



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE TIME OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE *ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN MEMPERTIMBANGKAN INTEGRASI BARU DENGAN PLN**

Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad  
NRP 07111540000140

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dr. Ir. Soedibyو, M.MT.

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





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE TIME*  
*OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE *ADAPTIVE*  
*MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN  
MEMPERTIMBANGKAN INTEGRASI BARU DENGAN PLN**

Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad  
NRP 07111540000140

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dr. Ir. Soedibyoy, M.MT.

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





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

***TIME DIAL SETTING CALCULATION OF INVERSE TIME  
OVERCURRENT RELAY WITH ADAPTIVE MODIFIED  
FIREFLY ALGORITHM METHOD ON PT. PERTAMINA  
RU V BALIKPAPAN ELECTRICAL SYSTEM CONSIDERING  
NEW INTEGRATION WITH PLN***

Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad  
NRP 07111540000140

Advisor

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Dr. Ir. Soedibyoy, M.MT.

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



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Perhitungan *Time Dial Setting Inverse Time Overcurrent Relay* dengan Metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Mempertimbangkan Integrasi Baru dengan PLN**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, Juli 2019



Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad

07111540000140

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE*  
*TIME OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE  
*ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA  
SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V  
BALIKPAPAN MEMPERTIMBANGKAN  
INTEGRASI BARU DENGAN PLN**

**TUGAS AKHIR**

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

NIP. 196603181990101001

NIP. 195512071980031004



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE* *TIME OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE *ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN MEMPERTIMBANGKAN INTEGRASI BARU DENGAN PLN**

Nama : Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad  
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Soediby, M.MT.

## **ABSTRAK**

PT. Pertamina RU V Balikpapan akan diintegrasikan sumber listrik dengan PT. PLN. Maka akan terjadi perubahan pola operasi generator pada sistem sehingga perlu dilakukan analisis sistem proteksi ulang. Sistem proteksi bertujuan untuk untuk mengisolasi gangguan secara cepat, selektif, dan koordinatif sehingga kerusakan pada sistem dapat diminimalisir dan kontinuitas tenaga listrik dapat terjaga dengan baik. Hal penting yang harus diperhatikan dari koordinasi proteksi khususnya pada rele arus lebih adalah pengisian parameter TDS (*Time Dial Setting*). TDS mengatur waktu operasi rele dalam mengamankan suatu gangguan. Umumnya nilai TDS ditentukan menggunakan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai TDS minimum. Namun untuk mendapatkan nilai TDS yang tepat dalam pengkoordinasian dengan rele lain masih menggunakan metode *trial and error*. Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang cara perhitungan *time dial setting inverse time overcurrent relay* dengan metode *adaptive modified firefly algorithm* pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan mempertimbangkan integrasi dengan PLN untuk mendapatkan nilai TDS yang minimum. Hasil dari tugas akhir ini adalah mendapatkan nilai TDS minimum pada beberapa kasus jenis tipikal seperti saluran terpanjang, pertimbangan waktu operasi LVCB, dan saluran yang pendek agar dapat teteap terkoordinasi dengan baik dengan saluran panjang yang terpasang pada bus yang sama.

**Kata kunci:** koordinasi proteksi, *time dial setting*, *adaptive modified firefly algorithm*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**TIME DIAL SETTING CALCULATION OF INVERSE  
TIME OVERCURRENT RELAY WITH ADAPTIVE  
MODIFIED FIREFLY ALGORITHM METHOD AT PT.  
PERTAMINA RU V BALIKPAPAN ELECTRICAL  
SYSTEM CONSIDERING NEW INTEGRATION  
WITH PLN**

Name : Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad  
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Advisor II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

**ABSTRACT**

*PT. Pertamina RU V Balikpapan will be integrated with electricity sources with PT. PLN. Then there will be a change in the generator operating pattern on the system so that the protection system needs to be analyzed again. The protection system aims to isolate the interference quickly, selectively, and coordinatively, so that the damage to the system can be minimized and the continuity of electric power can be maintained properly. The important thing that must be considered from protection coordination, especially in overcurrent relays is filling the TDS (Time Dial Setting) parameter. TDS regulates the relay operation time in securing a disturbance. Generally, the TDS value is determined using a manual calculation to obtain a minimum TDS value. However, to get the right TDS value in coordinating with other relays it still uses trial and error methods. This final project will discuss how to calculate the time dial overcurrent relay inverse setting with the adaptive modified firefly algorithm method in the electrical system at PT. Pertamina RU V Balikpapan considering new integration with PLN to obtain a minimum TDS value. The result of this final project is to obtain a minimum TDS value in some cases typical types such as the longest channel, consideration operation time of LVCB, and short channels so that it can be well coordinated with long channels installed on the same bus.*

**Keywords:** *coordination protection, time dial setting, adaptive modified firefly algorithm*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* Robbil 'Alamin, Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, karunia, serta hidayahnya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penulisan Tugas

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas diberikannya kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua tercinta, Ibu Sri Oetami Rahajoe Soedarjati dan Bapak Hadi Wijono yang selalu memberikan doa serta dukungan. Semoga Allah SWT selalu melindungi mereka.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan Bapak Dr. Ir. Soediby, M.MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro ITS.
5. Seluruh rekan Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) ITS dari program sarjana, magister, dan doktor atas segala dukungan, bantuan, kebersamaan, dan kerjasamanya. Bram, Nafis, Raka, Mbodo, Adi, Ghiffari, Kiki, April, Atha, Rafin, Aliv, Risqiya, Victor, Nazila, Mbak Talitha, dan Mas Raki
6. Teman-teman seperjuangan angkatan e55 atas dukungan dan kerja samanya selama masa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir ini
7. Perkumpulan Singh Syariah, Panamaga 2015, Palasmaga '35, SolITS 2015, dan teman-teman lain yang tidak bias disebutkan satu per satu yang telah mendorong saya dari segi moral, perilaku, dan pelajaran yang hebat.

8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat kesalahan pada penulisan Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penelitian yang akan datang.

Surabaya, Juli 2019

Penulis



# DAFTAR ISI

## JUDUL

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

## LEMBAR PENGESAHAN

**ABSTRAK** ..... i

**ABSTRACT** ..... iii

**KATA PENGANTAR**..... v

**DAFTAR ISI**..... vii

**DAFTAR GAMBAR**..... ix

**DAFTAR TABEL** ..... xi

**BAB 1 PENDAHULUAN** ..... 1

1.1 Latar Belakang Masalah ..... 1

1.2 Perumusan Masalah ..... 2

1.3 Batasan Masalah ..... 2

1.4 Tujuan Tugas Akhir ..... 3

1.5 Metodologi ..... 3

1.6 Sistematika Penulisan ..... 4

1.7 Relevansi ..... 5

## **BAB 2 SISTEM PROTEKSI DAN ADAPTIVE MODIFIED**

***FIREFLY ALGORITHM*** ..... 7

2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik ..... 7

2.1.1 Gangguan Beban Lebih ..... 7

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat ..... 7

2.2 Koordinasi Proteksi ..... 10

2.2.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse* ..... 10

2.2.2 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu *Inverse* ..... 11

2.2.3 *Clearing Time Interval (CTI)* ..... 12

2.3 *Firefly Algorithm* ..... 12

2.4 *Adaptive Modified Firefly Algorithm* ..... 13

## **BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V**

**BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITHMAMA** ..... 15

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah Integrasi Dengan PLN ..... 15

3.1.1 Data Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pertamina RU V Balikpapan ..... 16

3.2.2 Data Transformator Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan ..... 17

3.2 Perancangan <i>Firefly Algorithm</i> .....	18
<b>BAB 4 ANALISIS HASIL PERHITUNGAN .....</b>	<b>23</b>
4.1 Penentuan Tipikal Skema Proteksi Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah Terintegrasi Dengan PLN .....	23
4.1.1 Tipikal 1 .....	23
4.1.2 Tipikal 2 .....	23
4.1.3 Tipikal 3 .....	23
4.1.4 Tipikal 4 .....	24
4.2 Data Pasangan Rele dan Arus Hubung Singkat.....	25
4.3 Perhitungan <i>Time Dial Setting</i> (TDS) dengan Manual.....	27
4.3.1 Perhitungan TDS Tipikal 1 .....	27
4.3.2 Perhitungan TDS Tipikal 2 .....	35
4.3.3 Perhitungan TDS Tipikal 3 .....	40
4.3.4 Perhitungan TDS Tipikal 4 .....	47
4.4 Perhitungan <i>Time Dial Setting</i> (TDS) dengan AMFA .....	50
4.4.1 Perhitungan TDS Tipikal 1 .....	51
4.4.2 Perhitungan TDS Tipikal 2 .....	67
4.4.3 Perhitungan TDS Tipikal 3 .....	81
4.4.4 Perhitungan TDS Tipikal 4 .....	93
4.5 Perbandingan Hasil Menggunakan AMFA dan Manual.....	101
4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan Tiap Kasus .....	103
4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan TDS dan Simulasi ETAP .....	104
4.8 Perbandingan Menggunakan Metode FA, MFA, dan AMFA ...	106
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>109</b>
5.1 Kesimpulan.....	109
5.2 Saran.....	109
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>111</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>113</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Pemodelan Hubung Singkat Tiga Fasa .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Pemodelan Hubung Singkat Dua Fasa.....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Pemodelan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.....	9
<b>Gambar 2. 4</b> Kurva Rele Waktu <i>Inverse</i> .....	10
<b>Gambar 3. 1</b> Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah di Integrasi dengan PLN .....	15
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Flowchart</i> Algorithma <i>Firefly</i> .....	20
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Flowchart</i> Algorithma <i>Firefly</i> (lanjutan) .....	21
<b>Gambar 4. 1</b> Skema Koordinasi Tipikal 1 dan 2.....	24
<b>Gambar 4. 2</b> Skema Koordinasi Tipikal 3 dan 4.....	25
<b>Gambar 4. 3</b> Parameter <i>Input</i> Tipikal 1 ke Program.....	52
<b>Gambar 4. 4</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 1.....	53
<b>Gambar 4. 5</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 2.....	53
<b>Gambar 4. 6</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 3.....	54
<b>Gambar 4. 7</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 4.....	54
<b>Gambar 4. 8</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 5.....	55
<b>Gambar 4. 9</b> Pergerakan TDS Pada Rele 1.....	58
<b>Gambar 4. 10</b> Pergerakan TDS Pada Rele 2.....	58
<b>Gambar 4. 11</b> Pergerakan TDS Pada Rele 3.....	59
<b>Gambar 4. 12</b> Pergerakan TDS Pada Rele 4.....	59
<b>Gambar 4. 13</b> Pergerakan TDS Pada Rele 5.....	60
<b>Gambar 4. 14</b> Perubahan Fungsi Objektif <i>Cost</i> .....	60
<b>Gambar 4. 15</b> Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 1 .....	61
<b>Gambar 4. 16</b> Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus T61D-P.....	61
<b>Gambar 4. 17</b> Hasil Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus.....	62
<b>Gambar 4. 18</b> Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus SS61MB .....	63
<b>Gambar 4. 19</b> Hasil Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus.....	64
<b>Gambar 4. 20</b> Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus D).....	65
<b>Gambar 4. 21</b> Hasil Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus.....	66
<b>Gambar 4. 22</b> Parameter <i>Input</i> Tipikal 2 ke Program.....	67
<b>Gambar 4. 23</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 1.....	68
<b>Gambar 4. 24</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 2.....	69
<b>Gambar 4. 25</b> Persebaran Awal TDS Pada Rele 3.....	69
<b>Gambar 4. 26</b> Pergerakan TDS Pada Rele 1.....	72
<b>Gambar 4. 27</b> Pergerakan TDS Pada Rele 2.....	73

<b>Gambar 4. 28</b>	Pergerakan TDS Pada Rele 3.....	73
<b>Gambar 4. 29</b>	Perubahan Fungsi Objektif <i>Cost</i> .....	74
<b>Gambar 4. 30</b>	Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 1.....	74
<b>Gambar 4. 31</b>	Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS69MB.....	75
<b>Gambar 4. 32</b>	Hasil Plot ETAP Tipikal ketika Gangguan di Bus .....	76
<b>Gambar 4. 33</b>	Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus Bus30.....	77
<b>Gambar 4. 34</b>	Hasil Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus .....	78
<b>Gambar 4. 35</b>	Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS61MB.....	79
<b>Gambar 4. 36</b>	Hasil Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus .....	80
<b>Gambar 4. 37</b>	Parameter <i>Input</i> Tipikal 3 ke Program .....	81
<b>Gambar 4. 38</b>	Persebaran Awal TDS Pada Rele 1 .....	82
<b>Gambar 4. 39</b>	Persebaran Awal TDS Pada Rele 2 .....	82
<b>Gambar 4. 40</b>	Persebaran Awal TDS Pada Rele 3 .....	83
<b>Gambar 4. 41</b>	Persebaran Awal TDS Pada Rele 4 .....	83
<b>Gambar 4. 42</b>	Pergerakan TDS Pada Rele 1.....	86
<b>Gambar 4. 43</b>	Pergerakan TDS Pada Rele 2.....	87
<b>Gambar 4. 44</b>	Pergerakan TDS Pada Rele 3.....	87
<b>Gambar 4. 45</b>	Pergerakan TDS Pada Rele 4.....	88
<b>Gambar 4. 46</b>	Perubahan Fungsi Objektif <i>Cost</i> .....	88
<b>Gambar 4. 47</b>	Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 3.....	89
<b>Gambar 4. 48</b>	Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus T64E-P.....	89
<b>Gambar 4. 49</b>	Hasil Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus .....	90
<b>Gambar 4. 50</b>	Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus SS64MA .....	91
<b>Gambar 4. 51</b>	Hasil Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus .....	92
<b>Gambar 4. 52</b>	Parameter <i>Input</i> Tipikal 4 ke Program .....	93
<b>Gambar 4. 53</b>	Persebaran Awal TDS Pada Rele 1 .....	94
<b>Gambar 4. 54</b>	Persebaran Awal TDS Pada Rele 2 .....	94
<b>Gambar 4. 55</b>	Pergerakan TDS Pada Rele 1.....	97
<b>Gambar 4. 56</b>	Pergerakan TDS Pada Rele 2.....	98
<b>Gambar 4. 57</b>	Perubahan Fungsi Objektif <i>Cost</i> .....	98
<b>Gambar 4. 58</b>	Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 4.....	99
<b>Gambar 4. 59</b>	Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus I26 .....	99
<b>Gambar 4. 60</b>	Hasil Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus ...	100
<b>Gambar 4. 61</b>	Konvergensi ketika Menggunakan FA .....	107
<b>Gambar 4. 62</b>	Konvergensi ketika menggunakan Metode MFA.....	107
<b>Gambar 4. 63</b>	Konvergensi ketika Menggunakan Metode AMFA.....	108

