ini memiliki sumber energi listrik sebagai berikut:

1. Sumber dari generator 5 MW
2. Sumber dari generator 2 MW
3. Sumber dari *wind turbine generator* 1 MW

Berikut adalah tabel data dari unit pembangkit yang digunakan pada pemodelan sistem kelistrikan ini.

**Tabel 3.1** Data Unit Pembangkit

No.	Pembangkit	MW	kV	MVA	%PF	%Eff
1	Gen-1	5	11	5.882	85	95
2	Gen-2	2	11	2.353	85	95
3	WTG1	1	11	1.176	85	95

### 3.3 Skema Operasi

Pada pemodelan sistem kelistrikan ini, terdapat beberapa skema operasi, yaitu:

1. Skema 1 : Skema operasi aktual yang digunakan yaitu sistem dengan 1 pembangkit berfungsi secara normal.
2. Skema 2 : Skema operasi dengan 1 pembangkit *on* ditambah dengan 1 generator tambahan.
3. Skema 3: Skema operasi dengan 1 pembangkit *on* ditambah dengan 1 generator dan 1 *wind turbine generator*.

#### 3.3.1 Skema 1

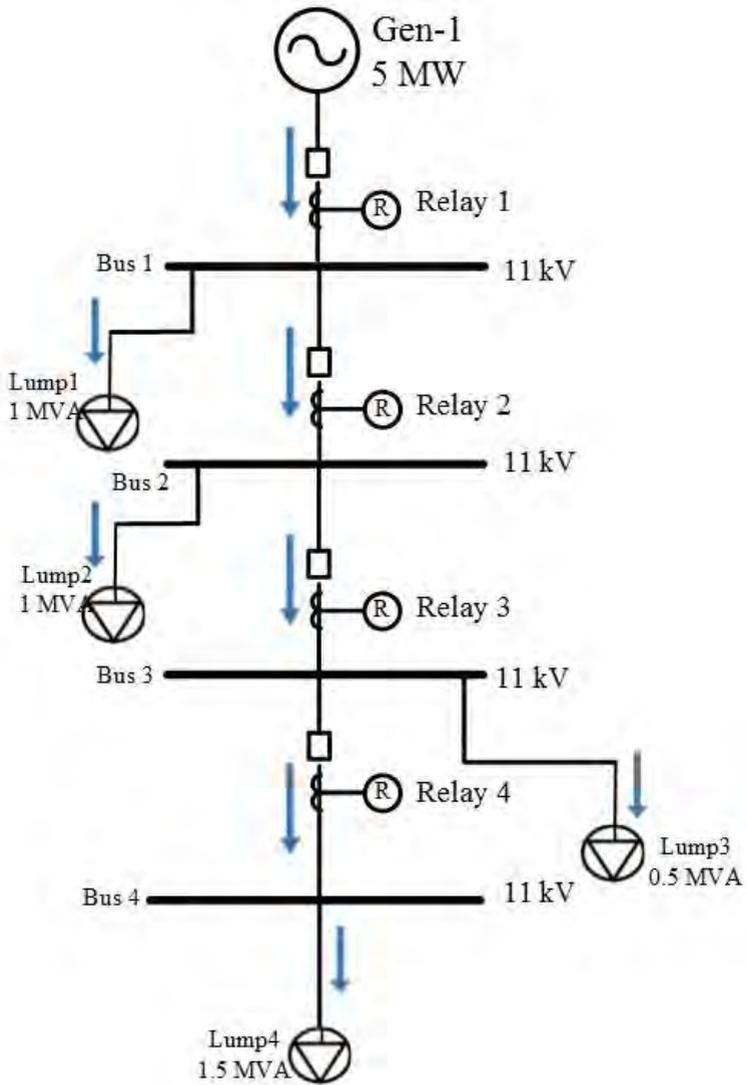
Pada konfigurasi ini, beban disuplai oleh 1 pembangkit, yaitu Gen-1. Skema 1 merupakan konfigurasi eksisting sistem.

#### 3.3.2 Skema 2

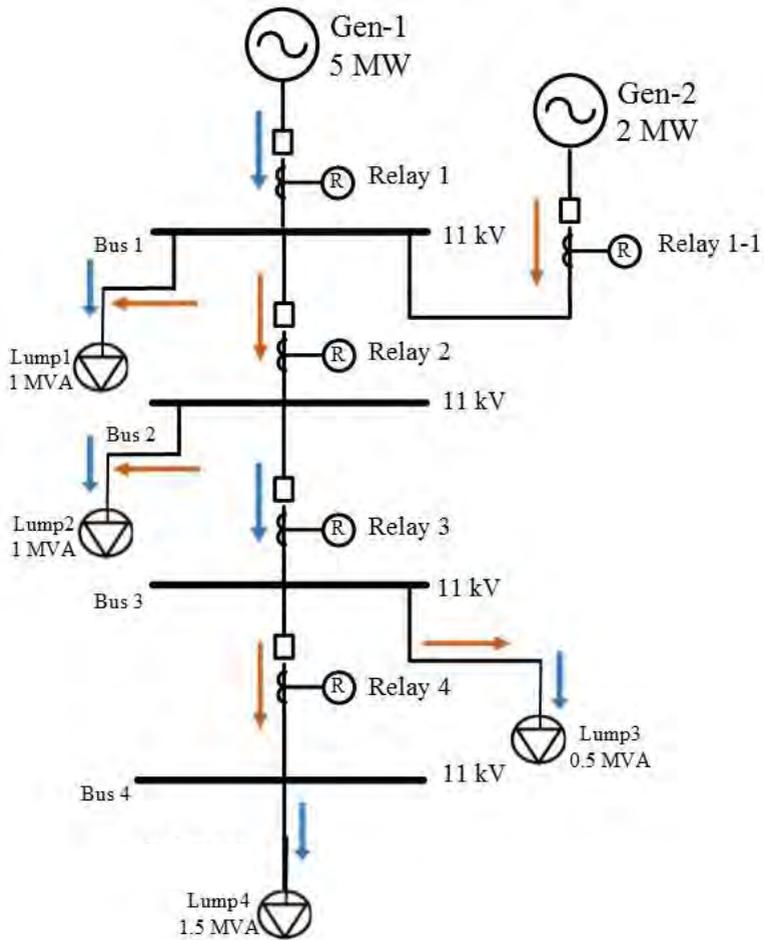
Pada konfigurasi kedua, beban disuplai oleh 2 pembangkit, yaitu Gen-1 dan Gen-2. Dalam konfigurasi ini Gen-2 merupakan *distributed generation*.

#### 3.3.3 Skema 3

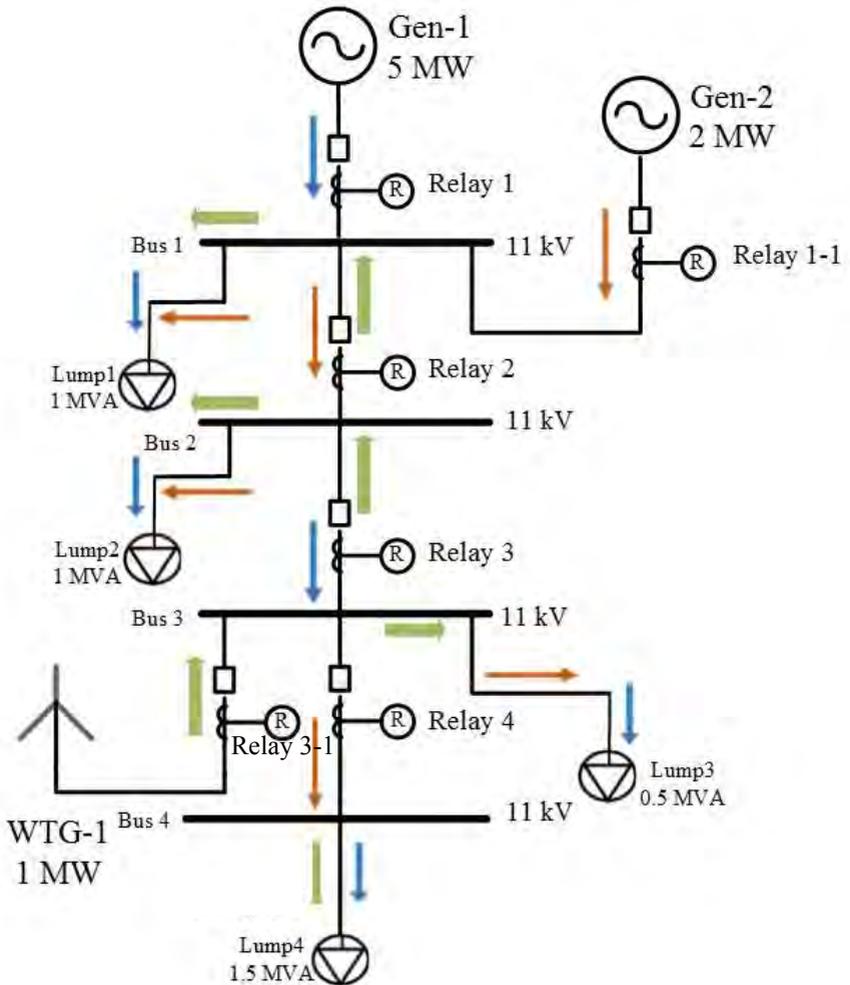
Pada konfigurasi 3, beban disuplai oleh 3 pembangkit, yaitu Gen-1, Gen-2, dan WTG1. Pada sistem ini terdapat tambahan 2 *distributed generation*.



**Gambar 3.1** Skema 1 pemodelan sistem



Gambar 3.2 Skema 2 pemodelan sistem



**Gambar 3.3** Skema 3 pemodelan sistem

### 3.4 Sistem Distribusi Pemodelan

Sistem distribusi tenaga listrik yang digunakan pada pemodelan ini adalah sistem distribusi radial. Pada sistem ini hanya terdapat satu level tegangan yaitu tegangan menengah 11 kV. Oleh karena itu tidak terdapat trafo *step-up* maupun *step-down* pada sistem. Tegangan output generator langsung disalurkan ke masing-masing bus beban.

Tabel 3.2 menunjukkan data beberapa bus.

**Tabel 3.2** Data bus

No	Bus	Tegangan
1	Bus1	11 kV
2	Bus2	11 kV
3	Bus3	11 kV
4	Bus4	11 kV

### 3.5 Beban

Beban-beban tenaga listrik pada pemodelan sistem kelistrikan ini terdiri dari kombinasi beban motor dan beban statis. (*Lump Load*).

**Tabel 3.3** Data beban lump

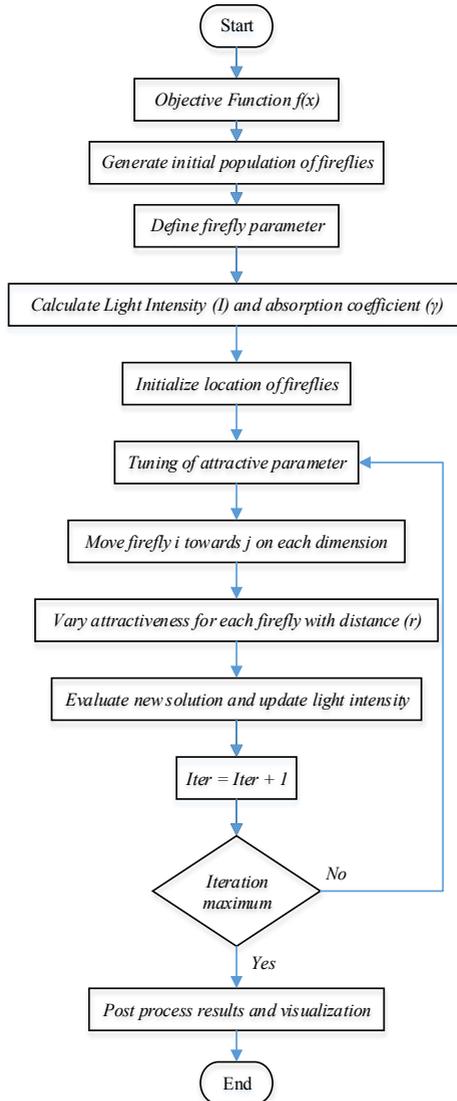
No	ID	Static Load (%)	Motor Load (%)	MVA	MW	kV
1	Lump1	70	30	1	0.85	12
2	Lump2	70	30	1	0.85	12
3	Lump3	70	30	0.5	0.425	12
4	Lump4	70	30	1.5	1.275	12

### 3.6 Pemodelan Algoritma Kunang-kunang (*Firefly Algorithm*)

Untuk melakukan optimalisasi sistem proteksi pada jaringan eksisting tentunya dibutuhkan sebuah algoritma. Berikut ini adalah algoritma kunang-kunang:

```
Define objection function  $f(x)$ ;  
Create Initial Population of fireflies;  
Formulate light intensity  $I_m$ , associated with  $f(x)$   
Define absorption coefficient  $\gamma$   
While ( $t < \text{Maximum\_Iterations}$ )  
  for  $i=1:n$  (all  $n$  fireflies)  
    for  $j=1:n$  ( $n$  fireflies)  
      if ( $I_j > I_i$ )  
        move firefly  $i$  towards  $j$ ;  
      end if  
      Vary Attractiveness with distance  $r$  via;  $\exp(-\gamma r^2)$   
      Evaluate new solutions and update light intensity;  
    end for  $j$   
  end for  $i$   
  Rank fireflies and find the current best;  
end while  
end
```

Berikut ini adalah *flow chart* dari *firefly algorithm* :



**Gambar 3.4** *Flow chart firefly algorithm*

## **BAB 4**

### **HASIL SIMULASI PROGRAM DAN ANALISIS**

#### **4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan**

Untuk melakukan analisis koordinasi proteksi maka sistem kelistrikan dimodelkan dalam *software* simulasi, yaitu ETAP. Langkah awal dari pemodelan ini dengan cara membuat *single line diagram* simulasi tersebut dan memasukkan data yang sudah ditentukan. Data yang akan dimasukkan meliputi generator, data kabel, *bus*, *load* dan rele. Setelah pemodelan dilakukan, dilanjutkan dengan melakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui kondisi sistem pada saat *steady state*, hubung singkat (*short circuit*) untuk melakukan koordinasi peralatan pengaman.

#### **4.2 Pemilihan Skema Koordinasi Pada Sistem Pemodelan**

Untuk memudahkan *setting* koordinasi proteksi dan mengetahui perbedaan *setting* proteksi saat sistem dihubungkan dengan *distributed generation*, maka dibuatlah sebuah skema sistem eksisting yang sederhana. Sistem eksisting tersebut kemudian akan dihubungkan dengan unit *distributed generation*.

Pada koordinasi proteksi gangguan arus lebih dari sistem eksisting, dibuatlah 3 skema untuk simulasi. Skema-skema sistem tersebut digunakan dengan mempertimbangkan jumlah rele pengaman dan jumlah *distributed generation* yang akan dihubungkan dengan sistem eksisting. Berikut adalah 3 skema yang digunakan :

1. Koordinasi pengaman dari Gen-1 sampai dengan Lump4, skema ini merupakan skema sistem eksisting yang kemudian akan dikombinasikan dengan *distributed generation*.
2. Koordinasi pengaman dari Gen-1 sampai dengan Lump4, dengan penambahan sebuah generator Gen-2 dengan kapasitas 2 MW sebagai sebuah unit *distributed generation*.
3. Koordinasi pengaman dari Gen-1 sampai dengan Lump4, dengan tambahan dua buah generator sebagai unit *distributed generation*. Kedua generator tersebut yaitu, Gen-2 dengan kapasitas 2 MW dan WTG1 dengan kapasitas 1 MW.

### 4.3 Analisis Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Analisis gangguan hubung singkat perlu dilakukan untuk mengetahui arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum pada setiap bus yang ada. Arus gangguan hubung singkat maksimum terjadi saat gangguan hubung singkat 3 fasa. Sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa (dua fasa). Nilai arus gangguan hubung singkat tersebut digunakan untuk menghitung *setting* rele pengaman arus lebih (*overcurrent relay*).

#### 4.3.1 Analisis Gangguan Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum merupakan arus hubung singkat antar fasa atau dua fasa pada saat 30 *cycle* atau saat *steady state*. Arus hubung singkat minimum terjadi pada saat pembangkitan minimum. Arus hubung singkat minimum digunakan sebagai patokan dalam menentukan *pickup* kurva waktu instan. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum rele akan bekerja dengan instan sesuai *time delay* yang telah ditentukan sehingga arus gangguan dapat dinetralisir dengan cepat. Arus hubung singkat minimum pada sistem pemodelan ini terjadi pada saat :

1. Pembangkitan minimum pada skema 1 terjadi saat Gen-1 beroperasi.
2. Pembangkitan minimum pada skema 2 terjadi saat Gen-1 dan Gen-2 beroperasi.
3. Pembangkitan minimum pada skema 3 terjadi saat Gen-1 dan Gen-2 beroperasi.

Dari hasil simulasi gangguan hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* dengan menggunakan *software* ETAP didapatkan nilai hubung singkat sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Data arus hubung singkat minimum

Skema	ID Bus	Arus hubung singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i>
Skema 1	Bus1	1,16 kA
	Bus2	1,15 kA
	Bus3	1,14 kA
	Bus4	1,13 kA
Skema 2	Bus1	1,62 kA
	Bus2	1,60 kA
	Bus3	1,58 kA
	Bus4	1,54 kA
Skema 3	Bus1	1,62 kA
	Bus2	1,60 kA
	Bus3	1,58 kA
	Bus4	1,54 kA

### 4.3.2 Analisis Gangguan Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum merupakan arus hubung singkat 3 fasa pada saat 30 *cycle* atau saat *steady state* dan terjadi pada saat pembangkitan maksimum. Terdapat tiga macam arus hubung singkat maksimum, yaitu pada saat 0,5 *cycle* , 4 *cycle*, dan 30 *cycle*. Arus hubung singkat maksimum 30 *cycle* digunakan untuk *setting* rele arus lebih dengan *time delay* lebih dari sama dengan 0,6 detik. Arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk *setting* rele arus lebih dengan *time delay* kurang dari 0,6 detik. Sedangkan arus hubung singkat maksimum 0,5 *cycle* digunakan untuk *setting* rele diferensial. Arus hubung singkat maksimum pada sistem pemodelan ini terjadi pada saat :

1. Pembangkitan maksimum pada skema 1 terjadi saat Gen-1 beroperasi.
2. Pembangkitan maksimum pada skema 2 terjadi saat Gen-1 dan Gen-2 beroperasi.
3. Pembangkitan maksimum pada skema 3 terjadi saat Gen-1, Gen-2, dan WTG1 beroperasi

Data hasil simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa 4 *cycle* ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Data arus hubung singkat maksimum

Skema	ID Bus	Arus hubung singkat 3 fasa 4 cycle
Skema 1	Bus1	2,23 kA
	Bus2	2,21 kA
	Bus3	2,19 kA
	Bus4	2,14 kA
Skema 2	Bus1	2,88 kA
	Bus2	2,84 kA
	Bus3	2,80 kA
	Bus4	2,71 kA
Skema 3	Bus1	3,15 kA
	Bus2	3,11 kA
	Bus3	3,06 kA
	Bus4	2,95 kA

#### 4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

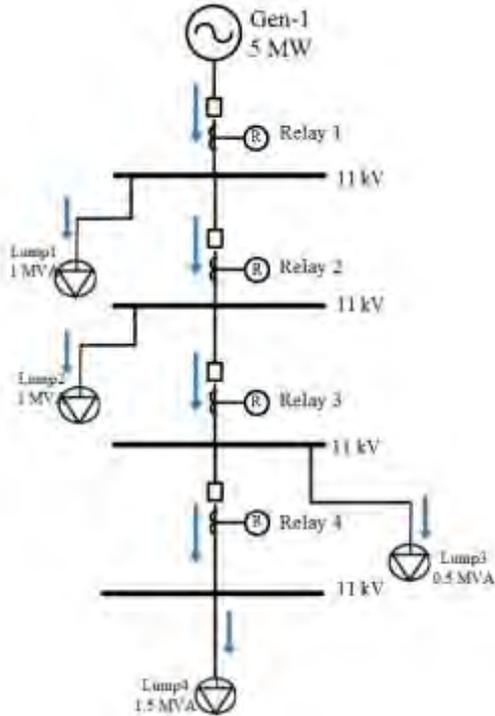
Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa dilakukan *setting* arus dan waktu pada masing-masing rele agar rele yang satu dengan rele yang lain bekerja sesuai yang diharapkan. Koordinasi ini bertujuan untuk mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Dari hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi *overlap* antara rele yang satu dengan rele yang lain.

Pada saat melakukan *setting* rele, parameter yang harus kita hitung antara lain : *pick-up lowset*, *time dial*, *pick-up highset* dan *time delay*. Sesuai standard IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 sekon. Pada tugas akhir ini dipilih *grading time* 0,2 s. Setelah menghitung parameter-parameter tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan plot *time-current curve* pada software ETAP.

##### 4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Skema 1

Koordinasi rele skema 1 meliputi koordinasi dari *relay1*, *relay2*, *relay3*, dan *relay4*. Dimulai dari Gen-1 kemudian *bus* 1 sampai dengan

bus 4. Koordinasi rele skema 1 merupakan koordinasi rele sistem eksisting. Gambar rangkaian skema 1 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Sistem kelistrikan skema 1

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele pada skema 1.