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Parameter koefisien Rele <i>Inverse</i> Standar IEC.....	11
<b>Tabel 2. 2</b> CTI Minimum Rele .....	<b>12</b>
<b>Tabel 3. 1</b> Kapasitas Pembangkitan Generator.....	16
<b>Tabel 3. 2</b> Pembebanan pada <i>Bus</i> Utama di PT. Pertamina RU V .....	16
<b>Tabel 3. 3</b> Daftar Transformator Tiga Belitan di PT. Pertamina RU V	17
<b>Tabel 3. 4</b> Daftar Transformator Dua Belitan di PT. Pertamina RU V.	17
<b>Tabel 3. 4</b> Daftar Transformator Dua Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan (lanjutan).....	18
<b>Tabel 4. 1</b> Data Rele Tipikal 1.....	26
<b>Tabel 4. 2</b> Data Rele Tipikal 2.....	26
<b>Tabel 4. 3</b> Data Rele Tipikal 3.....	26
<b>Tabel 4. 4</b> Data Rele Tipikal 4.....	27
<b>Tabel 4. 5</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 1 .....	52
<b>Tabel 4. 6</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 1 .....	55
<b>Tabel 4. 7</b> Perubahan Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 1 .....	57
<b>Tabel 4. 8</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 1 .....	66
<b>Tabel 4. 9</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 2 .....	68
<b>Tabel 4. 10</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 2 .....	70
<b>Tabel 4. 11</b> Perubahan Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 2 .....	72
<b>Tabel 4. 12</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 2 .....	80
<b>Tabel 4. 13</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 3 .....	81
<b>Tabel 4. 14</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 3 .....	84
<b>Tabel 4. 15</b> Perubahan Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 3 .....	86
<b>Tabel 4. 16</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 3 .....	92
<b>Tabel 4. 17</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 4 .....	93
<b>Tabel 4. 18</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 4 .....	95
<b>Tabel 4. 19</b> Perubahan Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 4 .....	97
<b>Tabel 4. 20</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 4 .....	101
<b>Tabel 4. 21</b> Kasus Dengan Pertimbangan LVCB .....	103
<b>Tabel 4. 22</b> Kasus Saluran Dengan Perbedaan Jumlah Rele .....	104
<b>Tabel 4. 23</b> Hasil Perhitungan TDS dan Simulasi ETAP .....	104

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Dengan berjalannya waktu sistem proteksi selalu berkembang, sehingga mampu memiliki kemampuan lebih baik dalam hal selektivitas dan operasi. Sistem proteksi saat ini membutuhkan analisa yang lebih untuk dapat mengisi parameter dengan baik dan tepat sehingga mendapatkan *setting* yang tepat [1].

Sistem proteksi bertujuan untuk mengisolasi gangguan secara cepat, selektif, dan koordinatif, sehingga kerusakan pada sistem dapat diminimalisir dan kontinuitas tenaga listrik dapat terjaga dengan baik [2]. Sehingga mengamankan sebuah gangguan dengan cepat dan tepat mampu meminimalisir hal-hal yang tidak diinginkan seperti, kerusakan yang lebih parah, mengganggu kontinuitas suplai, dan membahayakan manusia. Rele arus lebih atau *time overcurrent relay* digunakan untuk mengamankan gangguan yang berasal dari arus beban lebih peralatan. Dalam sistem proteksi tenaga listrik dibutuhkan *backup* rele dari rele utama jika gagal untuk mengamankan suatu sumber gangguan. Maka perlunya koordinasi antar rele agar tidak terjadi kegagalan proteksi. Dalam penentuan koordinasi antar rele harus diperhatikan bentuk kurva dari masing masing rele agar tidak terjadi kesalahan urutan operasi.

Pada rele arus lebih *invers time* (rele 51), parameter-parameter yang perlu diatur adalah arus *pickup*, jenis kurva, dan *time dial setting* (TDS). Ketika terjadi gangguan pada sistem, rele primer harus bekerja dengan cepat dalam mengisolasi gangguan. Apabila rele primer gagal mengisolasi gangguan, maka rele *backup* harus bekerja sesuai dengan *Coordination Time Interval* (CTI) yang telah ditentukan [3]. Namun pada praktiknya, saat operator melakukan plot kurva *Time Current Characteristic* (TCC) menggunakan *software*, CTI antar rele yang didapat sering kurang optimal. Hal ini menyebabkan operator harus melakukan uji coba *trial and error* sehingga didapatkan koordinasi antarkurva yang baik. Sehingga pengembangan perhitungan nilai TDS untuk rele arus lebih terus dilakukan guna menghasilkan metode yang lebih efektif dan cepat yaitu menggunakan *adaptive modified firefly algorithm* (AMFA).

PT Pertamina (Persero) dan PT PLN (Persero) bersinergi untuk penyediaan pasokan listrik untuk kilang minyak. Lewat kerja sama yang dituangkan dalam nota kesepahaman ini, PLN akan menyuplai listrik

untuk lima kilang minyak Pertamina yang salah satunya adalah PT. Pertamina RU V Balikpapan merupakan perusahaan milik negara yang bergerak di bidang energi meliputi minyak, gas serta energi baru dan terbarukan. Saat ini sumber kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan berasal dari beberapa pembangkit yang terdiri dari 11 pembangkit listrik yang 6 diantaranya adalah pembangkit utama dengan level tegangan 6.6 kV. Tiap pembangkit terhubung secara tidak langsung dengan suatu sistem *ring* dengan tegangan 33 kV. Setelah dilakukan integrasi sumber listrik PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan PT. PLN maka akan terjadi perubahan nilai hubung singkat dan pola operasi generator pada sistem sehingga perlu dilakukan analisis sistem proteksi ulang. Namun, ketika di lapangan untuk menganalisa sistem proteksi penentuan TDS pada PT. Pertamina RU V Balikpapan masih menggunakan perhitungan secara manual, oleh karena itu pada tugas akhir ini akan dibahas bagaimana cara menentukan TDS yang pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana perhitungan *time dial setting* untuk rele arus lebih *inverse time* menggunakan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan yang telah di integrasi dengan PLN.
2. Bagaimana analisa penerapan nilai *time dial setting* yang didapat pada koordinasi proteksi sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V setelah di integrasi dengan PT. PLN.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Rele yang di setting pada Tugas Akhir ini hanya *inverse time overcurrent relay* (rele 51), sedangkan rele *instantaneous* (rele 50) dinonaktifkan.
2. Perhitungan TDS dilakukan pada beberapa tipikal.
3. Bentuk kurva yang dipilih secara manual adalah IEC *Standard Inverse*, IEC *Very Inverse*, atau IEC *Extremely Inverse*.
4. Rele yang digunakan memiliki spesifikasi yang sama.
5. Gangguan diasumsikan hanya terjadi pada bus



6. Perhitungan TDS hanya dilakukan pada bagian radial sistem kelistrikan
7. Kurva *starting* motor, *damage curve* trafo, dan arus *inrush* trafo tidak dipertimbangkan
8. Arus hubung singkat yang digunakan untuk perhitungan hanyalah arus hubung singkat 3 fasa  $\frac{1}{2}$  cycle.

#### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dilakukannya Tugas Akhir ini antara lain:

1. Melakukan pemodelan, simulasi, dan analisis pada sistem proteksi PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah di integrasi dengan PT. PLN.
2. Mendapatkan *time dial setting*, *I pickup*, dan waktu operasi rele untuk rele *inverse* pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah di integrasi dengan PT. PLN menggunakan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*.
3. Mendapatkan koordinasi proteksi yang baik dari implementasi TDS hasil perhitungan menggunakan *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah di integrasi dengan PT. PLN.

#### 1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Pengumpulan Data  
Berupa data sekunder yang dibutuhkan dalam penyelesaian permasalahan pada tugas akhir ini yang sudah berupa software ETAP. Data yang di dapat antara lain data *single line diagram* PT. Pertamina RU V Balikpapan sebelum adanya integrasi dengan PLN, serta peralatan listrik yang meliputi data generator, motor, transformator, bus, saluran dan kabel, serta beban terpasang. Selain itu, data *setting* waktu rele pengaman eksisting juga di dapat.
2. Peralatan dan Analisis Sistem Kelistrikan  
Sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan sebelum adanya integrasi dengan PLN yang di analisa dan desain yang sudah ditentukan menggunakan *software* ETAP. Kemudian

dilakukan simulasi *Load Flow* untuk mengetahui analisa aliran daya untuk mengetahui pembebanan, nilai arus, dan tegangan bus sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan sebelum dan sesudah di integrasi dengan PT. PLN. Lalu simulasi *Short Circuit* yang diasumsikan terjadi hubung singkat pada sistem kelistrikan yang bertujuan untuk mengetahui nilai arus hubung singkat pada bus dan saluran. Gangguan yang digunakan pada sistem ini hanya berada pada bus antar fasa.

3. Perancangan Algoritma *Adaptive Modified Firefly*

Algoritma dibuat agar mampu menjawab tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini yaitu mendapatkan nilai *time dial setting* pada rele arus lebih *invers time* yang minimum. Melakukan analisa *time dial setting* dari hasil algoritma AMFA pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah di integrasi dengan PT. PLN.

4. Analisis hasil pengujian

Nilai TDS yang telah ditemukan kemudian dianalisis dengan membandingkan dengan *setting* kondisi eksisting. Apabila terjadi perbedaan nilai TDS yang terlalu besar, maka dikaji kembali *firefly algorithm* dan dilakukan modifikasi. Selain itu, perlu juga dianalisis kebutuhan waktu atau jumlah iterasi algoritma dan kemampuan konvergensi algoritma.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam laporan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab sebagai berikut :

BAB 1: PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika, dan relevansi serta manfaat

BAB 2: SISTEM PROTEKSI DAN *ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM*

Memuat tentang teori yang menjadi landasan tugas akhir ini serta penelitian terdahulu yang terkait

BAB 3: SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITMA.

Memuat tentang sistem kelistrikan yang ada di PT. Pertamina RU V Balikpapan sebelum maupun sesudah dilakukan integrasi dengan PT. PLN serta beberapa penentuan setting tipikal dan

juga perancangan algoritma *Adaptive Modified Firefly* untuk mendapatkan nilai *time dial setting* (TDS) yang minimum.

#### BAB 4: ANALISIS HASIL PERHITUNGAN

Memuat tentang hasil pengujian terhadap algoritma *Adaptive Modified Firefly* dalam menentukan nilai TDS, selanjutnya akan dianalisa nilai TDS yang didapatkan melalui *software* ETAP untuk menguji keberhasilan algoritma.

#### BAB 5: PENUTUP

Sebagai akhir dari proses penelitian, ditarik kesimpulan dari hasil pengujian serta dijelaskan saran dan masukan untuk penelitian serupa berikutnya.

### **1.7 Relevansi**

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

1. Sebagai pertimbangan untuk PT. Pertamina RU V Balikpapan dalam melakukan setting parameter *inverse time overcurrent relay* (rele 51) setelah di integrasi dengan PT. PLN.
2. Dapat digunakan sebagai referensi mengenai studi perhitungan *time dial setting* bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir dengan topik pembahasan serupa.
3. Mampu mempermudah dan mempercepat user untuk menganalisis dan melakukan setting koordinasi proteksi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **SISTEM PROTEKSI DAN ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM**

Sistem proteksi bertujuan untuk meminimalisir durasi kejadian gangguan yang disebabkan kesalahan manusia, kegagalan peralatan, maupun kejadian alam yang tidak dapat dihindari. Selain itu, fungsi lain dari sistem proteksi adalah meminimalkan kerusakan pada peralatan yang terkena imbas gangguan listrik. Menurut IEEE Std. 242-2001, sistem proteksi pada suatu sistem kelistrikan dirancang untuk mengantisipasi dan mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik [3].

Perancangan algoritma untuk mempercepat perhitungan dan analisis sistem proteksi pada sistem kelistrikan membutuhkan pengetahuan tentang tipe-tipe gangguan, metode perhitungan gangguan, serta cara melakukan koordinasi sehingga mampu mengantisipasi dan mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik menggunakan algoritma kelompok berupa kunang-kunang yang telah dimodifikasi.

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

Gangguan merupakan kondisi tidak normal yang terjadi pada sistem kelistrikan. Pada kondisi normal, suplai listrik berasal dari sumber dan menuju ke beban. Jika terjadi sebuah gangguan maka akan terdapat arus yang mengalir ke titik gangguan yang menyebabkan arus total pada titik tersebut sangat besar [1] sehingga kontinuitas suplai ke beban terganggu.

Pada suatu sistem tenaga listrik gangguan dapat diklasifikasikan berdasarkan penyebab gangguan. Gangguan yang umumnya terjadi adalah gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat.

##### **2.1.1 Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih terjadi saat peralatan bekerja melebihi rating atau kemampuannya sehingga menyebabkan arus yang mengalir pada saluran dan peralatan melebihi arus beban penuh, arus ini akan mengakibatkan panasnya peralatan dan dapat memperpendek umur peralatan maka gangguan beban lebih harus diamankan.

##### **2.1.2 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat merupakan salah satu gangguan yang sering terjadi dalam sistem kelistrikan, gangguan ini umumnya

disebabkan oleh kegagalan isolasi akibat panas yang berlebih, kelembaban, maupun kerusakan mekanis. Pada kondisi ekstrim, hubung singkat dapat mengakibatkan *arcing* dan mungkin akan membakar isolasi sehingga memperburuk kejadian [4].

Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika jumlah generator terbanyak dalam sistem saat beban puncak. Hubung singkat bisa terjadi di titik mana saja dalam sistem kelistrikan tergantung pada impedansi Thevenin di sistem dari titik gangguan. Hubung singkat maksimum digunakan untuk menentukan peringkat interupsi maksimum dari pemutus sirkuit atau perangkat gangguan-arus-gangguan lainnya.

Arus hubung singkat minimum terjadi saat beban *off-peak* dan ketika jumlah generator dalam sistem sedikit, sehingga impedansi Thevenin tinggi. Arus hubung singkat ini perlu dibandingkan dengan arus hubung singkat maksimum untuk memastikan bahwa tidak ada ambiguitas antara kedua nilai dan bahwa gangguan dapat dengan jelas dibedakan dari kondisi pembebanannya.