**Relay 4**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ551
<i>FLA</i>	: 78,729 A
<i>Iscmax 4 cycle bus 4</i>	: 2,14 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

### Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA \\1,05 \times 78,729 < I_{set} < 1,4 \times 78,729 \\82,666 < I_{set} < 110,221 \\ \frac{82,666}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{110,221}{100} \text{ In} \\0,826 \text{ In} < \text{Tap} < 1,102 \text{ In}\end{aligned}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,835 In

Iset = 83,5 A

### Time dial

Waktu operasi = 0,2 s

$$\begin{aligned}t &= \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right) \\t &= \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right) \\0,2 &= \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2140}{83,5} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right) \\TD &= 0,096\end{aligned}$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

time dial = 0,096 s

### Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. Bus 4} \\1,6 \times 78,729 < I_{set} < 0,8 \times 1120 \\125,970 < I_{set} < 896 \\ \frac{125,970}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{896}{100} \text{ In} \\1,259 \text{ In} < \text{Tap} < 8,96 \text{ In}\end{aligned}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 1,35 In  
 Iset = 135 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

**Relay 3**

*Manufacturer* : SIEMENS  
*Model* : 7SJ551  
 FLA : 104,973 A  
 Is<sub>cmax</sub> 4 cycle bus 3 : 2,19 kA  
*Curve Type* : *Inverse*  
*CT Ratio* : 150/1

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 104,973 < \text{Iset} < 1,4 \times 104,973$$

$$110,221 < \text{Iset} < 146,962$$

$$\frac{110,221}{150} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{146,962}{150} \text{ In}$$

$$0,735 \text{ In} < \text{Tap} < 0,979 \text{ In}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,746 In

Iset = 111,9 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2190}{111,9} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,175$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,175 s

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. Bus 3}$$

$$1,6 \times 104,973 < Iset < 0,8 \times 1140$$

$$167,956 < Iset < 912$$

$$\frac{167,956}{150} In < Tap < \frac{912}{150} In$$

$$1,12 In < Tap < 6,08 In$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 1,85 In

Iset = 277,5 A

### Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

### Relay 2

*Manufacturer* : SIEMENS

*Model* : 7SJ51

FLA : 157,459 A

Iscmax 4 cycle bus 2 : 2,21 kA

*Curve Type* : *Inverse*

*CT Ratio* : 200/1

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 157,459 < Iset < 1,4 \times 157,459$$

$$165,332 < Iset < 220,443$$

$$\frac{165,332}{200} In < Tap < \frac{220,443}{200} In$$

$$0,826 In < Tap < 1,102 In$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,855 In  
 Iset = 171 A

Time dial

Waktu operasi = 0,6 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right) \right)$$

$$0,6 = \left( \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2210}{171} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right) \right)$$

$$TD = 0,225$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

time dial = 0,225 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. Bus 2}$$

$$1,6 \times 157,459 < Iset < 0,8 \times 1150$$

$$251,935 < Iset < 920$$

$$\frac{251,935}{200} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{920}{200} \text{ In}$$

$$1,26 \text{ In} < \text{Tap} < 4,60 \text{ In}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 2,15 In

Iset = 430 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,5 s

**Relay 1**

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ51

FLA : 308,744 A

Iscmax 4 cycle bus 1 : 2,23 kA  
 Curve Type : Inverse  
 CT Ratio : 450/1

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 308,744 < \text{Iset} < 1,4 \times 308,744$$

$$324,181 < \text{Iset} < 432,241$$

$$\frac{324,181}{450} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{432,241}{450} \text{ In}$$

$$0,720 \text{ In} < \text{Tap} < 0,960 \text{ In}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,735 In

Iset = 330,75 A

Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2230}{330,75} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,222$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

time dial = 0,222 s

Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 308,744 < \text{Iset} < 0,8 \times 1160$$

$$493,989 < I_{set} < 928$$

$$\frac{493,989}{450} I_n < Tap < \frac{928}{450} I_n$$

$$1,097 I_n < Tap < 2,062 I_n$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

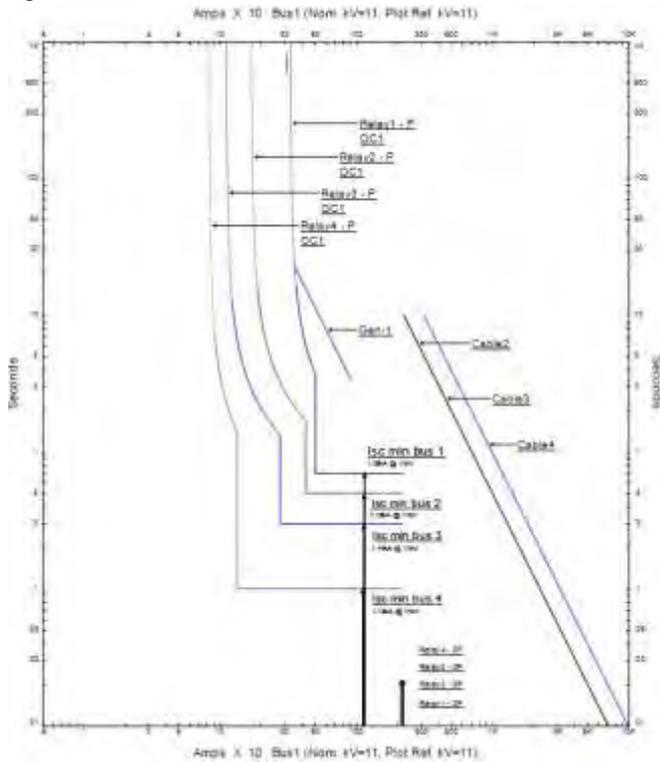
Dipilih tap = 1,12 In

Iset = 504 A

### Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,7 s

Dari perhitungan rele pada skema 1 didapatkan *Time-Current Curve* sebagai berikut:

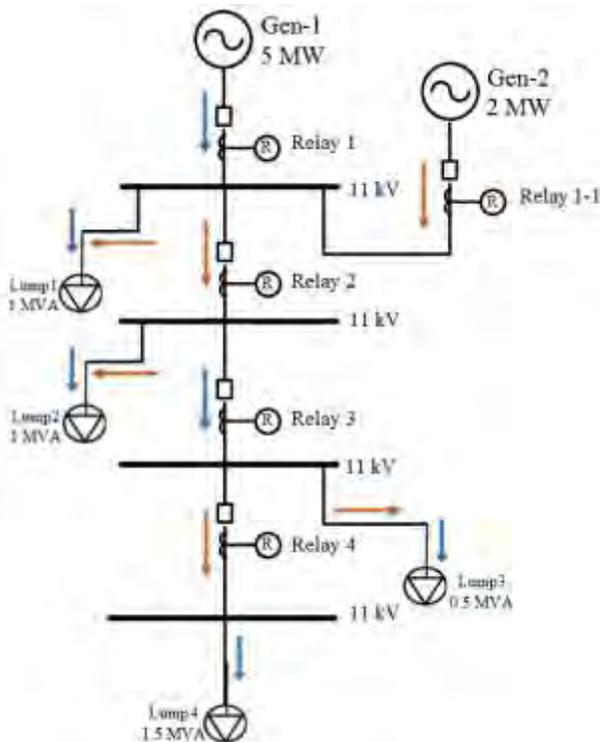


**Gambar 4.2** *Time-current curve* Skema 1

Semua rele pada skema 1 ini mempunyai time delay kurang dari 1 sekon. Dengan nilai time delay tersebut, sistem dapat dikatakan aman karena apabila terjadi arus hubung singkat maka peralatan masih bisa menahan gangguan tersebut karena time delay yang cukup singkat.

#### 4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Skema 2

Koordinasi rele pada skema 2 meliputi koordinasi dari *relay1*, *relay1-1*, *relay2*, *relay3*, dan *relay4*. Dimulai dari Gen-1 dan Gen-2 kemudian bus 1 sampai dengan bus 4. Koordinasi rele sistem eksisting harus mengalami *resetting* karena terdapat sebuah unit *distributed generation* yang terhubung yaitu Gen-2. Gambar rangkaian skema 2 dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Sistem kelistrikan skema 2

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele pada skema 2.

#### **Relay 4**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ551
<i>FLA</i>	: 78,729 A
<i>Iscmax 4 cycle bus 4</i>	: 2,71 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

#### **Time Overcurrent Pickup**

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 78,729 < Iset < 1,4 \times 78,729$$

$$82,666 < Iset < 110,221$$

$$\frac{82,666}{100} In < Tap < \frac{110,221}{100} In$$

$$0,826 In < Tap < 1,102 In$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,855 In

Iset = 85,5 A

#### **Time dial**

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,2 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2710}{85,5} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,102$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,102 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min. Bus 4}$$

$$1,6 \times 78,729 < \text{Iset} < 0,8 \times 1540$$

$$125,970 < \text{Iset} < 1232$$

$$\frac{125,970}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1232}{100} \text{ In}$$

$$1,259 \text{ In} < \text{Tap} < 12,32 \text{ In}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 1,55 In

Iset = 155 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

**Relay 3**

*Manufacturer* : SIEMENS

*Model* : 7SJ551

FLA : 104,973 A

Iscmax 4 cycle bus 3 : 2,8 kA

*Curve Type* : *Inverse*

*CT Ratio* : 150/1

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 104,973 < \text{Iset} < 1,4 \times 104,973$$

$$110,221 < \text{Iset} < 146,962$$

$$\frac{110,221}{150} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{146,962}{150} \text{ In}$$

$$0,735 \text{ In} < \text{Tap} < 0,979 \text{ In}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,785 In

Iset = 117,5 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2800}{117,5} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,187$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,187 s

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. Bus 3}$$

$$1,6 \times 104,973 < I_{set} < 0,8 \times 1580$$

$$167,956 < I_{set} < 1264$$

$$\frac{167,956}{150} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1264}{150} \text{ In}$$

$$1,12 \text{ In} < \text{Tap} < 8,427 \text{ In}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 1,95 In

Iset = 292,5 A

### Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

### **Relay 2**

*Manufacturer* : SIEMENS

*Model* : 7SJ551

FLA : 157,459 A

Iscmax 4 cycle bus 2 : 2,84 kA

*Curve Type* : *Inverse*

*CT Ratio* : 200/1

### Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA \\1,05 \times 157,459 < I_{set} < 1,4 \times 157,459 \\165,332 < I_{set} < 220,443 \\ \frac{165,332}{200} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{220,443}{200} \text{ In} \\0,826 \text{ In} < \text{Tap} < 1,102 \text{ In}\end{aligned}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,925 In

Iset = 185 A

### Time dial

Waktu operasi = 0,7 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right) * TD \right)$$

$$0,7 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \frac{2840}{185} \right)^{0,02} - 1} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,280$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

time dial = 0,280 s

### Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. Bus 2} \\1,6 \times 157,459 < I_{set} < 0,8 \times 1600 \\251,935 < I_{set} < 1280 \\ \frac{251,935}{200} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1280}{200} \text{ In} \\1,26 \text{ In} < \text{Tap} < 6,40 \text{ In}\end{aligned}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 2,25 In

Iset = 450 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,5 s

**Relay 1-1**

*Manufacturer* : SIEMENS  
*Model* : 7SJ51  
*FLA* : 123,497 A  
*Iscmax 4 cycle bus 2* : 2,88 kA  
*Curve Type* : *Inverse*  
*CT Ratio* : 150/1

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 123,497 < \text{Iset} < 1,4 \times 123,497$$

$$129,67 < \text{Iset} < 172,9$$

$$\frac{129,67}{150} \text{In} < \text{Tap} < \frac{172,9}{150} \text{In}$$

$$0,865 \text{In} < \text{Tap} < 1,153 \text{In}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,975 In

Iset = 146,25 A

Time dial

Waktu operasi = 0,7 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,7 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2880}{146,25} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,307$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,307 s

Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 123,497 < \text{Iset} < 0,8 \times 1620$$

$$197,6 < \text{Iset} < 1296$$

$$\frac{197,6}{150} \text{In} < \text{Tap} < \frac{1296}{150} \text{In}$$

$$1,317 \text{In} < \text{Tap} < 8,640 \text{In}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 2,25 In

Iset = 337,5 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,5 s

**Relay 1**

*Manufacturer* : SIEMENS

*Model* : 7SJ551

*FLA* : 308,744 A

*Iscmax 4 cycle bus 2* : 2,88 kA

*Curve Type* : *Inverse*

*CT Ratio* : 450/1

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 308,744 < \text{Iset} < 1,4 \times 308,744$$

$$324,181 < \text{Iset} < 432,241$$

$$\frac{324,181}{450} \text{In} < \text{Tap} < \frac{432,241}{450} \text{In}$$

$$0,720 \text{In} < \text{Tap} < 0,960 \text{In}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,775 In