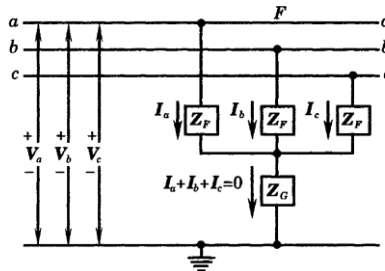
Terdapat tiga jenis kesalahan dapat dipertimbangkan; tiga fase (3PH), fase-ke-fase (L-L), dan satu fase-ke-tanah (L-G). Biasanya, 3PH atau L-G adalah yang paling parah dan L-L yang tidak begitu parah [1].

### 1. Hubung singkat tiga fasa

Yaitu hubung singkat dimana ketiga fasa saling terhubung. Persamaannya adalah:

$$I_{sc\ 3\Phi} = \frac{V_{L-N}}{Z_1 + Z_f} \quad (2.1)$$

Dimana  $V_{L-N}$  adalah tegangan *line to neutral* dan nilai  $Z_1$  adalah reaktansi urutan positif. Nilai  $Z_G$  dan  $Z_f$  ditentukan dari data atau bisa diasumsikan bernilai nol [1].



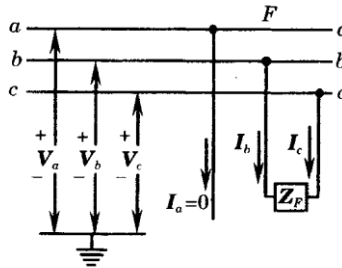
**Gambar 2. 1** Pemodelan Hubung Singkat Tiga Fasa

2. Hubung singkat antar fasa

Yaitu hubung singkat yang terjadi ketika terdapat dua fasa yang saling terhubung. Persamaannya adalah:

$$I_{sc} 2\Phi = \frac{V_{L-L}}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2.2)$$

Dimana  $V_{L-L}$  adalah tegangan *line to line*. Nilai  $X_1$  adalah reaktansi urutan positif. Nilai  $X_2$  adalah reaktansi urutan negatif. Nilai  $Z_f$  ditentukan dari data atau bisa diasumsikan bernilai nol.



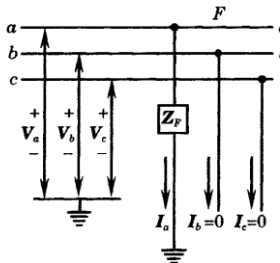
**Gambar 2. 2** Pemodelan Hubung Singkat Dua Fasa

3. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Yaitu hubung singkat yang terjadi dimana terdapat satu fasa yang terhubung ke tanah. Persamaannya adalah:

$$I_{sc} 1\Phi = \frac{3V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (2.3)$$

Dimana  $V_{L-N}$  adalah tegangan *line to neutral* dan nilai reaktansi urutan positif  $X_1$ , negatif  $X_2$ , dan nol  $X_0$ . Nilai  $Z_f$  ditentukan dari data atau bisa diasumsikan bernilai nol



**Gambar 2. 3** Pemodelan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

## 2.2 Koordinasi Proteksi

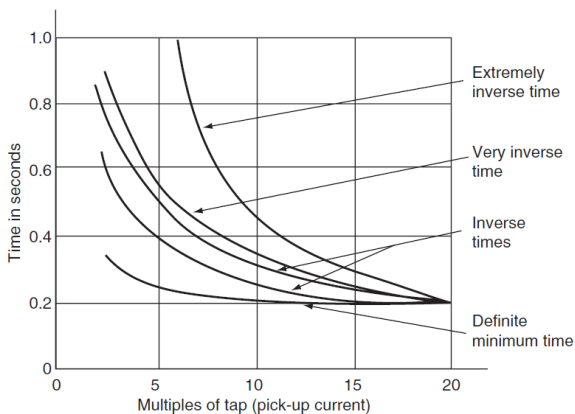
Koordinasi proteksi sistem kelistrikan dengan parameter arus bertujuan untuk menentukan *setting* dari peralatan pengaman arus lebih yang berfungsi untuk meminimalisasi kerusakan perangkat serta melokalisir hubung singkat secepat mungkin.

Peralatan pengaman arus lebih bekerja dengan bagian primer dan *backup*. Bagian primer ini berfungsi untuk menanggulangi gangguan paling awal dan jika bagian primer ini gagal bekerja maka bagian *backup* akan bekerja untuk membantu bagian primer yang gagal bekerja.

Salah satu peralatan pengaman adalah rele yang berfungsi untuk mendeteksi jika terjadi gangguan pada suatu sistem kelistrikan yang kemudian memberi perintah kepada *circuit breaker* untuk bekerja untuk melepaskan bagian yang mengalami gangguan agar tidak merambat ke sistem yang masih bekerja dengan baik.

### 2.2.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Merupakan jenis rele yang berkerja saat arus gangguannya melebihi batas setting yang ditentukan yang dimana waktu operasinya berbanding terbalik dengan besar hubung singkat, semakin besar hubung singkat maka waktu rele beroperasi makin cepat pula [2]. Ada beberapa macam bentuk kurva yang dapat dipilih antara lain, *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*



**Gambar 2. 4** Kurva Rele Waktu *Inverse* [2]



### 2.2.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Untuk setting rele arus lebih waktu *inverse*, terdapat beberapa parameter yang harus dimasukkan antara lain, *I pick up* dan *Time Dial Setting*. Pada *British Standard 142* batas dalam menentukan setting nilai *I pick up* pada rele waktu *inverse* sebagai pelindung dari arus beban lebih adalah:

$$1,05 \text{ FLA} < I_p < 1,4 \text{ FLA} \quad (2.4)$$

Sementara untuk batas penentuan arus *pickup* pada rele sebagai pelindung kejadian hubung singkat adalah:

$$1,6 \text{ FLA} < I_p < 0.8 \text{ Isc min} \quad (2.5)$$

Dimana FLA adalah *Full Load Ampere* yang berarti arus yang mengalir pada beban sesuai daya maksimum dan *Isc min* adalah arus hubung singkat minimum (*Isc* 2 fasa) dalam durasi *steady state* (30 cycle). Untuk menentukan tap nilai *pickup* pada rele dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$tap = \frac{I_p}{\text{Primer CT}} \quad (2.6)$$

Parameter lain yang harus diisi adalah nilai *Time Dial Setting* (TDS), sesuai dengan *datasheet* manufaktur dengan standar [5], [6] adalah:

$$t_{op} = TDS \times \left( \frac{\beta}{\left( \left( \frac{I}{I_p} \right)^\alpha - 1 \right)} + L \right) + C \quad (2.7)$$

**Tabel 2. 1** Parameter koefisien Rele *Inverse* Standar IEC

<i>Tipe Kurva</i>	$\beta$	$\alpha$	<i>L</i>	<i>C</i>
Standard Inverse	0,14	0.02	0	0
Very Inverse	13,5	1	0	0
Extremely Inverse	80	2	0	0

$t_{op}$  adalah waktu operasi dari rele, TDS adalah nilai *time dial setting* yang akan dicari, *I* adalah arus hubung singkat 3 fasa,  $I_p$  adalah arus *pick up*, nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah sebuah konstanta yang nilainya tergantung dari bentuk kurva yang dipilih.

### 2.2.3 Clearing Time Interval (CTI)

Untuk mengkoordinasikan beberapa rele perlu mempertimbangkan *clearing time interval* (CTI). Tanpa adanya interval antar rele, peralatan pengaman mungkin bekerja secara tidak tepat dan dapat memutus aliran daya ke lokasi yang tidak mengalami gangguan. Berdasarkan standar IEEE 242 [3] telah dijelaskan bahwa terdapat rekomendasi CTI minimum untuk jenis rele elektromekanik dan rele static seperti pada table berikut:

**Tabel 2. 2** CTI Minimum Rele

Uraian Respon	Waktu (detik)	
	Elektromekanik	Statik
Waktu pembukaan <i>circuit breaker</i>	0,08	0,08
<i>Overtravel</i> pada rele	0,1	0
Toleransi dan <i>error</i> pada rele	1,2	0,2
Total CTI	0,3	0,2

### 2.3 Firefly Algorithm

Algoritma *Firefly* terinspirasi dari pola kebiasaan dari kunang kunang serta intensitas cahaya yang dihasilkannya dimana semua kunang kunang adalah *unisex*, sehingga kunang-kunang dapat tertarik pada kunang-kunang lain tidak tergantung dari jenis kelaminnya, melainkan dari intensitas cahayanya. Artinya, kunang-kunang yang lebih terang akan didekati oleh kunang-kunang yang redup [5].

Intensitas cahaya tiap kunang-kunang digambarkan sebagai persamaan *objective function* yang akan diselesaikan. Semakin sesuai nilai pada kunang-kunang dengan *objective function*, maka semakin terang intensitas cahayanya. Kemudian dilakukan pembaruan posisi kunang-kunang yang terpengaruh oleh intensitas cahaya kunang-kunang lain. Perubahan posisi kunang-kunang dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon \quad (2.8)$$

$x_i$  menunjukkan posisi dari kunang-kunang  $i$ , sedangkan  $x_j$  adalah posisi dari kunang-kunang lain yang akan dijadikan acuan dan  $\epsilon$  adalah nilai vektor acak dari distribusi gaussian.

Koefisien  $\beta$ ,  $\gamma$ , dan  $\alpha$  hanya bernilai 0 sampai 1. Nilai ini  $\beta$  yang semakin besar akan mempercepat kunang-kunang dalam mendekati kunang-kunang lain yang lebih terang namun dengan hasil yang tidak akurat, sebaliknya jika nilainya semakin kecil, maka perubahan posisi antar kunang-kunang akan lebih lambat, namun dengan nilai yang akurat. Sementara itu koefisien  $\gamma$  dapat dimisalkan sebagai kondisi cuaca saat pergerakan kunang-kunang. Semakin besar nilai  $\gamma$  berarti kondisi cuaca saat itu sedang berkabut yang mengakibatkan kunang-kunang tidak dapat melihat kunang-kunang yang lebih terang pada posisi yang lebih jauh, sementara jika nilai  $\gamma$  kecil, berarti cuaca saat tersebut dalam kondisi cerah sehingga kunang-kunang dapat melihat kunang-kunang lain walaupun kondisinya sangat jauh. Koefisien  $\alpha$  berfungsi sebagai faktor pengali dari nilai vektor kunang-kunang. Semakin besar nilai  $\alpha$  berarti gerakan kunang-kunang akan semakin acak dan semakin kecil nilai  $\alpha$  berarti gerakan kunang-kunang cenderung diam.

#### **2.4 Adaptive Modified Firefly Algorithm**

Dari hasil penelitian *Adaptive Modified Firefly Algorithm* (AMFA) yang digunakan untuk menentukan koordinasi rele arus lebih (OCR) pada sistem kelistrikan 4 Bus ketika terdapat DG (*Distributed Generation*) dapat disimpulkan bahwa *Adaptive Modified Firefly Algorithm* dapat menghasilkan waktu operasi rele 41,63% persen lebih cepat daripada ketika menggunakan *Firefly Algorithm* [6]. Artinya waktu konvergensinya lebih cepat. Ini dikarenakan karena nilai  $\alpha$  yang berubah ubah

$$\alpha^{k+1} = \alpha^k \times \left( \frac{1}{2} \times k_{max} \right)^{\frac{1}{k_{max}+1}} \quad (2.9)$$

$k$  adalah nilai iterasi dan  $k_{max}$  adalah iterasi maksimum yang telah ditentukan. Sehingga  $\alpha^k$  menunjukkan nilai  $\alpha$  ketika di iterasi tertentu. Sedangkan  $\alpha^{k+1}$  adalah perubahan nilai  $\alpha$  ketika di iterasi telah bertambah. Nilai  $\alpha$  ini adalah kunci untuk mempercepat waktu konvergen. Nilai  $\alpha$  awal dibuat yg terbesar atau mendekati satu kemudian nilainya mengecil tiap iterasinya menjadi nilai  $\alpha$  yang paling minimum atau bisa dikatakan arah gerakan kunang-kunang dari kesegala arah sudah tereliminasi menjadi ke beberapa atau hanya satu arah yang sehingga pergerakan menuju intensitas cahaya terbersar semakin cepat di dapat.

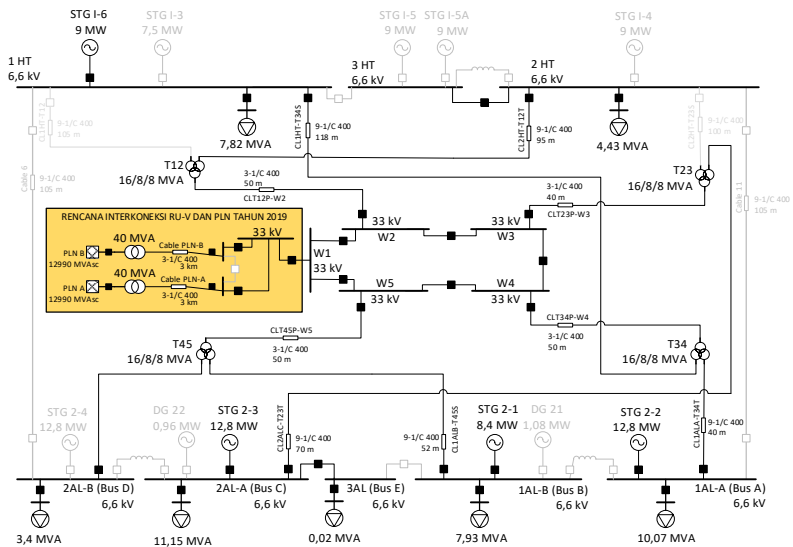
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 3

## SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITHMMA

### 3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah Integrasi Dengan PLN

Sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah diintegrasikan dengan PLN direncanakan akan disuplai dengan 4 generator yang berjenis steam turbine generator (STG) dari total 11 generator dan besar daya suplai dari PLN akan melewati trafo sebesar 40 MVA dengan besar arus hubung singkat dari PLN sebesar 50 kA yang akan disambungkan pada bus *ring* 33 kV. Empat Generator tersebut antara lain STG I-6 (9 MW), STG 2-1 (8.4 MW), STG 2-2 (12.8 MW), dan STG 2-3 (12.8 MW). Terlihat pada Gambar 3.1



**Gambar 3. 1** Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah di Integrasi dengan PLN

Sistem distribusi kelistrikan terdiri dari 3 level tegangan yang berbeda, 0,38 kV, 6.6 kV, dan 33 kV. Tegangan 33 kV adalah tegangan di sistem *ring* yang berfungsi untuk meningkatkan keandalan sistem. Tegangan 6.6 kV adalah tegangan keluaran generator dan digunakan untuk menyuplai beban berkapasitas besar seperti motor. Tegangan 0.38 kV digunakan untuk menyuplai beban berkapasitas kecil. Setelah dilakukan integrasi direncanakan akan terjadi relokasi beban yang bertujuan untuk meratakan pembebanan terhadap kapasitas trafo tiga belitan.