Iset = 348,75 A

Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2880}{348,75} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,246$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,8 s

#### Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 308,744 < I_{set} < 0,8 \times 1620$$

$$493,989 < I_{set} < 1296$$

$$\frac{493,989}{450} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1296}{450} \text{ In}$$

$$1,098 \text{ In} < \text{Tap} < 2,880 \text{ In}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

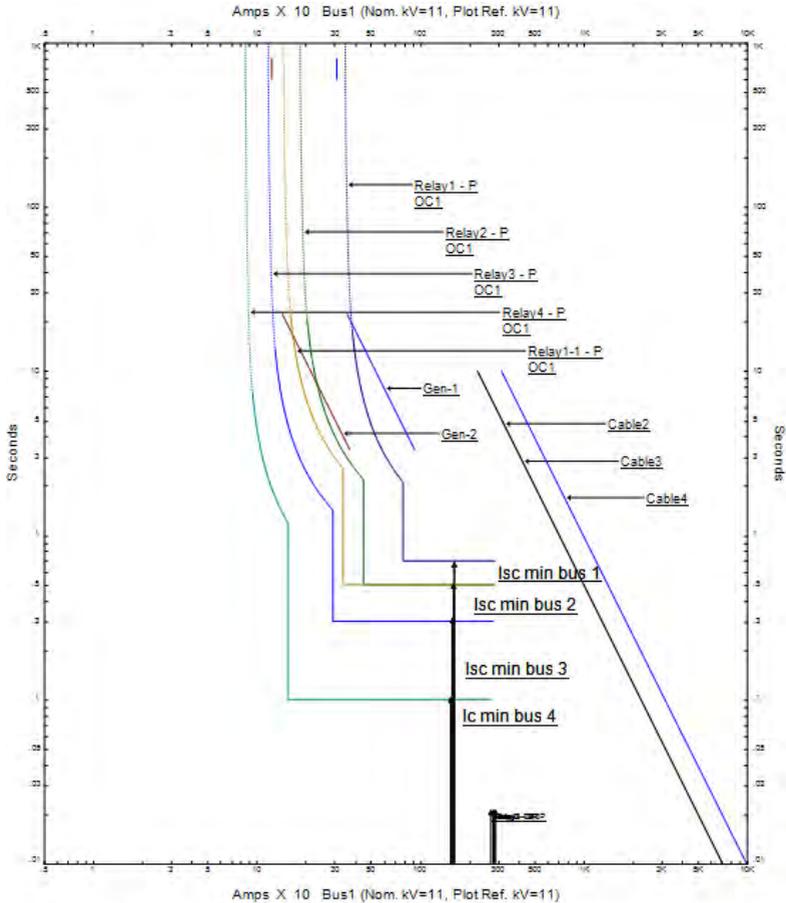
Dipilih tap = 1,75 In

Iset = 787,5 A

#### Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,7 s

Dari perhitungan rele pada skema 2 didapatkan *Time-Current Curve* sebagai berikut:



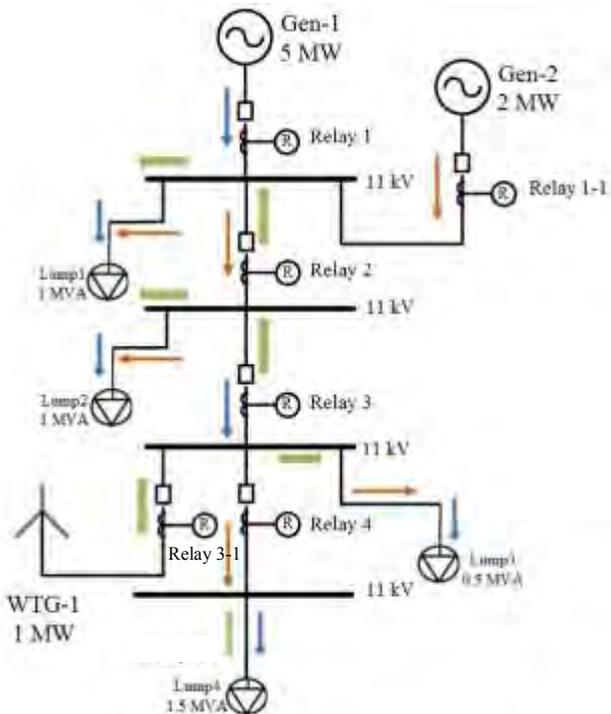
**Gambar 4.4** Time-current curve skema 2

Pada Skema 2 terdapat tambahan 1 generator yang terhubung dengan sistem eksisting yaitu Gen-2, sehingga nilai arus kontribusi hubung

singkat minimum dan maksimum bertambah dan mengubah *setting* rele pada sistem eksisting.

#### 4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Skema 3

Koordinasi rele pada skema 3 meliputi koordinasi dari *relay1*, *relay1-1*, *relay2*, *relay3*, *relay3-1* dan *relay4*. Dimulai dari Gen-1 dan Gen-2 kemudian bus 1 sampai dengan bus 4. Koordinasi rele sistem eksisting harus mengalami *resetting* karena terdapat dua buah unit *distributed generation* yang terhubung yaitu Gen-2 dan WTG1. Pada skema ini WTG1 tidak memberi arus kontribusi saat terjadi gangguan 3 fasa maupun antar fasa 30 cycle. Gambar rangkaian skema 3 dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Sistem kelistrikan skema 3

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele pada skema 3.

#### **Relay 4**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ551
<i>FLA</i>	: 78,729 A
<i>Iscmax 4 cycle bus 4</i>	: 2,95 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

#### **Time Overcurrent Pickup**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 78,729 &< I_{set} < 1,4 \times 78,729 \\
 82,666 &< I_{set} < 110,221 \\
 \frac{82,666}{100} \text{ In} &< \text{Tap} < \frac{110,221}{100} \text{ In} \\
 0,826 \text{ In} &< \text{Tap} < 1,102 \text{ In}
 \end{aligned}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,875 In

Iset = 87,5 A

#### **Time dial**

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,2 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2950}{87,5} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,104$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

$time\ dial = 0,104\ s$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 1,6 \times FLA &< Iset < 0,8 \times I_{sc}\ Min.\ Bus\ 4 \\ 1,6 \times 78,729 &< Iset < 0,8 \times 1540 \\ 125,970 &< Iset < 1232 \\ \frac{125,970}{100} In &< Tap < \frac{1232}{100} In \\ 1,260 In &< Tap < 12,32 In \end{aligned}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 1,75 In

Iset = 262,5 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

**Relay 3**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ551
FLA	: 104,973 A
Iscmax 4 cycle bus 3	: 3,06 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 150/1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &< Iset < 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 104,973 &< Iset < 1,4 \times 104,973 \\ 110,221 &< Iset < 146,962 \\ \frac{110,221}{150} In &< Tap < \frac{146,962}{150} In \\ 0,735 In &< Tap < 0,979 In \end{aligned}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,825 In

Iset = 123,75 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{3060}{123,75} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,189$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,189 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times Isc \text{ Min. Bus 3}$$

$$1,6 \times 104,973 < Iset < 0,8 \times 1580$$

$$167,956 < Iset < 1264$$

$$\frac{167,956}{150} In < Tap < \frac{1264}{150} In$$

$$1,12 In < Tap < 8,427 In$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 2,25 In

Iset = 337,5 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

**Relay 3-1**

*Manufacturer* : SIEMENS

*Model* : 7SJ551

*FLA* : 61,75 A

*Iscmax 4 cycle bus 2* : 3,06 kA

*Curve Type* : *Inverse*

*CT Ratio* : 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 61,75 < Iset < 1,4 \times 61,75$$

$$64,84 < I_{set} < 86,45$$

$$\frac{64,84}{100} I_n < Tap < \frac{86,45}{100} I_n$$

$$0,648 I_n < Tap < 0,864 I_n$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,675 In

Iset = 67,5 A

### Time dial

Waktu operasi = 0,3 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,3 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{3060}{67,5} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,169$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

time dial = 0,169 s

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. Bus 3}$$

$$1,6 \times 61,75 < I_{set} < 0,8 \times 1580$$

$$98,8 < I_{set} < 1264$$

$$\frac{98,8}{100} I_n < Tap < \frac{1264}{100} I_n$$

$$0,98 I_n < Tap < 12,64 I_n$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 2,25 In

Iset = 337,5 A

### Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

### **Relay 2**

*Manufacturer* : SIEMENS  
*Model* : 7SJ551  
*FLA* : 157,459 A  
*Iscmax 4 cycle bus 2* : 3,11 kA  
*Curve Type* : *Inverse*  
*CT Ratio* : 200/1

### Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 157,459 &< I_{set} < 1,4 \times 157,459 \\ 165,332 &< I_{set} < 220,443 \\ \frac{165,332}{200} I_n &< \text{Tap} < \frac{220,443}{200} I_n \\ 0,826 I_n &< \text{Tap} < 1,102 I_n \end{aligned}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,955  $I_n$

$I_{set} = 191 \text{ A}$

### Time dial

Waktu operasi = 0,7 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,7 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{3110}{191} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,287$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,287 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. Bus 2}$$

$$1,6 \times 157,459 < I_{set} < 0,8 \times 1600$$

$$251,935 < I_{set} < 1280$$

$$\frac{251,935}{200} I_n < \text{Tap} < \frac{1280}{200} I_n$$

$$1,26 I_n < \text{Tap} < 6,40 I_n$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 2,55 In

Iset = 510 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,5 s

**Relay 1-1**

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ551

FLA : 123,497 A

Iscmax 4 cycle bus 2 : 3,15 kA

Curve Type : Inverse

CT Ratio : 150/1

Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 123,497 < I_{set} < 1,4 \times 123,497$$

$$129,67 < I_{set} < 172,9$$

$$\frac{129,67}{150} I_n < \text{Tap} < \frac{172,9}{150} I_n$$

$$0,865 I_n < \text{Tap} < 1,153 I_n$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,925 In

Iset = 138,75 A

Time dial

Waktu operasi = 0,7 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right) * TD \right)$$

$$0,7 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \frac{3150}{382,5} \right)^{0,02} - 1} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,215$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,215 s

#### Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 123,497 < I_{set} < 0,8 \times 1620$$

$$197,6 < I_{set} < 1296$$

$$\frac{197,6}{150} I_n < \text{Tap} < \frac{1296}{150} I_n$$

$$1,317 I_n < \text{Tap} < 8,640 I_n$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 2,55  $I_n$

$I_{set} = 382,5 \text{ A}$

#### Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,5 s

#### Relay 1

*Manufacturer* : SIEMENS

*Model* : 7SJ551

*FLA* : 308,744 A

*Iscmax 4 cycle bus 2* : 2,88 kA

*Curve Type* : *Inverse*

*CT Ratio* : 450/1

#### Time Overcurrent Pickup

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

$$1,05 \times 308,744 < I_{set} < 1,4 \times 308,744$$

$$324,181 < I_{set} < 432,241$$

$$\frac{324,181}{450} I_n < Tap < \frac{432,241}{450} I_n$$

$$0,720 I_n < Tap < 0,960 I_n$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,795 In

Iset = 357,75 A

### Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{3150}{357,75} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,254$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

time dial = 0,254 s

### Instantaneous Pickup

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

$$1,6 \times 308,744 < I_{set} < 0,8 \times 1620$$

$$493,989 < I_{set} < 1296$$

$$\frac{493,989}{450} I_n < Tap < \frac{1296}{450} I_n$$

$$1,10 I_n < Tap < 2,88 I_n$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

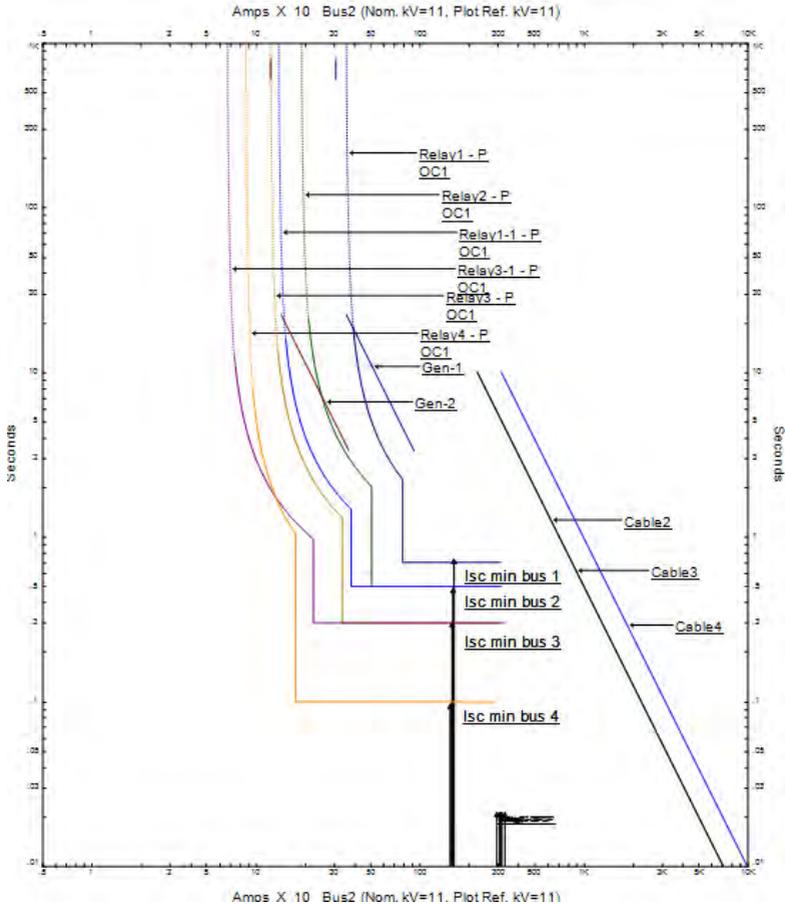
Dipilih tap = 1,75 In

Iset = 787,5 A

### Time delay

Dipilih  $Time\ delay = 0,7\ s$

Dari perhitungan rele pada skema 3 didapatkan *Time-Current Curve* sebagai berikut:



**Gambar 4.6** Time current curve skema 3

Pada skema 3 terdapat tambahan 2 generator pada sistem eksisting, yaitu Gen-2 dan WTG1. Dengan parameter yang telah ditentukan seharusnya dapat melokalisasi gangguan dengan cepat. Namun pada rele 4 dan rele 3-1 terjadi miskoordinasi untuk pengamanan. Meskipun dalam

menentukan parameter sudah sesuai dengan teori proteksi, penentuan *pick-up lowset* harus tepat sehingga kurva proteksi yang dihasilkan juga benar. Untuk itu pada skema 3 ini harus dilakukan *resetting* untuk memperoleh kurva proteksi yang benar.

#### **Resetting rele 4**

##### **Relay 4**

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ551
<i>FLA</i>	: 78,729 A
<i>Iscmax 4 cycle bus 4</i>	: 2,95 kA
<i>Curve Type</i>	: <i>Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

##### **Time Overcurrent Pickup**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 78,729 &< \text{Iset} < 1,4 \times 78,729 \\
 82,666 &< \text{Iset} < 110,221 \\
 \frac{82,666}{100} \text{In} &< \text{Tap} < \frac{110,221}{100} \text{In} \\
 0,826 \text{In} &< \text{Tap} < 1,102 \text{In}
 \end{aligned}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,833 In

Iset = 83,3 A

##### **Time dial**

Waktu operasi = 0,1 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,1 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{2950}{83,3} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,053$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

*time dial* = 0,104 s

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < Iset < 0,8 \times Isc \text{ Min. Bus 4}$$

$$1,6 \times 78,729 < Iset < 0,8 \times 1540$$

$$125,970 < Iset < 1232$$

$$\frac{125,970}{100} In < Tap < \frac{1232}{100} In$$

$$1,260 In < Tap < 12,32 In$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 1,75 In

Iset = 262,5 A

### Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

### **Resetting rele 3-1**

#### **Relay 3-1**

*Manufacturer* : SIEMENS

*Model* : 7SJ551

FLA : 61,75 A

Iscmax 4 cycle bus 2 : 3,06 kA

*Curve Type* : *Inverse*

*CT Ratio* : 100/1

### Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 61,75 < Iset < 1,4 \times 61,75$$

$$64,84 < Iset < 86,45$$

$$\frac{64,84}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{86,45}{100} \text{ In}$$

$$0,648 \text{ In} < \text{Tap} < 0,864 \text{ In}$$

(range : 0,05 sampai 1 A , dengan steps 0,001 A)

Dipilih tap = 0,855 In

Iset = 85,5 A

### Time dial

Waktu operasi = 0,3 s

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{((M^{0,02}) - 1)} \right) * TD \right)$$

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$0,3 = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \left( \frac{3060}{85,5} \right)^{0,02} - 1 \right)} \right) * TD \right)$$

$$TD = 0,159$$

(range 0,001 sampai 10 s, dengan step 0,001 s)

time dial = 0,159 s

### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min. Bus 3}$$

$$1,6 \times 61,75 < \text{Iset} < 0,8 \times 1580$$

$$98,8 < \text{Iset} < 1264$$

$$\frac{98,8}{100} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1264}{100} \text{ In}$$

$$0,98 \text{ In} < \text{Tap} < 12,64 \text{ In}$$

(range : 1 to 10 A, dengan step 0,01 A)

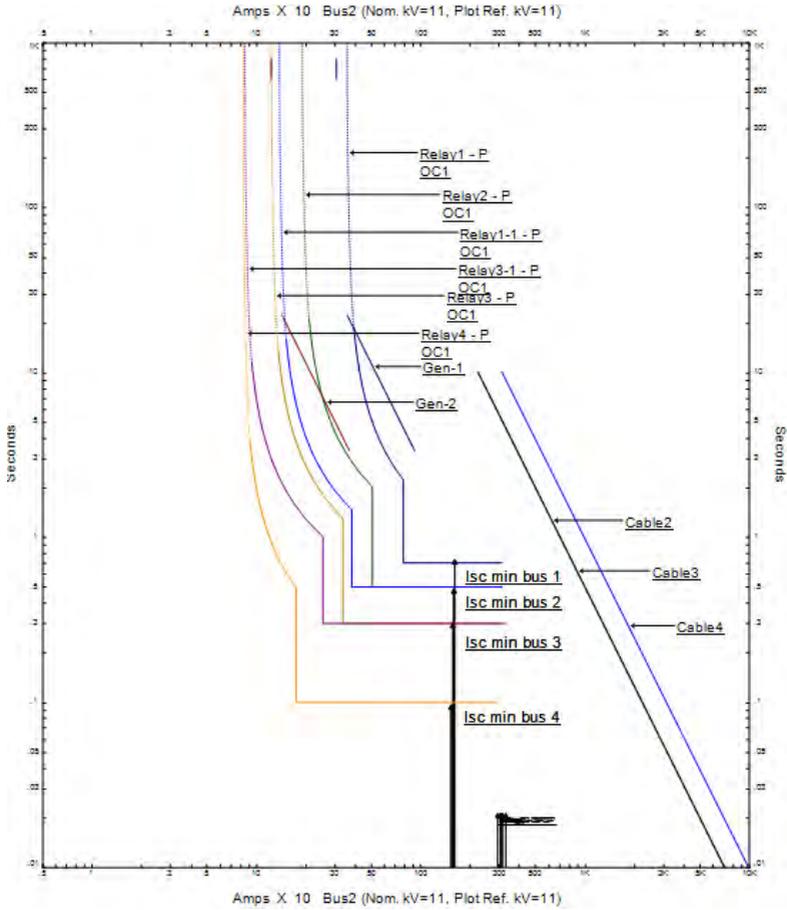
Dipilih tap = 2,55 In

Iset = 255 A

### Time Delay

Dipilih Time Delay = 0,3s

Setelah dilakukan *resetting*, didapat kurva proteksi yang benar sebagai berikut:



**Gambar 4.7** Time current curve skema 3 setelah *resetting*

Berikut adalah hasil perhitungan *setting* rele untuk skema 1,2, dan 3:

**Tabel 4.3** Data parameter untuk *setting* rele pada skema 1

Skema	Parameter	Relay 4	Relay 3	Relay 2	Relay 1
Skema 1	CT	100	150	200	450
	<i>Pickup Low set</i>	0,835In	0,746In	0,855In	0,735In
	TD	0,096	0,175	0,225	0,222
	<i>Pickup High set</i>	1,35 In	1,85 In	2,15 In	1,12 In
	<i>Time Delay</i>	0,1 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s

**Tabel 4.4** Data parameter untuk *setting* rele pada skema 2

Skema	Parameter	Relay 4	Relay 3	Relay 2	Relay 1	Relay 1-1
Skema 2	CT	100	150	200	450	150
	<i>Pickup Low set</i>	0,855In	0,785In	0,925In	0,775In	0,975In
	TD	0,102	0,187	0,280	0,246	0,307
	<i>Pickup High set</i>	1,55 In	1,95 In	2,25 In	1,75 In	2,25 In
	<i>Time Delay</i>	0,1 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s	0,5 s

**Tabel 4.5** Data parameter untuk *setting* rele pada skema 3

Skema	Parameter	Relay 4	Relay 3	Relay 3-1	Relay 2	Relay 1	Relay 1-1
Skema 3	CT	100	150	100	200	450	150
	<i>Pickup Low set</i>	0,875In	0,825In	0,675In	0,955In	0,795In	0,925In
	TD	0,104	0,189	0,169	0,287	0,254	0,215
	<i>Pickup High set</i>	1,75 In	2,25 In	2,25 In	2,55 In	1,75 In	2,55 In
	<i>Time Delay</i>	0,1 s	0,3 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s	0,5 s

**Tabel 4.6** Data parameter untuk *setting* rele pada skema 3 setelah *resetting*

Skema	Parameter	Relay 4	Relay 3	Relay 3-1	Relay 2	Relay 1	Relay 1-1
Skema 3	CT	100	150	100	200	450	150
	<i>Pickup Low set</i>	0,833In	0,825In	0,855In	0,955In	0,795In	0,925In
	TD	0,053	0,189	0,159	0,287	0,254	0,215
	<i>Pickup High set</i>	1,75 In	2,25 In	2,25 In	2,55 In	1,75 In	2,55 In
	<i>Time Delay</i>	0,1 s	0,3 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s	0,5 s

#### 4.5 Optimalisasi Rele Arus Lebih

Untuk proses optimalisasi dengan menggunakan metode *Artificial Intelligence* kita harus mengikuti algoritma yang ada, pada tugas akhir ini mengikuti alur *Firefly Algorithm*. Namun sebelum memasuki tahap algoritma, batasan-batasan untuk optimalisasi rele harus jelas dan akurat. Hal ini bertujuan agar hasil dari optimalisasi tidak melenceng secara teori dan dapat menghasilkan keluaran yang benar-benar optimal.