### 3.1.1 Data Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pada kondisi operasi normal, nilai pembangkitan dan pembebanan pada PT. Pertamina RU V Balikpapan dapat dilihat lebih detailnya pada Tabel 3.1

**Tabel 3. 1** Kapasitas Pembangkitan Generator

Generator ID	Area	Daya Rating (MW)	Tegangan (kV)	Faktor Daya (PF)
STG 1-6	1HT	9	6,6	80%
STG 1-5A	3HT	9	6,6	80%
STG 2-4	2AL-B ( <i>Bus D</i> )	12,8	6,6	80%
STG 2-3	2AL-A ( <i>Bus C</i> )	12,8	6,6	80%
STG 2-1	1AL-B ( <i>Bus B</i> )	8,4	6,6	80%
STG 2-2	1AL-A ( <i>Bus A</i> )	12,8	6,6	80%

**Tabel 3. 2** Pembebanan pada *Bus* Utama di PT. Pertamina RU V

Area	Daya Pembebanan		
	MW	MVAR	MVA
1HT	7.73	4.26	8.82
2HT	7.47	4.14	8.54
2AL-B ( <i>Bus D</i> )	3	1.6	3.4
2AL-A ( <i>Bus C</i> )	9.39	5.86	11.06
3AL ( <i>Bus E</i> )	0.3	0.2	0.36
1AL-B ( <i>Bus B</i> )	6.54	4.66	8.03
1AL-A ( <i>Bus A</i> )	8.2	5.7	9.98
<b>Total</b>	<b>42.63</b>	<b>26.42</b>	<b>50.21</b>

### 3.2.2 Data Transformator Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan terdapat 4 buah transformator tiga belitan yang menghubungkan antar generator dengan bus 33 kV. Data seluruh transformator tiga belitan dapat dilihat pada Tabel 3.3

**Tabel 3. 3** Daftar Transformator Tiga Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan

ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
T12	16/8/8	33/6.6/6.6
T23	16/8/8	33/6.6/6.6
T34	16/8/8	33/6.6/6.6
T45	16/8/8	33/6.6/6.6

Pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan juga terdapat beberapa transformator 2 belitan yang mengubah tegangan 6.6 kV ke 0.38 kV untuk menyuplai beban berkapasitas kecil. Data seluruh transformator 2 belitan dapat dilihat pada Tabel 3.4:

**Tabel 3. 4** Daftar Transformator Dua Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan

ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
HSTR1	1	6.6/0.38
HSTR2	1	6.6/0.38
HSTR3	1	6.6/0.38
TR61A	1.6	6.6/0.38
TR61B	1.6	6.6/0.38
TR61C	1	6.6/0.38

**Tabel 3. 5** Daftar Transformator Dua Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan (lanjutan)

<b>ID</b>	<b>Kapasitas (MVA)</b>	<b>Tegangan (kV)</b>
TR61D	1	6.6/0.38
TR61E	1	6.6/0.38
TR61F	1	6.6/0.38
TR62A	1.6	6.6/0.38
TR62B	1.6	6.6/0.38
TR63A	1.6	6.6/0.38
TR63B	1.6	6.6/0.38
TR64A	1	6.6/0.38
TR64B	1	6.6/0.38
TR65A	1	6.6/0.38
TR65B	1	6.6/0.38
TR66A	1.6	6.6/0.38
TR66B	1.6	6.6/0.38
TR67A	1.6	6.6/0.38
TR67B	1.6	6.6/0.38
TR68A	1	6.6/0.38
TR68B	1	6.6/0.38

### **3.2 Perancangan *Firefly Algorithm***

Algoritma *firefly* dimodifikasi sesuai dengan permasalahan yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai *time dial setting* (TDS) yang

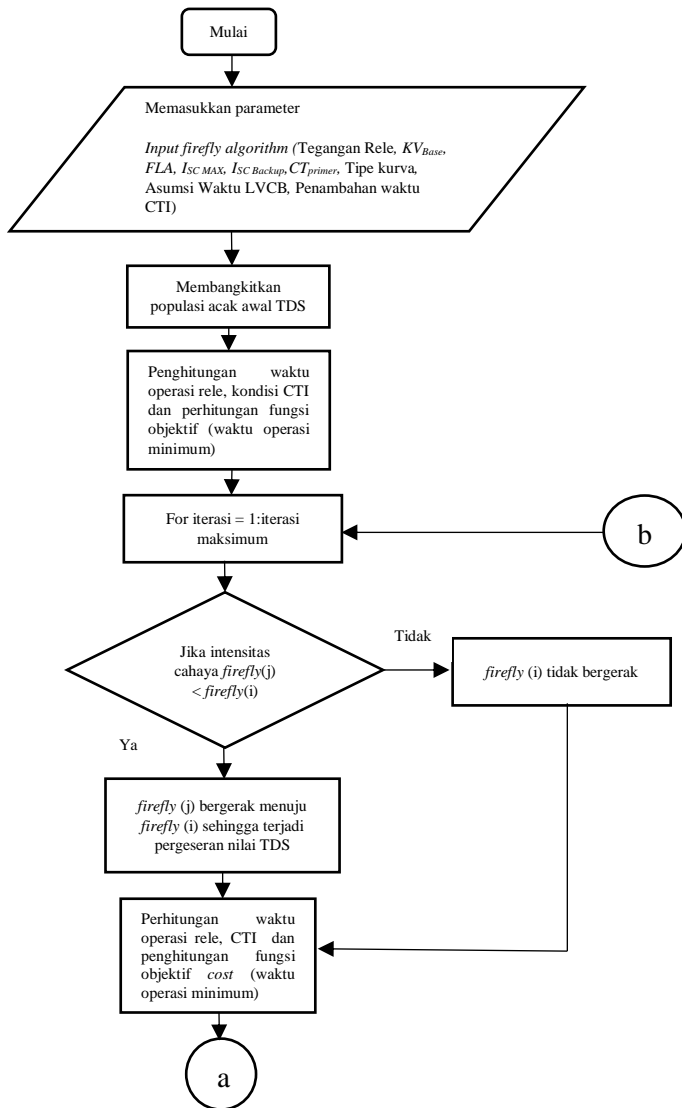


minimum pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah di integrasi dengan PLN dengan cepat dan akurat.

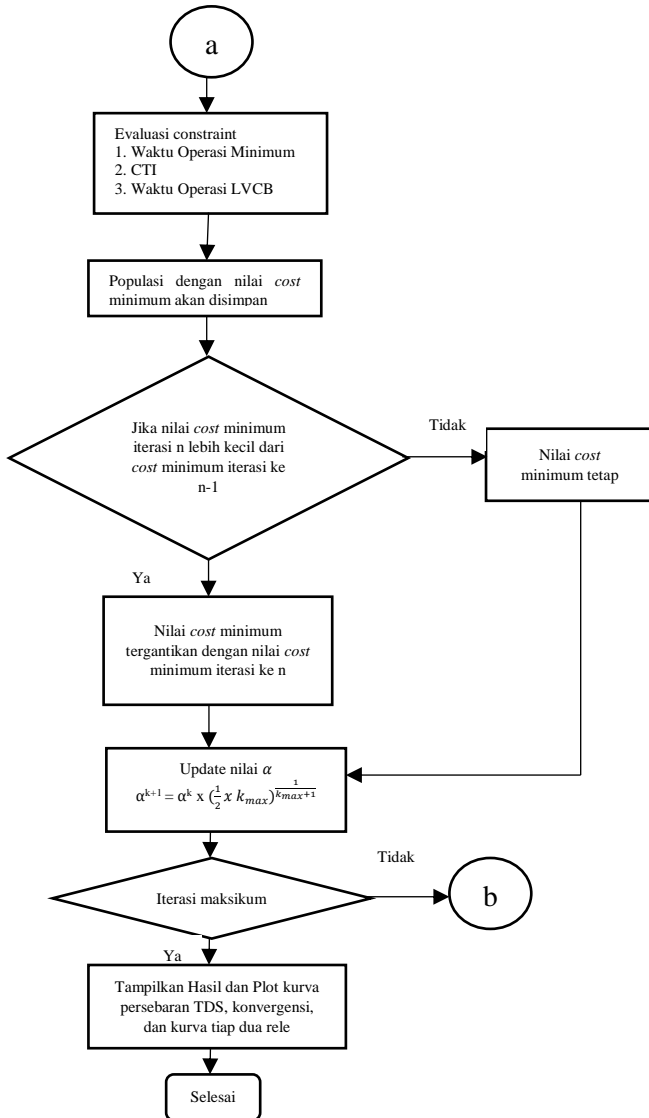
Pertama akan dibangkitkan kunang-kunang sebanyak jumlah populasi yang diinginkan. Untuk kali ini menggunakan 50 kunang-kunang dengan posisi acak yang akan mewakili tiap TDS yang diberikan *range* dan *step* yang sudah disesuaikan dengan *datasheet* manufaktur [7], [8], [9]. Fungsi objektif yang akan diselesaikan pada algoritma ini adalah total waktu operasi beberapa rele saat menjadi rele primer terhadap nilai TDS yang tiap waktu operasi relenya di dapat dari persamaan 2.7. Waktu operasi rele sebagai *backup* juga dihitung yang dimana akan digunakan sebagai kondisi adanya *clearing time interval* (CTI) minimal sebesar 0.2 detik yang bisa di dapat dari pengurangan waktu operasi rele *backup* dan waktu operasi rele primer.

Intensitas cahaya kunang-kunang merupakan nilai fungsi objektif dimana semakin kecil nilai total waktu operasi rele primer yang sudah memenuhi kondisi nilai CTI maka intensitas cahaya kunang-kunang akan semakin terang, kunang-kunang yang memiliki intensitas cahaya redup akan tertarik menuju kunang-kunang yang lebih terang. Pergeseran posisi kunang-kunang akan menyebabkan terjadinya pergeseran nilai TDS. Selanjutnya akan dianalisa kembali waktu operasi dan dihitung nilai fungsi objektif (*cost*) yang baru dan terus berulang hingga algoritma *firefly* berhenti yang kemudian mendapatkan nilai fungsi objektif (*cost*) yang paling minimum dan sudah memenuhi segala batasan-batasan yang sudah dibuat.

Di dalam program terdapat batasan untuk memperhitungkan nilai waktu operasi minimum rele, dan nilai CTI. Dimana nilai CTI akan bernilai 0,2 detik jika tiap dua rele yang terpisah memiliki  $I_{sc\ max}$  yang berbeda. Untuk nilai CTI di tiadakan atau sama dengan nol detik jika dua rele yang terpisah berada di satu *feeder* yang sama atau dengan kata lain memiliki  $I_{sc\ max}$  yang sama. Kemudian jika tiap dua rele yang terpisah terdapat peralatan trafo maka CTI juga bernilai nol detik. CTI bernilai nol detik ini berguna agar sistem proteksi dapat bekerja dengan cepat dan sensitif. Selain itu juga terdapat pertimbangan bila adanya LVCB yang dimana waktu operasi dari LVCB diasumsikan dengan nilai yang ditentukan sehingga akan berpengaruh untuk hasil perhitungan TDS yang diperoleh. Kemudian juga terdapat pertimbangan akan beberapa tipikal di suatu bus yang sama namun berbeda jumlah relenya akan menghasilkan perhitungan TDS yang sama.



**Gambar 3. 2** Flowchart Algorithma Firefly



**Gambar 3. 2** Flowchart Algoritma Firefly (lanjutan)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 4**

### **ANALISIS HASIL PERHITUNGAN**

#### **4.1 Penentuan Tipikal Skema Proteksi Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah Terintegrasi Dengan PLN**

Setelah dilakukan integrasi dengan PLN terdapat perubahan pola operasi generator dan relokasi beban yang akan menyebabkan nilai arus hubung singkat di dalam sistem akan berubah dari keadaan eksistingnya. Sehingga perlu dilakukan pengaturan rele pada sistem proteksi. Sehingga diperlukan beberapa tipikal yang mewakili beberapa kasus, seperti saluran terpanjang, beban terbesar, dan studi khusus sesuai kebutuhan dalam melakukan pengaturan rele.

##### **4.1.1 Tipikal 1**

Tipikal 1 merupakan saluran terpanjang dari beban menuju ke bus *ring* 33 kV dimana memiliki jumlah rele yang paling banyak yaitu sebanyak 5 rele. Tujuan pemilihan saluran ini untuk mendapatkan skema proteksi dengan penilaian waktu yang tepat dengan rele terbanyak. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban lumped load MC-61LD (305 kVA) - trafo TR61D (1000 kVA) - Bus T61D-P (6.6 kV) - Bus SS61MB (6.6 kV) - 2AL-B (Bus D) (6.6 kV) – T45 (16/8/8) – Bus W5 (33 kV)

##### **4.1.2 Tipikal 2**

Tipikal 2 merupakan saluran dari beban menuju *ring* 33 kV yang hampir sama dengan tipikal 1 namun hanya memiliki 3 buah rele dan terdapat LVCB. Tujuan pemilihan saluran ini untuk membandingkan hasil perhitungan TDS dengan jumlah rele yang berbeda dan mempertimbangkan adanya asumsi waktu LVCB. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban lumped load L-SS69B (148 kVA) – Bus SS69MB (0.38 kV) – trafo TR69B (1 MVA) - Bus 30 (6.6 kV) - 2AL-B (Bus D) (6.6 kV) – T45 (16/8/8) – Bus W5 (33 kV)

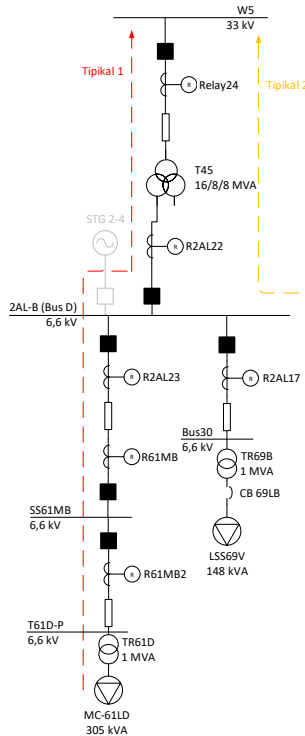
##### **4.1.3 Tipikal 3**

Tipikal 3 merupakan saluran dari beban menuju generator yang memiliki 4 buah rele. Tujuan pemilihan saluran ini untuk mengetahui skema proteksi saluran menuju generator yang memiliki jumlah rele yang berbeda dari tipikal 1 dan 2. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban

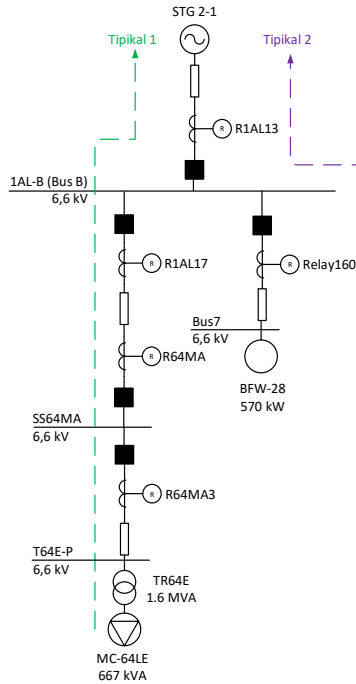
lumped load MC-64LE (667 kVA) – Bus 82 (0.38 kV) – Trafo TR64E (1600 kVA) – Bus T64E-P (6.6 kV) – Bus SS64MA (6.6 kV) – Bus 1AL-B (BUS B) (6.6 kV) – STG 2-1 (8.4 MW).