### 4.5.1 Batasan-Batasan Optimalisasi

Berikut ini adalah batasan-batasan yang penulis gunakan dalam proses optimalisasi rele arus lebih:

#### 1. Waktu Koordinasi (*Coordination Constraints*)

Rele-rele pada sistem harus dikoordinasikan menurut teori berikut ini:

$$t_{q,k} - t_{p,k} = STI \quad (4.1)$$

$t_{q,k}$  merupakan waktu operasi rele primer atau utama saat terjadi gangguan pada bus k, sedangkan  $t_{p,k}$  adalah waktu operasi rele *backup* saat terjadi gangguan pada bus k. STI adalah *Selective Time Interval*. Rele *backup* bekerja setelah rele primer bekerja dengan selisih waktu koordinasi sebesar 0,2. Pada tugas akhir ini menggunakan STI sebesar 0,2.

#### 2. *Time Dial*

Selain waktu koordinasi yang dibatasi, *time dial* juga dibatasi sesuai parameter rele yang digunakan. Pada tugas akhir ini menggunakan rele dengan merk Siemens model 7SJ551. Maka *time dial* yang digunakan untuk batasan harus sesuai dengan pabrikan tersebut. Batasan *time dial* yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$TDS_{min} < TDS < TDS_{max} \quad (4.2)$$

Nilai  $TDS_{min}$  yang digunakan pada rele 7SJ551 adalah 0,1 sedangkan  $TDS_{max}$  yang digunakan mempunyai nilai 10.

#### 3. Karakteristik Rele

Karakteristik rele yang digunakan pada tugas akhir ini sama dengan karakteristik rele Siemens 7SJ551. Di antara bermacam-macam karakter kurva, penulis memilih karakteristik kurva *inverse*. Berikut adalah persamaan dari karakteristik kurva *inverse*:

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right) * TD \right) \quad (4.3)$$

$I_{scmax}$  dari persamaan di atas merupakan arus hubung singkat maksimum pada saat 4 *cycle*. Sedangkan  $I_{set}$  merupakan arus *pickup* pada rele.

#### 4.5.2 Algoritma Kunang-Kunang Optimalisasi Rele Arus Lebih

Setelah menentukan batasan-batasan untuk optimalisasi, berupa batasan interval waktu koordinasi, batasan nilai TDS, dan batasan terhadap karakteristik rele selanjutnya proses optimalisasi dilakukan dengan menggunakan *Firely Algorithm* untuk memperoleh output yang akurat. Saat proses optimalisasi, terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan. Berikut ini adalah tahapan-tahapan proses optimalisasi dengan menggunakan *Firefly Algorithm* dengan batasan yang sudah ditentukan:

##### 1. Tahap Pertama

Menentukan *objective function* untuk memperoleh kurva konvergensi dari proses optimalisasi. Berikut adalah *objective function* yang digunakan dalam tugas akhir ini:

$$z = \sum_{p=1}^m W_p \cdot t_{p,k} \quad (4.4)$$

$m$  merupakan jumlah total rele yang ada pada sistem,  $t_{p,k}$  merupakan waktu operasi rele primer untuk gangguan pada bus  $k$ . Sedangkan  $W_p$  merupakan bobot untuk rele primer. Bobot  $W_p$  pada tugas akhir ini diasumsikan 1.

##### 2. Tahap Kedua

Menentukan parameter-parameter algoritma, yaitu alfa, beta, gamma, jumlah populasi firefly, dan jumlah iterasi dengan rincian sebagai berikut:

$$\alpha = 0,001$$

$$\gamma = 0,1$$

$$jff = 15$$

$$\text{iterasi} = 50$$

##### 3. Tahap Ketiga

Menginisialisasi populasi *firefly* TDS dan *firefly* Iset dengan batasan yang telah ditentukan. Berikut persamaan untuk menginisialisasi TDS dan Iset:

$$x_m^v = x^v(\min) + (x^v(\max) - x^v(\min)) * rand \quad (4.5)$$

**4. Tahap Keempat**

Hitung Intensitas cahaya untuk setiap *firefly*. Berikut adalah persamaan untuk menghitung intensifitas cahaya dari setiap *firefly*:

$$I_m = \frac{1}{1+z} \quad (4.6)$$

**5. Tahap Kelima**

Menentukan nilai posisi *firefly* TDS dan *firefly* Iset.

**6. Tahap Keenam**

Atur *Attractive parameters* dengan cara menginisialisasi nilai  $\beta_0$ .

**7. Tahap Ketujuh**

Ubah-ubah nilai *attractiveness* melalui jarak  $r$ . Berikut persamaan untuk mengubah nilai *attractiveness* beta:

$$\beta = \frac{\beta_0}{1+\gamma r^2} \quad (4.7)$$

**8. Tahap Kedelapan**

Pindah *firefly*  $i$  ke arah  $j$  untuk setiap dimensi. Persamaan matematis dari perpindahan firefly adalah sebagai berikut:

$$x_i = x_i + \beta(x_j - x_i) + \alpha * rand \quad (4.8)$$

**9. Tahap Kesembilan**

Masukkan nilai TDS dan Iset ke dalam persamaan karakteristik kurva.

**10. Tahap Kesepuluh**

Gunakann persamaan waktu operasi rele dengan batasan yang sudah ditentukan dari karakteristik kurva untuk mendapatkan nilai waktu operasi.

$$t = \left( \left( \frac{0,14}{\left( \frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right) * TD \right) \quad (4.9)$$

Perhitungan waktu operasi didasarkan pada *objective function* sehingga hasil outputnya berupa jumlah waktu operasi paling minimum dari setiap rele.

**11. Tahap Kesebelas**

Evaluasi solusi baru dan perbarui intensitas cahaya.

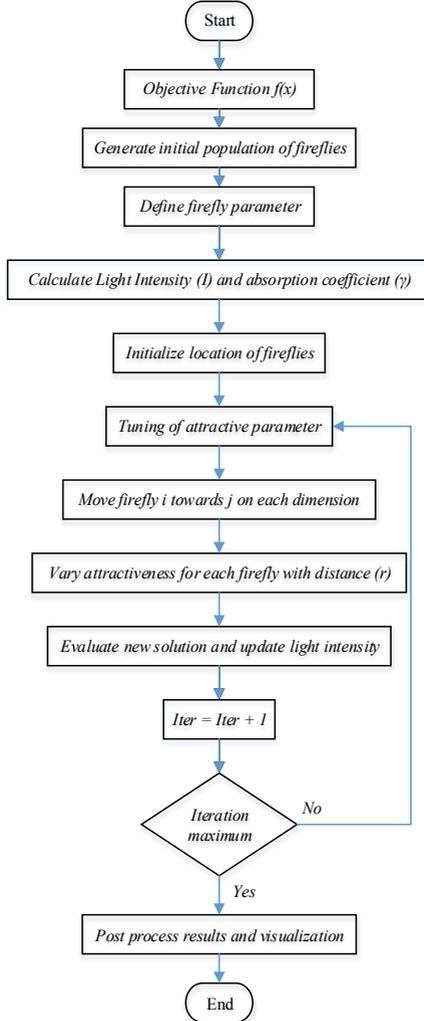
**12. Tahap Keduabelas**

Ulangi tahap 3 sampai dengan tahap 11 sesuai dengan iterasi yang telah ditentukan. Saat iterasi maksimum, bila syarat-syarat belum terpenuhi kembali ke tahap 6.

### 13. Tahap Ketigabelas

Apabila solusi sudah didapatkan, selanjutnya print kurva konvergensi dan solusi baru yang optimal.

Berikut ini adalah *flow chart* dari *firefly algorithm*:



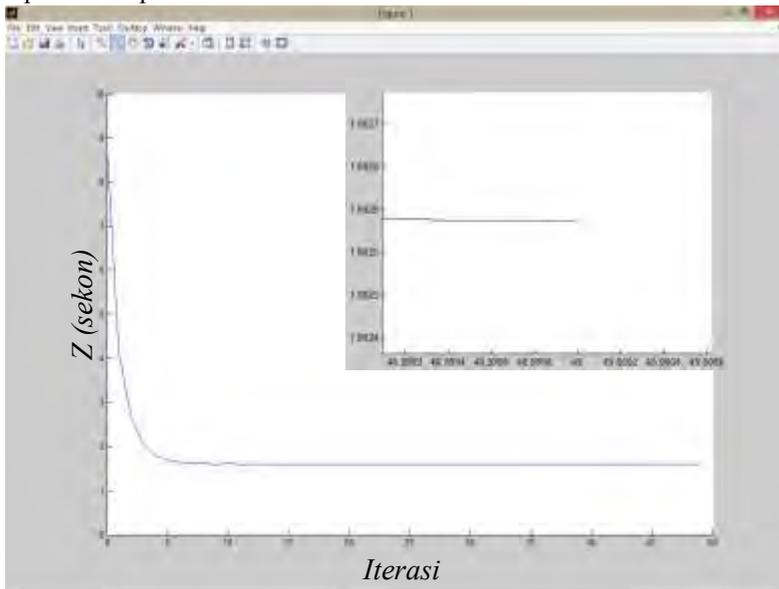
**Gambar 4.8** *Flow chart firefly algorithm*

#### 4.6 Hasil Simulasi Program

Setelah melalui iterasi maksimum dan syarat-syarat telah terpenuhi maka akan didapatkan hasil yang optimal menurut metode *Firefly Algorithm*. Dari *objective function* yang sudah ditentukan pada sub bab batasan-batasan optimalisasi, akan didapatkan kurva konvergensi masing- masing skema. Hasil dari *objective function* tersebut adalah jumlah total dari waktu operasi rele sejumlah banyaknya rele. Hasil optimalisasi Iset dan TDS juga telah didapatkan sesuai dengan batasan-batasan yang telah ditentukan. Dengan Iset dan TDS yang di optimalisasikan, maka parameter *pick-up lowset* dan *pick-up highset* juga teroptimalisasi.

##### 4.6.1 Hasil Optimalisasi Skema 1

Pada simulasi skema 1 didapat  $z$  yang bernilai mendekati 1,6 s. Berikut hasil simulasi pada skema 1 yang meliputi kurva konvergensi dan parameter-parameter rele.