#### 4.1.4 Tipikal 4

Tipikal 4 hampir menyerupai tipikal 3 yang mengarah ke generator namun hanya memiliki 2 buah rele. Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan TDS saluran terpendek dengan hasil tipikal 3 dimana jumlah relenya yang lebih banyak. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban motor BFW-28 (570 kW) – Bus 7 (6.6 kV) – Bus 1AL-B (BUS B) (6.6 kV) – STG 2-1 (8.4 MW).



**Gambar 4. 1** Skema Koordinasi Tipikal 1 dan 2



**Gambar 4. 2** Skema Koordinasi Tipikal 3 dan 4

## 4.2 Data Pasangan Rele dan Arus Hubung Singkat

Pasangan rele diantaranya adalah rele primer dan rele *backup*. Rele primer berfungsi sebagai pengaman utama ketika terjadi gangguan pada titik terdekat, sedangkan rele *backup* berfungsi sebagai rele cadangan jika rele primer gagal dalam mengisolasi gangguan. Pasangan rele primer dan rele *backup* dapat ditentukan melalui arah arus yang mengalir pada sistem. Pada topik tugas akhir ini, yang diamati adalah waktu operasi rele ketika berfungsi sebagai rele utama dan saat menjadi rele *backup* terhadap rele sebelumnya.

Berikut data arus hubung singkat yang tertulis pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.4 yang merupakan gangguan arus hubung singkat maksimum (3 fasa -  $\frac{1}{2}$  cycle) yang dirasakan oleh rele ketika berfungsi menjadi rele utama maupun rele *backup* pada saat terjadi gangguan.

**Tabel 4. 1** Data Rele Tipikal 1

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	<i>Isc Max</i> Utama (A)	<i>Isc Max Backup</i>	Primer CT
1	R61MB2	6.6	13178	-	100
2	R61MB	6.6	10774	10605	750
3	R2AL23	6.6	10774	10605	1250
4	R2AL22	6.6	11935	10483	1000
5	Relay24	33	19832	1713	500

**Tabel 4. 2** Data Rele Tipikal 2

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	<i>Isc Max</i> Utama (A)	<i>Isc Max Backup</i>	Primer CT
1	R2AL17	6.6	12916	1609	200
2	R2AL22	6.6	11935	10447	1000
3	Relay24	33	19832	1713	500

**Tabel 4. 3** Data Rele Tipikal 3

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	<i>Isc Max</i> Utama (A)	<i>Isc Max Backup</i>	Primer CT
1	R64MA3	6.6	17736	-	150
2	R64MA	6.6	16124	15716	600
3	R1AL17	6.6	16124	15716	1250
4	R1AL13	6.6	5204	4365	1000



**Tabel 4. 4** Data Rele Tipikal 4

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup	Primer CT
1	Relay160	6.6	19230	-	75
2	R1AL13	6.6	5204	4752	1000

### 4.3 Perhitungan *Time Dial Setting* (TDS) dengan Manual

Perhitungan TDS (*Time Dial Setting*) secara manual digunakan untuk membuktikan bahwa perhitungan TDS dengan metode AMFA sudah sesuai dengan perhitungan secara manual.

#### 4.3.1 Perhitungan TDS Tipikal 1

##### **R61MB2**

*Manufacture* : ALSTOM  
*Model* : P 142  
*Tipe Kurva* : Extremely Inverse  
*Tegangan* : 6,6 kV  
*Output* : CB61MB2 **OPEN**  
*Rasio CT* : 100/5 A  
*FLA* : 87,48 A @6,6 kV  
*Pickup Step* : 0,01  
*TDS Step* : 0,025  
*Batas TDS* : 0,025 – 1,2  
*Isc Max Primer* : 13178 A @6,6 kV

##### **Low Set Setting**

$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$   
 $1,05 \times 87,48 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 87,48 \text{ A}$   
 $91,85 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 122,472 \text{ A}$   
 Dipilih  $I_{pickup} = 92 \text{ A}$

##### **Saturasi**

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$I_{sc \text{ Max Primer}} > 20 \times I_{pickup}$   
 $13178 \text{ A} > 1840 \text{ A}$  (syarat terpenuhi)

Karena syarat saturasi saat relay bekerja sebagai primer terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) maksimum, R61MB2 akan bekerja sebagai relay primer pada daerah saturasi.

### ***Time Dial Setting (TDS)***

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di Bus T61D-P, maka R61MB2 akan bekerja sebagai relay primer dengan waktu operasi 0,1 detik

**Dipilih,  $top = 0,1$  detik**

$$TDS = top \times \frac{\left(\frac{20 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1}{K}$$

$$TDS = 0,1 \times \frac{\left(\frac{20 \times 92}{92}\right)^2 - 1}{80}$$

$$TDS = 0,499$$

Karena diketahui *Step* TDS dari data relay yaitu 0,025 maka TDS dipilih = 0,5

### **Waktu Operasi Relay**

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{20 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

( $L=0$  sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top = \frac{80 \times 0,5}{\left(\frac{20 \times 92}{92}\right)^2 - 1}$$

$$top_{primer} = 0,100 \text{ detik}$$

**Maka,** R61MB2 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,100 detik.

### **R61MB**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 142
Tipe Kurva	: Extremely Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB61MB <b>OPEN</b>
Rasio CT	: 750/5 A
FLA	: 755,05 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01

*TDS Step* : 0,025  
 Batas TDS : 0,025 – 1,2  
*Isc Max Primer* : 10774 A @6,6 kV  
*Isc Max Backup* : 10605 A @6,6 kV

### Low Set Setting

$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$   
 $1,05 \times 755,05 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 755,05 \text{ A}$   
 $792,80 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1057,07 \text{ A}$   
 Dipilih  $I_{pickup} = 795 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

**$I_{sc} \text{ Max Primer} > 20 \times I_{pickup}$**   
 $10774 \text{ A} < 15900 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

**$I_{sc} \text{ Max Backup} > 20 \times I_{pickup}$**   
 $10605 \text{ A} < 15900 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

Karena syarat saturasinya tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat (*Isc*) maksimum, R61MB2 saat menjadi relay primer dan *backup* akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus SS61MB, maka R61MB akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,100 detik + 0,2 detik = 0,300 detik

Dipilih,  $top = 0,300$  detik

$$TDS = top \times \frac{(I_{sc} \text{ Max Backup})^{\alpha} - 1}{I_{pickup}^{\alpha}}$$

$$TDS = 0,300 \times \frac{\left(\frac{10605}{795}\right)^2 - 1}{80}$$

$$TDS = 0,667$$

Karena diketahui *Step* TDS dari data relay yaitu 0,025 maka TDS dipilih = 0,7

## Waktu Operasi Relay

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc \text{ Max Primer}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{primer} = \frac{80 \times 0,7}{\left(\frac{10774}{795}\right)^2 - 1}$$

$$top_{primer} = 0,316 \text{ detik}$$

$$top_{backup} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc \text{ Max Backup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{backup} = \frac{80 \times 0,7}{\left(\frac{10605}{795}\right)^2 - 1}$$

$$top_{backup} = 0,307 \text{ detik}$$

**Maka,** R61MB akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,307 detik dan 0,316 detik ketika menjadi relay *backup*.

## R2AL23

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 142
Tipe Kurva	: Extremely Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 2AL23 <b>OPEN</b>
Rasio CT	: 1250/5 A
FLA	: 755,05 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 10774 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 10605 A @6,6 kV

## Low Set Setting

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

$$1,05 \times 755,05 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 755,05 \text{ A}$$

$$792,80 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1057,07 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 800 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$$\mathbf{Isc\ Max\ Primer > 20 \times Ipickup}$$

$$10774\ A < 16000\ A \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

$$\mathbf{Isc\ Max\ Backup > 20 \times Ipickup}$$

$$10605\ A < 16000\ A \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

Karena syarat saturasinya tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) maksimum, R2AL23 saat menjadi relay primer dan *backup* akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Karena R2AL23 berada pada *feeder* yang sama dengan R61MB, maka *setting* relay R2AL23 dapat disamakan dengan R61MB. Jadi, ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus SS61MB, maka R2AL23 akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,316 detik

**Dipilih**,  $top = 0,316$  detik

$$TDS = top \times \frac{\left(\frac{Isc\ Max\ backup}{Ipickup}\right)^{\alpha} - 1}{K}$$

$$TDS = 0,316 \times \frac{\left(\frac{10605}{800}\right)^2 - 1}{80}$$

$$TDS = 0,690$$

Karena diketahui *Step* TDS dari data relay yaitu 0,025 maka TDS dipilih = 0,7

### Waktu Operasi Relay

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc\ Max\ Primer}{Ipickup}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

( $L=0$  sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{primer} = \frac{80 \times 0,7}{\left(\frac{10774}{800}\right)^2 - 1}$$

$$top_{primer} = 0,316 \text{ detik}$$

$$top_{backup} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc\ Max\ Backup}{Ipickup}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{backup} = \frac{80 \times 0,7}{\left(\frac{10605}{800}\right)^2 - 1}$$
$$top_{backup} = 0,307 \text{ detik}$$

**Maka**, R2AL23 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,307 detik dan 0,316 detik ketika menjadi relay *backup*.

### **R2AL22**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 122
Tipe Kurva	: Very Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 2AL22 <b>OPEN</b>
Rasio CT	: 1000/5 A
FLA	: 699,8 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 11935 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 10483 A @6,6 kV

### **Low Set Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$
$$1,05 \times 699,8 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 699,8 \text{ A}$$
$$734,79 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 979,72 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 740 \text{ A}$

### **Saturasi**

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$$\mathbf{Isc \ Max \ Primer > 30 \times I_{pickup}}$$
$$11935 \text{ A} < 22200 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

$$\mathbf{Isc \ Max \ Backup > 30 \times I_{pickup}}$$
$$10483 \text{ A} < 22200 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

Karena syarat saturasinya tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat (*Isc*) maksimum, R2AL22 saat menjadi relay primer dan *backup* akan bekerja pada daerah *inverse*.

### ***Time Dial Setting (TDS)***

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus SS61MB, maka R2AL22 akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,307 detik + 0,2 detik = 0,507 detik

**Dipilih**,  $top = 0,507$  detik

$$TDS = top \times \frac{(I_{sc} \text{ Max Backup})^\alpha}{I_{pickup}^\alpha} - 1$$

$$TDS = 0,507 \times \frac{\left(\frac{10483}{740}\right)^{13,5} - 1}{13,5}$$

$$TDS = 0,498$$

Karena dari data relay diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih TDS = 0,5

### ***Waktu Operasi Relay***

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{(I_{sc} \text{ Max Primer})^\alpha - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 122)

$$top_{primer} = \frac{13,5 \times 0,5}{\left(\frac{11935}{740}\right)^{13,5} - 1}$$

$$top_{primer} = 0,446 \text{ detik}$$

$$top_{backup} = \frac{K \times TDS}{(I_{sc} \text{ Max Backup})^\alpha - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 122)

$$top_{backup} = \frac{13,5 \times 0,5}{\left(\frac{10483}{740}\right)^{13,5} - 1}$$

$$top_{backup} = 0,513 \text{ detik}$$

**Maka**, R2AL22 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,446 detik dan 0,513 detik ketika menjadi relay *backup*.

### **Relay24**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P 142
<i>Tipe Kurva</i>	: Standard Inverse
<i>Tegangan</i>	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB-Q252 <b>OPEN</b>

Rasio CT	: 500/5 A
FLA	: 279,9 A @33 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 19832 A @33 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 1713 A @33 kV

### Low Set Setting

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

$$1,05 \times 279,9 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times 279,9 \text{ A}$$

$$293,9 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 391,86 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{\text{pickup}} = 295 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$\mathbf{Isc \text{ Max Utama} > 30 \times I_{\text{pickup}}}$$

$$19832 \text{ A} > 8850 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

$$\mathbf{Isc \text{ Max Backup} > 30 \times I_{\text{pickup}}}$$

$$1713 \text{ A} < 8850 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

Ketika sebagai relay primer syarat saturasinya terpenuhi dan *backup* syarat saturasinya tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat (*Isc*) maksimum, Relay24 saat menjadi relay primer bekerja pada daerah saturasi dan *backup* akan bekerja pada daerah inverse.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus 2AL-B, maka relay Relay24 akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi sama seperti R2AL22 sebagai relay primer yaitu 0,446 detik

**Dipilih**,  $top = 0,446$  detik

$$\text{TDS} = top \times \frac{\left(\frac{Isc \text{ Max Backup}}{I_{\text{pickup}}}\right)^K - 1}{K}$$

$$\text{TDS} = 0,446 \times \frac{\left(\frac{1713}{295}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$



$$TDS = 0,114$$

Karena dari data relay diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih TDS = 0,125

### Waktu Operasi Relay

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1}$$

$$top_{primer} = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{30 \times 295}{295}\right)^{0,02} - 1}$$

$$top_{primer} = 0,249 \text{ detik}$$

$$top_{backup} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{I_{sc \text{ Max Backup}}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{backup} = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{1713}{295}\right)^{0,02} - 1}$$

$$top_{backup} = 0,489 \text{ detik}$$

Jadi, Relay24 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,249 detik dan *backup* dalam waktu 0,489 detik.