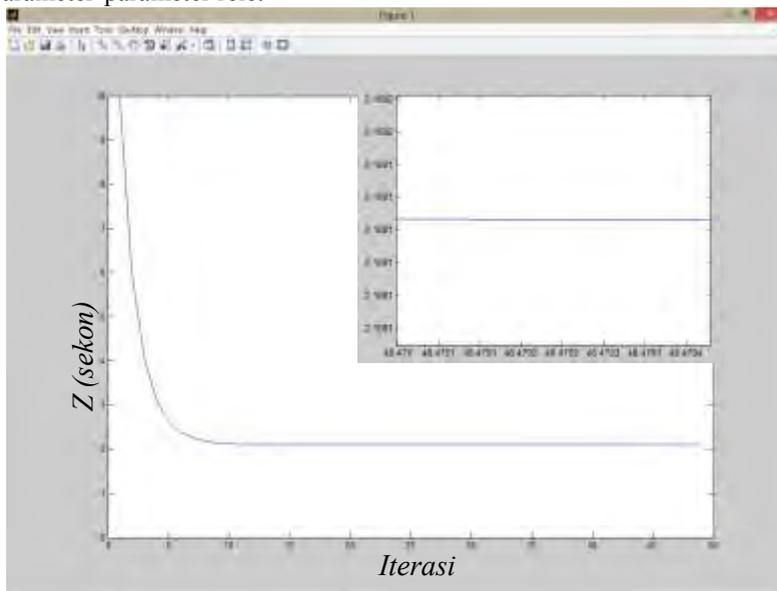
**Gambar 4.9** Diagram konvergensi dari *running program* skema 1

**Tabel 4.7** Data hasil optimalisasi parameter untuk *setting* rele pada skema 1

Skema	Parameter	Relay 4	Relay 3	Relay 2	Relay 1
Skema 1	CT	100	150	200	450
	<i>Pickup Low set</i>	0,827In	0,735In	0,827In	0,720In
	TD	0,049	0,133	0,191	0,197
	<i>Pickup High set</i>	3,36 In	3,42 In	3,42 In	1,74 In
	<i>Time Delay</i>	0,1 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s

#### 4.6.2 Hasil Optimalisasi Skema 2

Pada simulasi skema 2 didapat  $z$  yang bernilai mendekati 2,1 s. Berikut hasil simulasi pada skema 2 yang meliputi kurva konvergensi dan parameter-parameter rele.



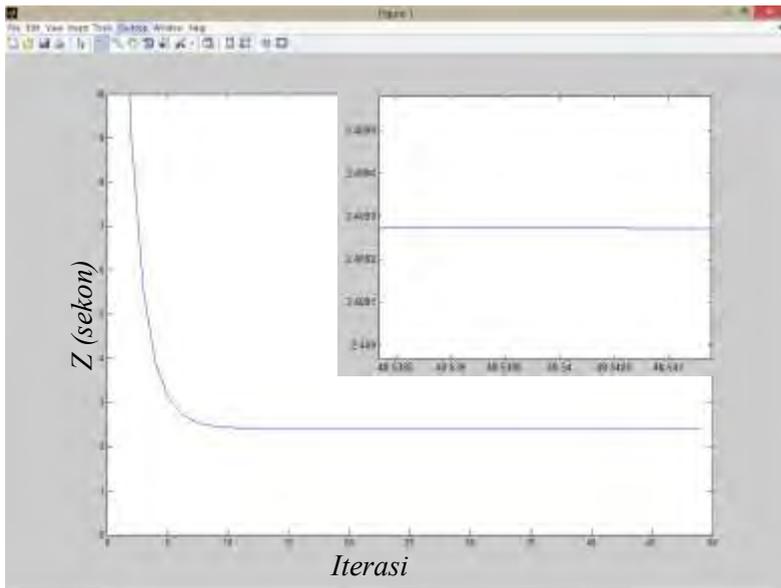
**Gambar 4.10** Diagram konvergensi dari *running program* skema 2

**Tabel 4.8** Data hasil optimalisasi parameter untuk *setting* rele pada skema 2

Skema	Parameter	Relay 4	Relay 3	Relay 2	Relay 1	Relay 1-1
Skema 2	CT	100	150	200	450	150
	<i>Pickup Low set</i>	0,827In	0,735In	0,827In	0,720In	0,865In
	TD	0,054	0,145	0,209	0,218	0,225
	<i>Pickup High set</i>	4,86 In	4,8 In	4,35 In	2,31 In	5,65 In
	<i>Time Delay</i>	0,1 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s	0,5 s

### 4.6.3 Hasil Optimalisasi Skema 3

Pada simulasi skema 3 didapat  $z$  yang bernilai mendekati 2,4 s. Berikut hasil simulasi pada skema 3 yang meliputi kurva konvergensi dan parameter-parameter rele.

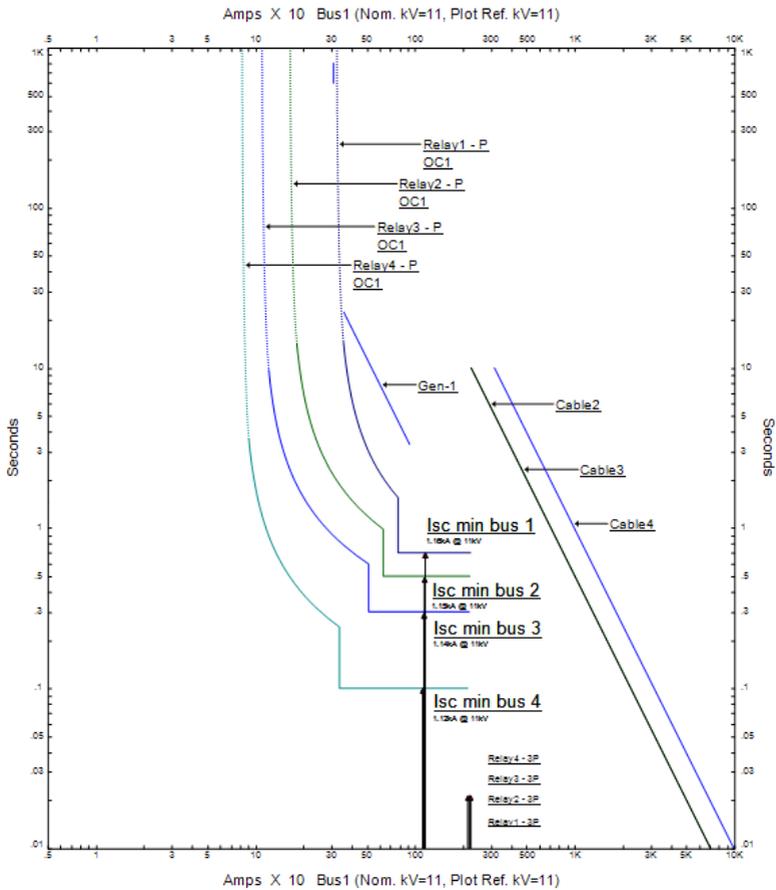


**Gambar 4.11** Diagram konvergensi dari *running program* skema 3

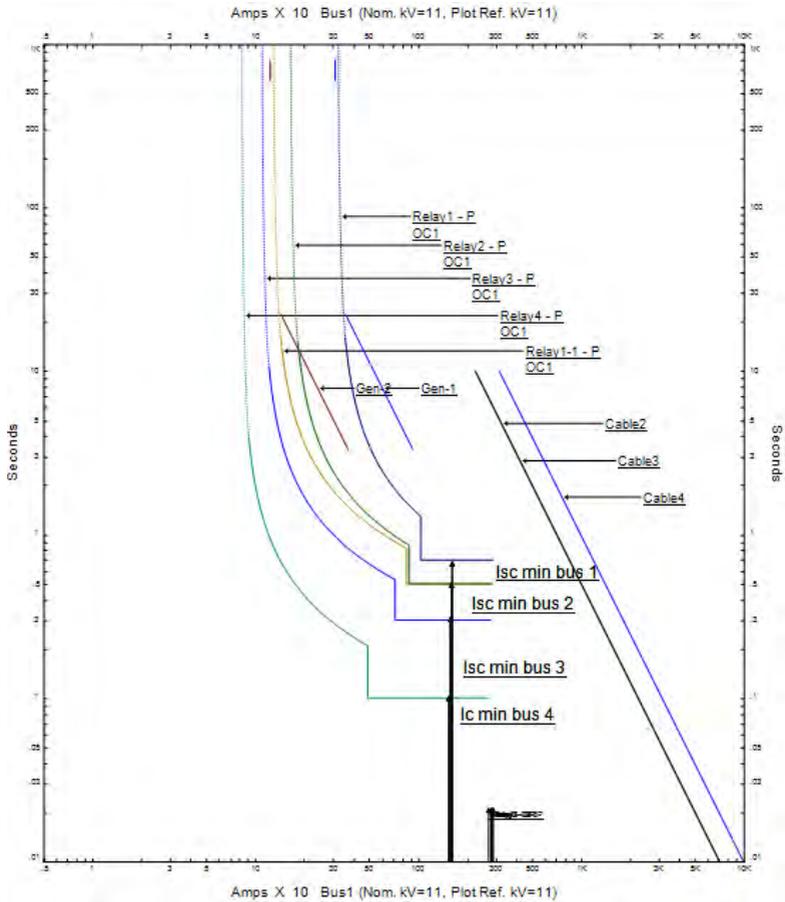
**Tabel 4.9** Data hasil optimalisasi parameter untuk *setting* rele pada skema 3

Skema	Parameter	Relay 4	Relay 3	Relay 3-1	Relay 2	Relay 1	Relay 1-1
Skema 3	CT	100	150	100	200	450	150
	<i>Pickup Low set</i>	0,827In	0,735In	0,816In	0,827In	0,720In	0,865In
	TD	0,055	0,149	0,163	0,216	0,226	0,232
	<i>Pickup High set</i>	4,86In	4,8 In	4,8 In	4,35 In	2,31 In	5,65 In
	<i>Time Delay</i>	0,1 s	0,3 s	0,3 s	0,5 s	0,7 s	0,5 s

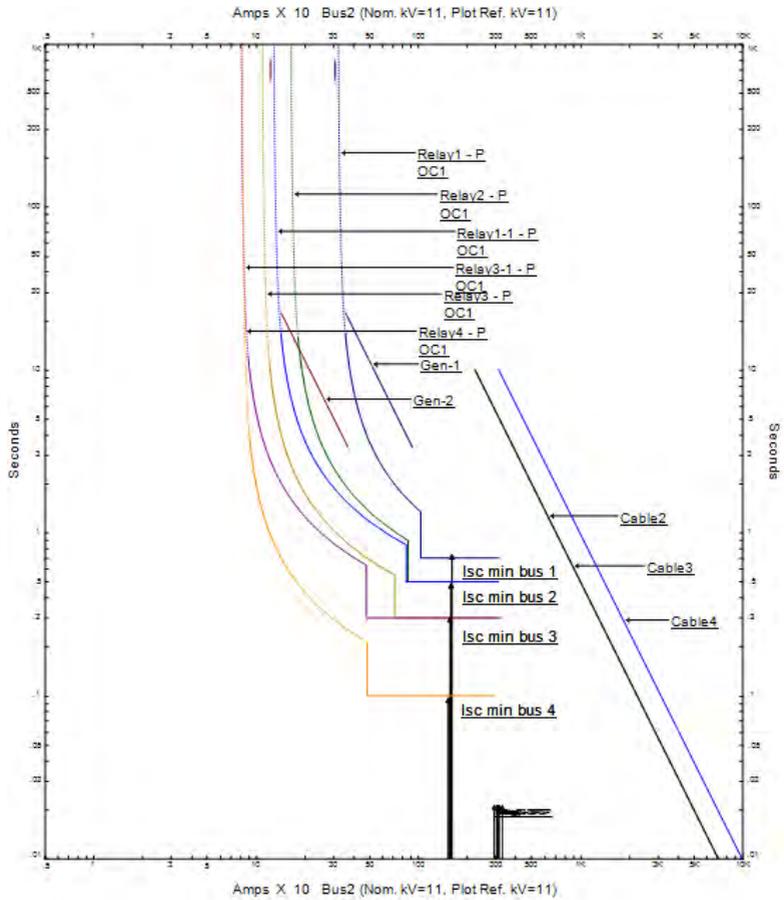
Data hasil optimalisasi parameter masing-masing skema yang didapat dari tabel di atas, kemudian dimasukkan ke dalam *software* ETAP dan akan didapat kurva proteksi sebagai berikut.