### 4.3.2 Perhitungan TDS Tipikal 2

#### R2AL17

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P 142
<i>Tipe Kurva</i>	: Standard Inverse
<i>Tegangan</i>	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 2AL17 <b>OPEN</b>
<i>Rasio CT</i>	: 200/5 A
<i>FLA</i>	: 87,48 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
<i>Batas TDS</i>	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 12916 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 1609 A @6,6 kV

### Low Set Setting

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$
$$1,05 \times 87,48 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 87,48 \text{ A}$$
$$91,85 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 122,47 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 92 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$$I_{sc \text{ Max Primer}} > 30 \times I_{pickup}$$
$$12916 \text{ A} > 2760 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

$$I_{sc \text{ Max Backup}} > 30 \times I_{pickup}$$
$$1609 \text{ A} < 2760 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

Ketika terjadi gangguan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) maksimum, R2AL23 saat menjadi relay primer akan bekerja pada daerah saturasi dan *backup* akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus SS69MB, maka R2AL17 akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,3 detik karena terdapat LVCB untuk pengaman primer yang bekerja dengan asumsi waktu operasi 0,3 detik.

Dipilih,  $top = 0,3$  detik

$$TDS = top \times \frac{(I_{sc \text{ Max backup}})^{\alpha} - 1}{I_{pickup}^K}$$

$$TDS = 0,3 \times \frac{(1609)^{0,02} - 1}{92^{0,14}}$$

$$TDS = 0,126$$

Karena diketahui *Step* TDS dari data relay yaitu 0,025 maka TDS dipilih = 0,15

### Waktu Operasi Relay

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

( $L=0$  sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{primer} = \frac{0,14 \times 0,15}{\left(\frac{30 \times 92}{92}\right)^{0,02} - 1}$$

$$top_{primer} = 0,298 \text{ detik}$$

$$top_{backup} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc \text{ Max Backup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{backup} = \frac{0,14 \times 0,15}{\left(\frac{1609}{92}\right)^{0,02} - 1}$$

$$top_{backup} = 0,357 \text{ detik}$$

**Maka,** R2AL17 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,298 detik dan 0,357 detik ketika menjadi relay *backup*.

### R2AL22

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 122
Tipe Kurva	: Very Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 2AL22 <b>OPEN</b>
Rasio CT	: 1000/5 A
FLA	: 699,8 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 11935 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 10447 A @6,6 kV

### **Low Set Setting**

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

$$1,05 \times 699,8 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 699,8 \text{ A}$$

$$734,79 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 979,72 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 740 \text{ A}$

### **Saturasi**

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$$Isc \text{ Max Primer} > 30 \times I_{pickup}$$

$$11935 \text{ A} < 22200 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

$$I_{sc} \text{ Max Backup} > 30 \times I_{pickup}$$

$$10447 \text{ A} < 22200 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

Karena syarat saturasinya tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) maksimum, R2AL22 saat menjadi relay primer dan *backup* akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus SS61MB, maka R2AL22 akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,298 detik + 0,2 detik = 0,498 detik

**Dipilih,  $t_{op}$  = 0,498 detik**

$$TDS = t_{op} \times \frac{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Backup}}{I_{pickup}}\right)^\alpha - 1}{K}$$

$$TDS = 0,498 \times \frac{\left(\frac{10483}{740}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$TDS = 0,483$$

Karena dari data relay diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih TDS = 0,5

### Waktu Operasi Relay

$$t_{op_{primer}} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Primer}}{I_{pickup}}\right)^\alpha - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 122)

$$t_{op_{primer}} = \frac{13,5 \times 0,5}{\left(\frac{11935}{740}\right)^1 - 1}$$

$$t_{op_{primer}} = 0,446 \text{ detik}$$

$$t_{op_{backup}} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Backup}}{I_{pickup}}\right)^\alpha - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 122)

$$t_{op_{backup}} = \frac{13,5 \times 0,5}{\left(\frac{10447}{740}\right)^1 - 1}$$

$$t_{op_{backup}} = 0,515 \text{ detik}$$

**Maka, R2AL22 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,446 detik dan 0,515 detik ketika menjadi relay *backup*.**

### **Relay24**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 142
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB-Q252 <b>OPEN</b>
Rasio CT	: 500/5 A
FLA	: 279,9 A @33 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 19832 A @33 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 1713 A @33 kV

### **Low Set Setting**

$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times \text{FLA}$   
 $1,05 \times 279,9 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times 279,9 \text{ A}$   
 $293,9 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 391,86 \text{ A}$   
Dipilih  $I_{\text{pickup}} = 295 \text{ A}$

### **Saturasi**

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$\mathbf{Isc \ Max \ Utama > 30 \times I_{pickup}}$$
$$19832 \text{ A} > 8850 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

$$\mathbf{Isc \ Max \ Backup > 30 \times I_{pickup}}$$
$$1713 \text{ A} < 8850 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

Ketika terjadi gangguan hubung singkat (*Isc*) maksimum, Relay24 saat menjadi relay primer bekerja pada daerah saturasi dan *backup* akan bekerja pada daerah inverse.

### ***Time Dial Setting (TDS)***

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus 2AL-B, maka relay Relay24 akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi sama seperti R2AL22 sebagai relay primer yaitu 0,446 detik

**Dipilih**,  $top = 0,446$  detik

$$TDS = top \times \frac{\left(\frac{Isc \text{ Max Backup}}{Ipickup}\right)^\alpha - 1}{K}$$

$$TDS = 0,446 \times \frac{\left(\frac{1713}{295}\right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$TDS = 0,114$$

Karena dari data relay diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih TDS = 0,125

### Waktu Operasi Relay

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{30 \times Ipickup}{Ipickup}\right)^\alpha - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{30 \times Ipickup}{Ipickup}\right)^\alpha - 1}$$

$$top_{primer} = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{30 \times 295}{295}\right)^{0,02} - 1}$$

$$top_{primer} = 0,249 \text{ detik}$$

$$top_{backup} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc \text{ Max Backup}}{Ipickup}\right)^\alpha - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{backup} = \frac{0,14 \times 0,125}{\left(\frac{1713}{295}\right)^{0,02} - 1}$$

$$top_{backup} = 0,489 \text{ detik}$$

Jadi, Relay24 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,249 detik dan *backup* dalam waktu 0,489 detik.

### 4.3.3 Perhitungan TDS Tipikal 3

#### **R64MA3**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 343
Tipe Kurva	: Extremely Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB64MA3 OPEN
Rasio CT	: 150/5 A
FLA	: 140 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025

Batas TDS : 0,025 – 1,2  
 Isc Max Primer : 17736 A @6,6 kV

**Low Set Setting**

1,05 x FLA ≤ *Ipickup* ≤ 1,4 x FLA  
 1,05 x 140 A ≤ *Ipickup* ≤ 1,4 x 140 A  
 147 A ≤ *Ipickup* ≤ 196 A  
 Dipilih *Ipickup* = 147 A

**Saturasi**

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$$\text{Isc Max Primer} > 20 \times \text{Ipickup}$$

$$17736 \text{ A} > 2940 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

Karena syarat saturasi terpenuhi saat relay bekerja sebagai primer, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat (Isc) maksimum, relay akan bekerja pada daerah saturasi saat primer.

**Time Dial Setting (TDS)**

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus T64E-P, maka R64MA3 akan bekerja sebagai relay primer dengan waktu operasi 0,1 detik.

Dipilih, *top* = 0,1 detik

$$\text{TDS} = \text{top} \times \frac{\left(\frac{20 \times \text{Ipickup}}{\text{Ipickup}}\right)^{\alpha} - 1}{K}$$

$$\text{TDS} = 0,1 \times \frac{\left(\frac{20 \times 147}{147}\right)^2 - 1}{80}$$

$$\text{TDS} = 0,499$$

Karena diketahui *Step* TDS dari data relay yaitu 0,025, maka TDS dipilih = 0,5.

**Waktu Operasi Relay**

$$\text{top} = \frac{K \times \text{TDS}}{\left(\frac{\text{Isc Max Primer}}{\text{Ipickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{primer} = \frac{80 \times 0,5}{\left(\frac{20 \times 147}{147}\right)^2 - 1}$$

$top_{primer} = 0,1$  detik

**Maka**, R64MA3 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,1 detik.

### **R64MA**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P 142
<i>Tipe Kurva</i>	: Very Inverse
<i>Tegangan</i>	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB64MA <b>OPEN</b>
<i>Rasio CT</i>	: 600/5 A
<i>FLA</i>	: 476,86 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
<i>Batas TDS</i>	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 16124 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 15716 A @6,6 kV

### **Low Set Setting**

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

$$1,05 \times 476,86 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 476,86 \text{ A}$$

$$500,7 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 667,604 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 504 \text{ A}$

### **Saturasi**

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$$\mathbf{Isc \text{ Max Primer} > 30 \times I_{pickup}}$$

$$16124 \text{ A} > 15120 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

$$\mathbf{Isc \text{ Max Backup} > 30 \times I_{pickup}}$$

$$15716 \text{ A} > 15120 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

Karena syarat saturasi terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat (*Isc*) maksimum, R64MA akan bekerja pada daerah saturasi saat sebagai relay primer dan *backup*.



### **Time Dial Setting (TDS)**

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus SS64MA, maka R64MA akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,1 detik + 0,2 detik = 0,3 detik

**Dipilih**,  $top = 0,3$  detik

$$TDS = top \times \frac{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1}{K}$$

$$TDS = 0,3 \times \frac{\left(\frac{30 \times 504}{504}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$TDS = 0,644$$

Karena diketahui *Step* TDS dari data relay yaitu 0,025, maka TDS dipilih = 0,65

### **Waktu Operasi Relay**

$$top = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{primer} = \frac{13,5 \times 0,65}{\left(\frac{30 \times 504}{504}\right)^1 - 1}$$

$$top_{primer} = 0,303 \text{ detik}$$

$$top = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{backup} = \frac{13,5 \times 0,65}{\left(\frac{30 \times 504}{504}\right)^1 - 1}$$

$$top_{backup} = 0,303 \text{ detik}$$

**Maka**, R64MA akan bekerja sebagai relay primer dan *backup* dalam waktu 0,303 detik.

### **R1AL17**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 142
Tipe Kurva	: Very Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 1AL17 <b>OPEN</b>

Rasio CT	: 1250/5 A
FLA	: 476,86 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 16124 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 15716 A @6,6 kV

### Low Set Setting

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

$$1,05 \times 476,86 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 476,86 \text{ A}$$

$$500,7 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 667,604 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 512,5 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada didaerah saturasi ketika

$$\mathbf{Isc \text{ Max Primer} > 30 \times I_{pickup}}$$

$$16124 \text{ A} > 15375 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

$$\mathbf{Isc \text{ Max Backup} > 30 \times I_{pickup}}$$

$$15716 \text{ A} > 15375 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

Karena syarat saturasi saat relay bekerja sebagai relay primer terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat (*Isc*) maksimum, relay akan bekerja pada daerah saturasi saat menjadi relay primer dan *backup*.

### Time Dial Setting (TDS)

Karena masih dalam satu feeder dengan R64MA, ketika terjadi gangguan hubung singkat bus SS64MA, maka R1AL17 akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,302 detik

**Dipilih**,  $top = 0,302$  detik

$$\text{TDS} = top \times \frac{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1}{K}$$

$$\text{TDS} = 0,302 \times \frac{\left(\frac{30 \times 512,5}{512,5}\right)^1 - 1}{13,5}$$

$$\text{TDS} = 0,65$$

Karena diketahui *Step* TDS dari data relay yaitu 0,025, maka TDS dipilih = 0,65

### Waktu Operasi Relay

$$top = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc \text{ Max Primer}}{Ipickup}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{primer} = \frac{13,5 \times 0,65}{\left(\frac{30 \times 512,5}{512,5}\right)^1 - 1}$$

$$top_{primer} = 0,302 \text{ detik}$$

$$top = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{Isc \text{ Max Backup}}{Ipickup}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{backup} = \frac{13,5 \times 0,65}{\left(\frac{30 \times 512,5}{512,5}\right)^1 - 1}$$

$$top_{backup} = 0,303 \text{ detik}$$

**Maka**, R1A17 akan bekerja sebagai relay primer dan *backup* dalam waktu 0,303 detik.

### R1A13

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 343
Tipe Kurva	: Extremely Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 1A13 <b>OPEN</b>
Rasio CT	: 1000/5 A
FLA	: 918,5 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 5204 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 4365 A @6,6 kV

### Low Set Setting

1,05 x FLA	≤ <i>Ipickup</i> ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 918,5 A	≤ <i>Ipickup</i> ≤ 1,4 x 918,5 A
964,43 A	≤ <i>Ipickup</i> ≤ 1285,9 A

Dipilih  $I_{pickup} = 970 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$\begin{aligned} I_{sc \text{ Max Utama}} &> 30 \times I_{pickup} \\ 5204 \text{ A} &< 19400 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc \text{ Max Backup}} &> 30 \times I_{pickup} \\ 4365 \text{ A} &< 19400 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi}) \end{aligned}$$

Karena ketika sebagai relay primer dan *backup* syarat saturasinya tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) maksimum, R1AL13 saat menjadi relay primer dan *backup* akan bekerja pada daerah inverse.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus 1AL-B, maka relay akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,302 detik + 0,2 detik = 0,502 detik

Dipilih,  $top = 0,502$  detik

$$TDS = top \times \frac{(I_{sc \text{ Max Backup}})^{\alpha} - 1}{I_{pickup}^{\alpha}}$$

$$TDS = 0,502 \times \frac{\left(\frac{4365}{970}\right)^2 - 1}{80}$$

$$TDS = 0,121$$

Karena dari data relay diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih TDS = 0,125

### Waktu Operasi Relay

$$top_{primer} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{I_{sc \text{ Max Primer}}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

( $L=0$  sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$top_{primer} = \frac{80 \times 0,125}{\left(\frac{5204}{970}\right)^2 - 1}$$

$$top_{primer} = 0,36 \text{ detik}$$

$$top_{backup} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{I_{sc \text{ Max Backup}}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{backup} = \frac{80 \times 0,125}{\left(\frac{4365}{970}\right)^2 - 1}$$

$$top_{backup} = 0,519 \text{ detik}$$

Jadi, R1AL13 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,36 detik dan *backup* dalam waktu 0,519 detik.

#### 4.3.4 Perhitungan TDS Tipikal 4

##### **Relay160**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
Model	: P 142
Tipe Kurva	: Extremely Inverse
Tegangan	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 1AL12 <b>OPEN</b>
Rasio CT	: 75/5 A
FLA	: 62 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
Batas TDS	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 19230 A @6,6 kV

##### **Low Set Setting**

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

$$1,05 \times 62 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 62 \text{ A}$$

$$65,1 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 86,8 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 65,25 \text{ A}$

##### **Saturasi**

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$I_{sc \text{ Max Utama}} > 30 \times I_{pickup}$$

$$19230 \text{ A} > 1305 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

Ketika terjadi gangguan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) maksimum di Bus7, rele primer akan bekerja pada daerah saturasi.

##### ***Time Dial Setting (TDS)***

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di Bus7, maka relay akan bekerja dengan waktu operasi 0,1 detik.

**Dipilih,  $t_{op} = 0,1$  detik**

$$TDS = t_{op} \times \frac{\left(\frac{20 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1}{K}$$

$$TDS = 0,1 \times \frac{\left(\frac{20 \times 65,25}{65,25}\right)^2 - 1}{80}$$

$$TDS = 0,499$$

Karena dari data relay diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih TDS = 0,5

### **Waktu Operasi Relay**

$$t_{op\text{primer}} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{20 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$t_{op\text{primer}} = \frac{80 \times 0,5}{\left(\frac{20 \times 65,25}{65,25}\right)^2 - 1}$$

$$t_{op\text{primer}} = 0,1 \text{ detik}$$

Jadi, Relay160 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,1 detik

### **R1AL13**

<i>Manufacture</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P 343
<i>Tipe Kurva</i>	: Extremely Inverse
<i>Tegangan</i>	: 6,6 kV
<i>Output</i>	: CB 1AL13 <b>OPEN</b>
<i>Rasio CT</i>	: 1000/5 A
<i>FLA</i>	: 918,5 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	: 0,01
<i>TDS Step</i>	: 0,025
<i>Batas TDS</i>	: 0,025 – 1,2
<i>Isc Max Primer</i>	: 5204 A @6,6 kV
<i>Isc Max Backup</i>	: 4752 A @6,6 kV

### **Low Set Setting**

$1,05 \times \text{FLA}$	$\leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$
$1,05 \times 918,5 \text{ A}$	$\leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 918,5 \text{ A}$
964,43 A	$\leq I_{pickup} \leq 1285,9 \text{ A}$

Dipilih  $I_{pickup} = 970 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$I_{sc} \text{ Max Utama} > 30 \times I_{pickup}$$

$$5204 \text{ A} < 19400 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

$$I_{sc} \text{ Max Backup} > 30 \times I_{pickup}$$

$$4752 \text{ A} < 19400 \text{ A} \quad (\text{syarat tidak terpenuhi})$$

Karena ketika sebagai relay primer dan *backup* syarat saturasinya tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan hubung singkat ( $I_{sc}$ ) maksimum, R1AL13 saat menjadi relay primer dan *backup* akan bekerja pada daerah inverse.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di bus 1AL-B, maka relay akan bekerja sebagai relay *backup* dengan waktu operasi 0,1 detik + 0,3 detik = 0,4 detik

Dipilih,  $t_{op} = 0,4$  detik

$$TDS = t_{op} \times \frac{(I_{sc} \text{ Max Backup})^\alpha - 1}{K \cdot I_{pickup}}$$

$$TDS = 0,4 \times \frac{\left(\frac{4752}{970}\right)^2 - 1}{80}$$

$$TDS = 0,115$$

Karena dari data relay diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih TDS = 0,125

### Waktu Operasi Relay

$$t_{op_{primer}} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Primer}}{I_{pickup}}\right)^\alpha - 1} + L$$

( $L=0$  sesuai data relay ALSTOM P 142)

$$t_{op_{primer}} = \frac{80 \times 0,125}{\left(\frac{5204}{970}\right)^2 - 1}$$

$$t_{op_{primer}} = 0,36 \text{ detik}$$

$$t_{op_{backup}} = \frac{K \times TDS}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Backup}}{I_{pickup}}\right)^\alpha - 1} + L$$

(L=0 sesuai data relay ALSTOM P 343)

$$top_{backup} = \frac{80 \times 0,125}{\left(\frac{4752}{970}\right)^2 - 1}$$

$$top_{backup} = 0,435 \text{ detik}$$

Jadi, R1AL13 akan bekerja sebagai relay primer dalam waktu 0,36 detik dan *backup* dalam waktu 0,435 detik.

#### 4.4 Perhitungan *Time Dial Setting* (TDS) dengan AMFA

Perhitungan TDS diawali dengan membangkitkan persebaran nilai TDS yang memiliki nilai *cost* agar dapat bergerak ke TDS yang nilai *cost* yang lebih terang. Sebelumnya perlu dilakukan pengisian parameter *input* program meliputi tegangan rele, kV base, FLA, Hubung singkat maksimum saat rele menjadi rele utama dan *backup*, belitan primer CT, jenis kurva, penambahan nilai CTI, dan asumsi waktu operasi LVCB.

Meninjau dari *datasheet* rele [7], [8], [9] yang digunakan yaitu dengan *Manufacture* ALSTOM dengan tipe P142, P220, P343 dan Standard IEEE [3] didapatkan parameter yang dimasukkan ke dalam logika AMFA dan berbagai parameter batasan lain juga dimasukkan ke dalam logika AMFA yang antara lain sebagai berikut:

##### Syarat Low Set Setting :

Untuk mendapatkan nilai tap pada rele menggunakan syarat,

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

Kemudian nilai *Ipickup* yang dipilih masuk ke persamaan berikut,

$$\text{Tap pick up} = \frac{I_{pick up}}{CT \text{ primer}}$$

##### Syarat Saturasi :

Hubung singkat akan berada di daerah saturasi bentuk kurva pada tipe kurva *Standard Invers* dan *Very Invers* ketika,

$$I_{sc \text{ Max Utama}} > 30 \times I_{pickup}$$

Sedangkan, hubung singkat akan berada di daerah saturasi bentuk kurva pada tipe kurva *Extremely Invers* ketika,

$$I_{sc \text{ Max Utama}} > 20 \times I_{pickup}$$

##### Waktu Operasi Rele :

Jika memenuhi syarat saturasi sehingga hubung singkat berada di daerah kurva saturasi,

$$t \text{ operation} = \frac{\beta}{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^\alpha - 1} \times \text{TDS}$$

Jika tidak memenuhi syarat saturasi atau dengan kata lain hubung singkat berada di daerah kurva *invers time*,



$$t_{operation} = \frac{\beta}{\left(\frac{I_{sc\ max}}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} \times TDS$$

Untuk menghindari rele bekerja ketika gangguan sementara maka,

$$t_{operation\ minimum} = 0,1\ detik$$

Sedangkan untuk mengantisipasi agar peralatan tidak terlalu lama terkena gangguan dan dapat merusak peralatan maka,

$$t_{operation\ maximum} = 1\ detik$$

### CTI :

Besar CTI yang digunakan adalah sebesar 0,2 detik yang dimana pada logika AMFA dimasukkan beberapa syarat yang diantaranya adalah,

$$I_{sc\ max\ Rele\ Prim\ ke(n)} \neq I_{sc\ max\ Rele\ Prim\ ke(n+1)}$$

Besar CTI juga dapat di tambah ketika lokasi di bawah bus yang sama terdapat kondisi tipikal yang jumlah relenya lebih sedikit daripada tipikal lain.

Besar CTI dapat ditiadakan atau bernilai nol detik dengan tujuan untuk mempersingkat waktu operasi rele sehingga gangguan lebih cepat terlokalisasi jika memenuhi syarat berikut,

$$kV_{Rele\ ke(n)} \neq kV_{Rele\ ke(n+1)}$$

$$I_{sc\ max\ Rele\ Prim\ ke(n)} = I_{sc\ max\ Rele\ Prim\ ke(n+1)}$$

### Pertimbangan LVCB :

Dengan mempertimbangkan keberadaan LVCB, maka waktu operasi rele juga akan berubah sehingga perlu diubahnya parameter waktu operasi minimal rele disamakan dengan asumsi waktu operasi LVCB.

#### 4.4.1 Perhitungan TDS Tipikal 1

Untuk menjalankan program untuk menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa nilai *input*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 dengan data rele pada table 4.5.

Parameter *input* tersebut menggambarkan tentang kondisi tipikal 1. Parameter *input* kv artinya nilai tegangan tiap rele. kvbase artinya nilai tegangan referensi. FLA masuk adalah nilai FLA dari beban atau peralatan yang dilindungi tiap rele. *Isc\_max\_prim* dan *Isc\_max\_back* artinya nilai arus hubung singkat maksimum yang dirasakan oleh tiap rele sebagai rele primer ataupun sebagai rele *backup*. *nct* artinya nilai *current transformer* (CT) pada sisi primer yang terhubung ke tiap rele.

CurveTypeall artinya jenis kurva rele invers time yang dipilih dimana untuk nilai 1 adalah kurva *standard invers*, nilai 2 adalah kurva *very invers*, dan nilai 3 adalah kurva *extremely invers*. tLVCB artinya nilai asumsi waktu operasi LVCB. CTI\_plus artinya untuk menambah nilai CTI dengan step 0,1 detik.

```
%% Tipikal 1

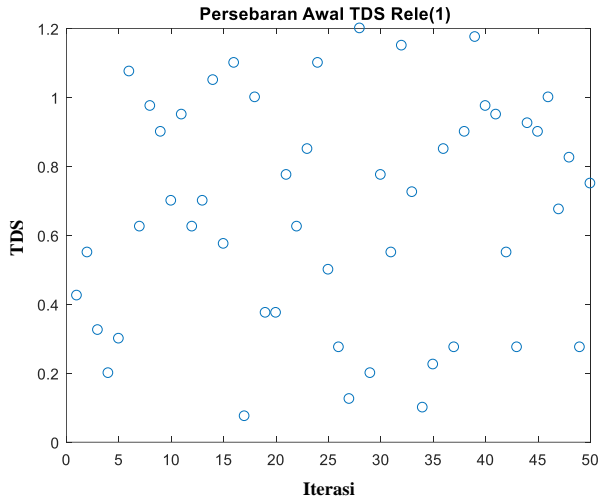
kv          = [6.6 6.6 6.6 6.6 33];
kvbase     = 6.6;
FLAmasuk   = [87.48 755.05 755.05 699.8
              279.9];
Isc_max_prim = [13178 10774 10774 11935 19832];
Isc_max_back = [0 10605 10605 10483 1713];
nct        = [100 750 1250 1000 500];
CurveTypeall = [3 3 3 2 1];
tLVCB      = 0;
CTI_plus   = [0 0 0 0];
```

**Gambar 4. 3** Parameter *Input* Tipikal 1 ke Program

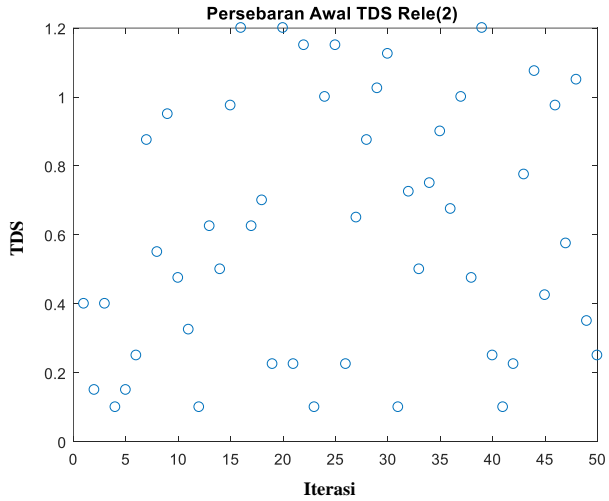
**Tabel 4. 5** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 1

Nomor Rele	ID Rele
1	R61MB2
2	R61MB
3	R2AL23
4	R2AL22
5	Relay24

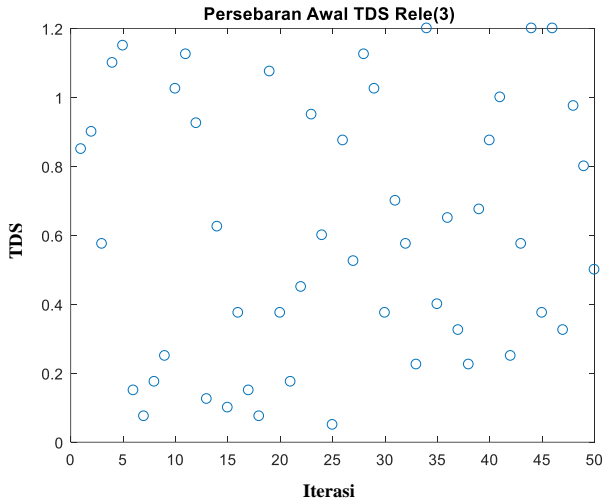
Kemudian dibangkitkan nilai TDS secara acak sebanyak 50 populasi yang nilainya di antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 sampai 4.8.