**Gambar 4.12** Time current curve skema 1 hasil optimalisasi



**Gambar 4.13** Time current curve skema 2 hasil optimalisasi



**Gambar 4.14** Time current curve skema 3 hasil optimalisasi

Perbedaan yang mendasar pada *setting* rele manual dengan menggunakan metode *artificial intelligence* adalah pada praktis dan tepatnya *setting* rele. Pada *setting* rele manual di atas, terkadang tidak bisa dilakukan sekali saja, karena kemungkinan *pick-up lowset* yang kita pilih dari *range* yang ada tidak selalu tepat sehingga nantinya pada saat *input* data di *software* ETAP hasil kurva proteksi yang didapat tidak akan sesuai dengan teori proteksi. Padahal nilai *pick-up lowset* akan berpengaruh juga pada nilai TDS yang didapat. Hal yang demikianlah yang menyebabkan kurva proteksi yang didapat tidak selalu benar. Hal ini terjadi pada rele 3-1 dan rele 4 di atas. Dari kurva terlihat bahwa telah terjadi miskordinasi antara rele 3-1 dan rele 4, sehingga perlu dilakukan *resetting* pada kedua rele tersebut. *Resetting* rele terkadang tidak bisa dilakukan hanya dengan sekali saja, terkadang *resetting* rele membutuhkan waktu yang lebih lama.

Bila menggunakan metode *artificial intelligence* maka *setting* rele hanya perlu dilakukan sekali saja dan sangat praktis. Hal ini sangat memudahkan dalam *setting* rele. Selain memudahkan dalam *setting* rele, hasil dari program optimalisasi juga sangat akurat. Namun dalam metode ini juga beresiko terjadi kesalahan apabila saat penentuan batasan-batasan optimalisasi salah dan tidak sesuai dengan teori. Maka dari itu pada saat menentukan batasan-batasan optimalisasi harus tepat dan benar secara teori. Untuk menghindari *resetting* rele yang membutuhkan banyak waktu, maka diperlukan metode *artificial intelligence* untuk menghemat waktu dan memperoleh hasil akurat dalam *setting* rele.

Selain itu, pada masa sekarang ini telah banyak digunakan rele digital yang dapat menyimpan berbagai macam kemungkinan kondisi sistem kelistrikan. Sehingga saat terjadi perubahan kondisi sistem, rele akan secara otomatis memilih *settingan* rele untuk melindusngi sistem dari gangguan. Hal ini juga akan memudahkan dalam penerapan proteksi adaptif. Pada tugas akhir ini, menggunakan sistem kelistrikan eksisting yang sudah dimodelkan yaitu sistem kelistrikan skema 1. Lalu sistem eksisting tersebut akan mendapat tambahan unit *distributed generation*. Pada skema 2 mendapat tambahan satu unit generator yaitu Gen-2. Sedangkan pada skema 3 mendapat tambahan 2 buah untit generator, yaitu Gen-2 dan WTG1. Karena adanya perubahan kondisi sistem, diperlukan sistem proteksi adaptif, dan hal tersebut dimungkinkan dengan menggunakan metode *artificial intelligence*. Melalui metode *artificial intelligence*, program dapat diunggah ke dalam rele sehingga rele akan bekerja sesuai dengan algoritma yang ada pada program tersebut. Berikut adalah tabel perbandingan antara waktu *trip* pada masing-masing rele.

**Tabel 4.10** Perbandingan waktu *trip* pada masing-masing rele

Skema	Rele	Arus (Iset)	Waktu Invers (Manual)	Waktu Invers ( <i>Firefly Algorithm</i> )	Waktu Instan
Skema 1	4	336	0,47	0,24	0,1
	3	513	0,77	0,59	0,3
	2	632	1,19	0,96	0,5
	1	783	1,79	1,51	0,7
Skema 2	4	486	0,40	0,22	0,1
	3	720	0,72	0,54	0,3
	2	870	1,19	0,87	0,5
	3-1	847,5	1,21	0,95	0,5
	1	1039,5	1,61	1,28	0,7
Skema 3	4	486	0,21	0,20	0,1
	3	720	0,71	0,54	0,3
	3-1	480	0,65	0,63	0,3
	2	870	1,28	0,91	0,5
	1-1	847,5	0,85	0,83	0,5
	1	1039,5	1,65	1,35	0,7

Pada tabel di atas menunjukkan bahwa waktu invers dengan metode *firefly algorithm* memiliki nilai yang lebih kecil atau lebih singkat dibandingkan dengan waktu invers pada perhitungan secara manual. Hal tersebut disebabkan karena penentuan parameter Iset dan *time dial* menggunakan optimalisasi sehingga hasil yang didapat optimal. Dengan demikian setting rele dengan menggunakan metode *firefly algorithm* memenuhi parameter sensitivitas dan kecepatan rele yaitu, rele dapat mendeteksi gangguan sekecil mungkin dengan waktu yang singkat. Sedangkan waktu instan rele memiliki *grading time* 0,2 detik untuk melindungi dari gangguan arus hubung singkat. Hal ini memenuhi kriteria selektivitas rele. Dengan kondisi tersebut setting rele dengan menggunakan metode *firefly algorithm* dapat dikatakan optimal karena memenuhi parameter optimal rele yaitu, sensitivitas, kecepatan, dan selektivitas. Meskipun pada waktu invers perhitungan manual didapat waktu yang lebih lambat dibanding waktu invers dengan menggunakan *firefly algorithm*, hasil perhitungan secara manual tidak bisa dikatakan salah, hasil perhitungan pasti mendapatkan *output* yang benar dan akurat.

Apabila hasil perhitungan secara manual salah, berarti kesalahan terjadi karena kesalahan teknisi yang menghitungnya.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil *setting* koordinasi rele pengamanan dengan optimalisasi menggunakan *firefly algorithm* pada pemodelan sistem listrik yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada saat *setting* rele skema 1 secara manual masih terdapat kesalahan pada *time current-curve* ketika pertama kali dilakukan, yaitu terjadinya miskoordinasi pada rele 3-1 dan rele 4 dalam skema 3. Pada skema 3 saat pertama kali melakukan *setting*, didapatkan nilai *pick-up lowset* sebesar 0,875 In dan TDS sebesar 0,104 untuk rele 4 dan nilai *pick-up lowset* sebesar 0,833 In dan TDS sebesar 0,053 setelah rele 4 mengalami *resetting*. Sedangkan pada rele 3-1 didapatkan nilai *pick-up lowset* sebesar 0,675 In dan TDS sebesar 0,169 dan didapatkan nilai *pick-up lowset* sebesar 0,855 In dan TDS sebesar 0,159 setelah rele 3-1 mengalami *resetting*. Hal ini membuktikan bahwa *setting* manual tidak selalu bisa dilakukan hanya sekali saja.
2. Dengan program optimalisasi, *setting* rele menjadi lebih mudah karena parameter-parameter dihitung secara otomatis melalui komputer. Parameter yang dihasilkan dari proses optimalisasi lebih cepat dan akurat. Pada rele 4 skema 3 didapatkan nilai *pick-up lowset* sebesar 0,827 In dan TDS sebesar 0,055 dan pada rele 3-1 didapatkan nilai *pick-up lowset* sebesar 0,816 In dan TDS sebesar 0,164. Angka tersebut saat dimasukkan pada *software* ETAP menghasilkan kurva koordinasi yang baik dan benar dibanding dengan saat pertama melakukan *setting* manual. Melalui program optimalisasi, *setting* rele bisa dilakukan sekali saja tanpa *resetting* ulang.
3. Saat melakukan optimalisasi melalui program pada matlab, harus memperhatikan parameter-parameter rele yang akan dioptimalkan karena setiap pabrikan memiliki parameter rele yang berbeda-beda.
4. Hasil optimalisasi program tidak dapat diimplementasikan ke dalam semua rele, karena setiap pabrikan mempunyai parameter-parameter yang berbeda.
5. Optimalisasi tersebut dapat di implementasikan ke dalam rele yang sebenarnya. Hal itu dimungkinkan karena pada saat optimalisasi rele arus lebih parameter-parameter yang diinputkan sesuai dengan karakteristik rele yang sebenarnya. Dalam tugas akhir ini menggunakan rele arus lebih dengan merk Siemens model 7SJ551.

6. Melalui program optimalisasi tersebut, rele dapat bekerja secara adaptif sebab komputer dapat menyimpan data konfigurasi sistem yang telah ditentukan. Sehingga saat sistem mengalami perubahan konfigurasi, rele akan otomatis memilih *setting* yang sesuai dengan konfigurasi sistem.

## 5.2 Penelitian Selanjutnya

Setelah melakukan analisis, perhitungan parameter rele dan hasil simulasi yang telah dilakukan maka penulis menyarankan hal-hal berikut:

1. Menggunakan suatu plant sistem tenaga listrik yang lebih *real* sehingga program optimalisasi kerja rele tersebut dapat di implementasikan dan berguna untuk masyarakat luas.
2. Menganalisis perubahan parameter pada program optimalisasi untuk mengetahui pengaruh yang terjadi bila parameter program diubah, apakah *output* yang dihasilkan lebih baik atau sebaliknya.
3. Optimalisasi tidak terbatas pada *overcurrent relay* saja, tetapi dapat dikembangkan dan digunakan untuk optimalisasi *relay* yang lain yang banyak digunakan oleh industri. Misalnya optimalisasi untuk *directional relay*, *ground fault relay* dan sebagainya.
4. Optimalisasi baiknya mengacu pada rele yang umum digunakan oleh masyarakat sehingga hasil implementasi dapat dirasakan oleh masyarakat.

## Daftar Pustaka

- [1] IEEE Std 242-2001™, “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [2] Lazar, Irwin. “Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants”, McGraw-Hill, Inc, 1980
- [3] Anderson, P.M, “Power System Protection”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998.
- [4] Saadat, H., “Power System Analysis”, McGraw-Hill, Inc, 1999
- [5] Ir R.Wahyudi. "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Penangsang, Ontoseno. “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2”, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [7] IEEE Std C37.112-1996, “IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1996.
- [8] X. S. Yang, “Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms”, Luniver Press, 2008.
- [9] X. S. Yang, “Engineering Optimization: An Intraduction with Metaheuristic Application”. Wiley & Sons, New Jersey, 2010.

*---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---*

## BIOGRAFI PENULIS



Yoga Dewangga, lahir di Kediri pada tanggal 20 Oktober 1992. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Misbakul Ulum (Alm.) dan Efi Kisworini. Penulis mulai memasuki pendidikan sekolah dasar pada tahun 1999 di SDN Kampung Dalem III Kota Kediri. Pada tahun 2005 penulis melanjutkan sekolah di SMPN 1 Kediri. Tahun 2008 penulis melanjutkan studi di SMAN 1 Kediri. Selama sekolah penulis telah aktif di ekstra kurikuler futsal dan terpilih sebagai ketua ekstra kurikuler pecinta alam di SMA. Pada tahun 2011 penulis mulai memasuki jenjang pendidikan tinggi. Penulis memilih studi di Jurusan Teknik Elektro, tepatnya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah di ITS, penulis juga aktif di beberapa organisasi, diantaranya sebagai staf HRD UKM Robotika ITS, staf Kewirusahaan BEM FTI-ITS, dan menjadi Kepala Biro Pengembangan Usaha BEM FTI-ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email : [dewanggayog@gmail.com](mailto:dewanggayog@gmail.com)

*---Halaman Ini Sengaja Dikosongkan---*