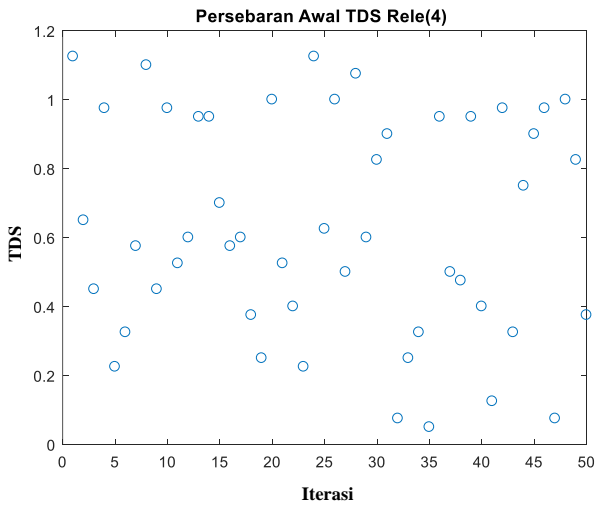
**Gambar 4. 4** Persebaran Awal TDS Pada Rele 1



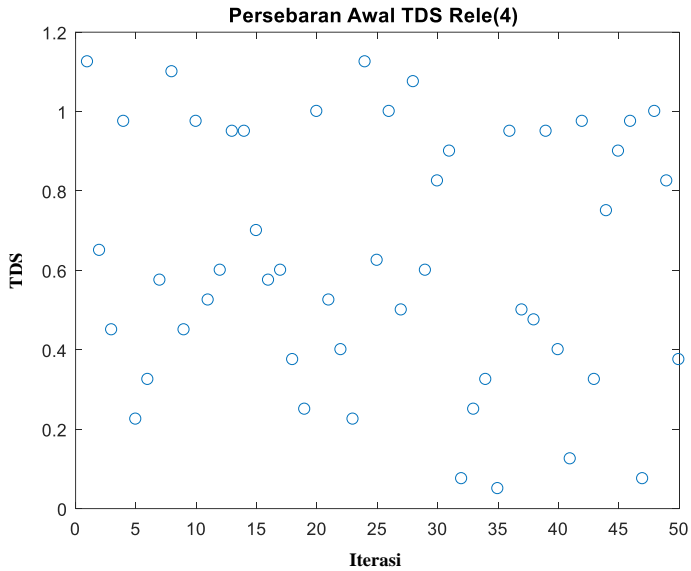
**Gambar 4. 5** Persebaran Awal TDS Pada Rele 2



**Gambar 4. 6** Persebaran Awal TDS Pada Rele 3



**Gambar 4. 7** Persebaran Awal TDS Pada Rele 4



**Gambar 4. 8** Persebaran Awal TDS Pada Rele 5

Melihat pada Gambar 4.4 sampai 4.8 terlihat bahwa TDS dibangkitkan dengan nilai acak dan berada dalam *range* TDS rele. Kemudian nilai TDS tersebut di gunakan untuk menghitung waktu operasi rele primer dan *backup* yang setelah itu akan di dapatkan fungsi objektif berupa *cost* yang merupakan total waktu operasi rele primer seluruh rele.

**Tabel 4. 6** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 1

Populasi	<i>Cost</i>
1	2.521011
2	1.391884
3	3.225309
4	1.774326
5	2.764792
6	1.075374
7	2.987501
8	2.330766

**Tabel 4. 6** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 1 (lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
9	2.1955356
10	3.7952401
11	2.2814251
12	1.5506391
13	2.0542218
14	1.9893894
15	3.341516
16	2.8080041
17	2.4253702
18	2.2623916
19	1.6583586
20	3.5859949
21	1.2420792
22	1.3256049
23	1.5231264
24	3.9523998
25	2.8669946
26	1.9171183
27	1.8249305
28	3.306824
29	3.0554635
30	2.6332591
31	1.8524731
32	2.4045898
33	2.3731024
34	2.4499673
35	2.2964291
36	3.1302871
37	2.2683923
38	2.44741
39	3.4847171
40	2.8794592
41	1.5261088

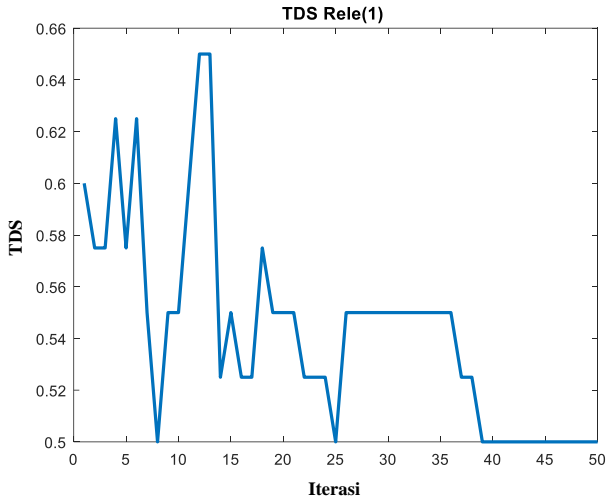
**Tabel 4. 6** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 1 (lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
42	2.4734613
43	1.676788
44	2.4372265
45	2.966817
46	2.7074304
47	1.1904135
48	3.126377
49	2.4302932
50	2.9969348

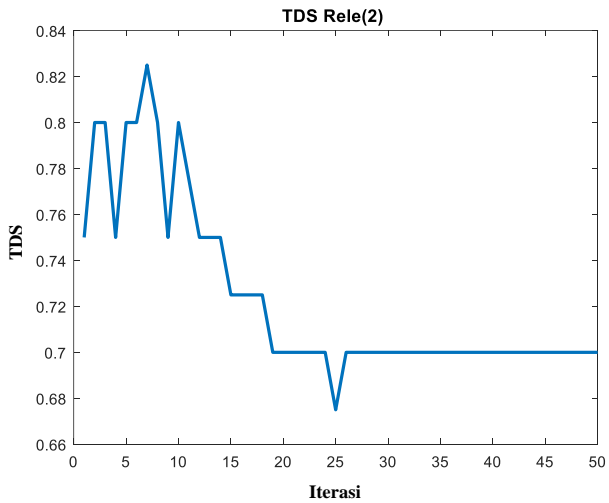
Setelah mendapat nilai fungsi objektif *cost* dari tiap populasi TDS, seperti pada Tabel 4.6, kemudian di setiap iterasi algoritma *firefly* akan dibandingkan nilai *cost* tiap populasi. Populasi yang memiliki *cost* tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. Nilai *cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi sehingga pada akhir iterasi akan mendapatkan *cost* yang paling rendah yang sudah sesuai dengan batasan-batasan yang telah diberikan dan merupakan hasil akhirnya. Pergerakan TDS dan nilai *cost* dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.9 sampai Gambar 4.14.

**Tabel 4. 7** Perubahan Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 1

Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3	TDS Rele 4	TDS Rele 5
1	2.221096	0.6	0.75	1	0.95	0.25
2	1.899941	0.575	0.8	1.075	0.7	0.175
3	1.899941	0.575	0.8	1.075	0.7	0.175
4	1.756434	0.625	0.75	0.925	0.625	0.175
5	1.652403	0.575	0.8	0.875	0.575	0.15
6	1.618875	0.625	0.8	0.775	0.575	0.15
7	1.614361	0.55	0.825	0.825	0.55	0.15
8	1.582559	0.5	0.8	0.8	0.55	0.15
9	1.559919	0.55	0.75	0.775	0.55	0.15
.	.	.	.	.	.	.
50	1.401446	0.5	0.7	0.7	0.5	0.125

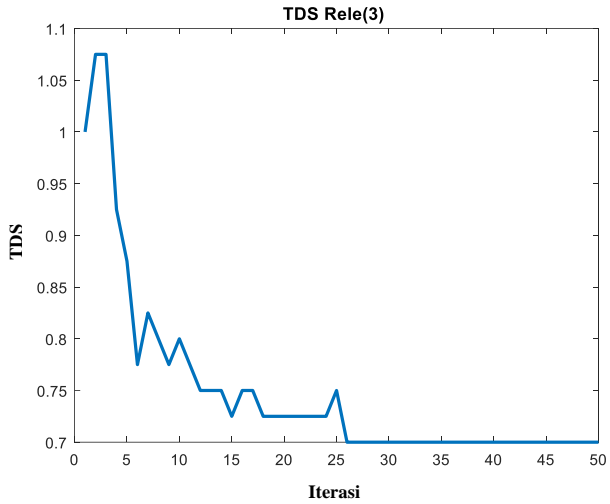


**Gambar 4. 9** Pergerakan TDS Pada Rele 1

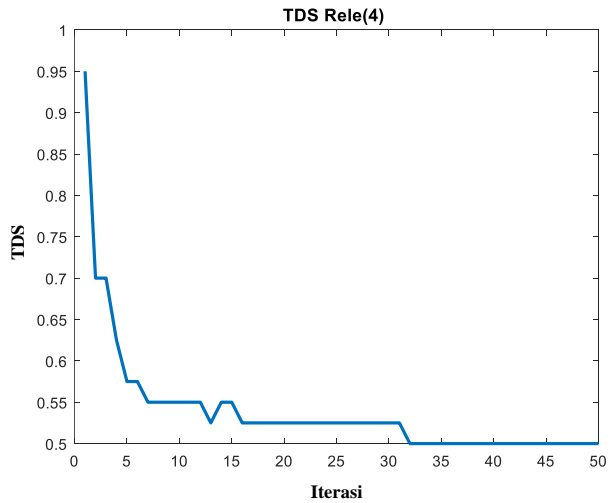


**Gambar 4. 10** Pergerakan TDS Pada Rele 2

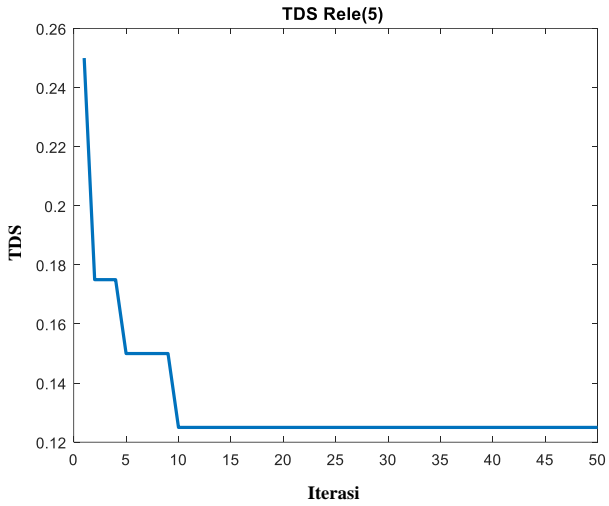




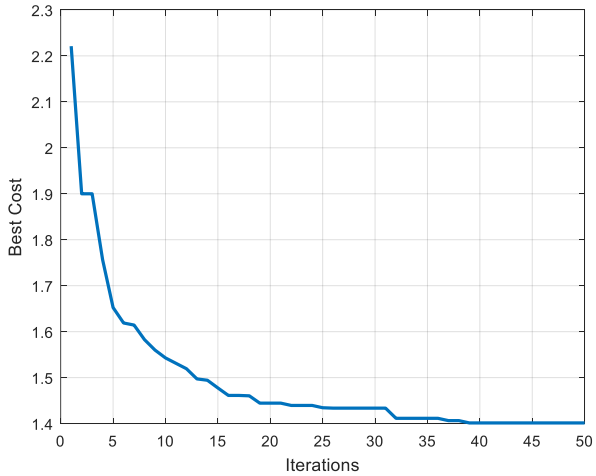
**Gambar 4. 11** Pergerakan TDS Pada Rele 3



**Gambar 4. 12** Pergerakan TDS Pada Rele 4



**Gambar 4. 13** Pergerakan TDS Pada Rele 5



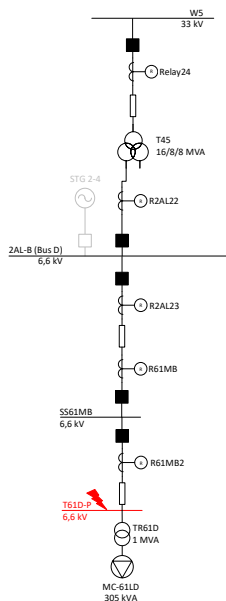
**Gambar 4. 14** Perubahan Fungsi Objektif *Cost*

Hasil dari *cost* terendah merupakan setting rele 51, meliputi tap *pickup* dan TDS pada tipikal ini.

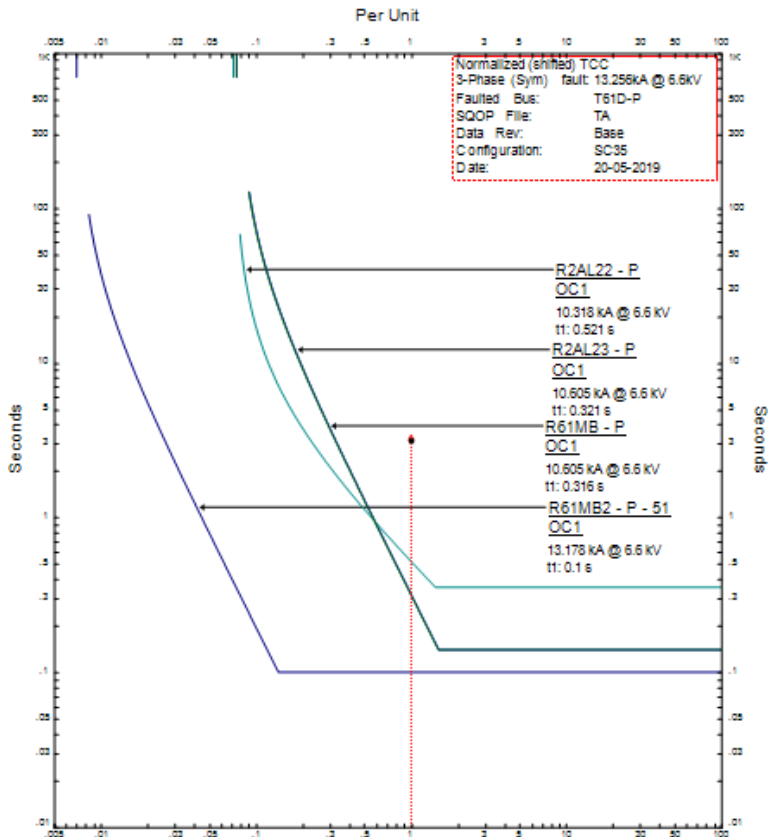
SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI	WAKTU OPERASI	CURVE TYPE
			PRIMER	SEKUNDER	
1	0.92	0.500	0.1003 s	0.0000 s	Extremely Inverse
2	1.06	0.700	0.3049 s	0.3147 s	Extremely Inverse
3	0.64	0.700	0.3049 s	0.3147 s	Extremely Inverse
4	0.74	0.500	0.4428 s	0.5088 s	Very Inverse
5	0.59	0.125	0.2486 s	0.4877 s	Standard Inverse

**Gambar 4. 15** Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 1

Terlihat pada Gambar 4.14 bahwa perhitungan mulai konvergen pada iterasi ke 39 dengan mendapatkan nilai *cost* sebesar 1.401446. Selanjutnya dilakukan pengujian hasil TDS Tipikal 1 yang didapatkan dari program seperti pada Gambar 4.15, melalui *Software* ETAP. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik dan bagaimana sistem pengamannya bekerja.

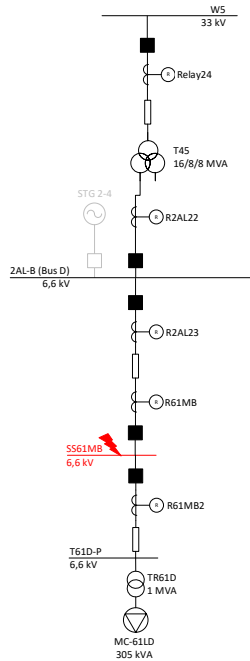


**Gambar 4. 16** Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus T61D-P



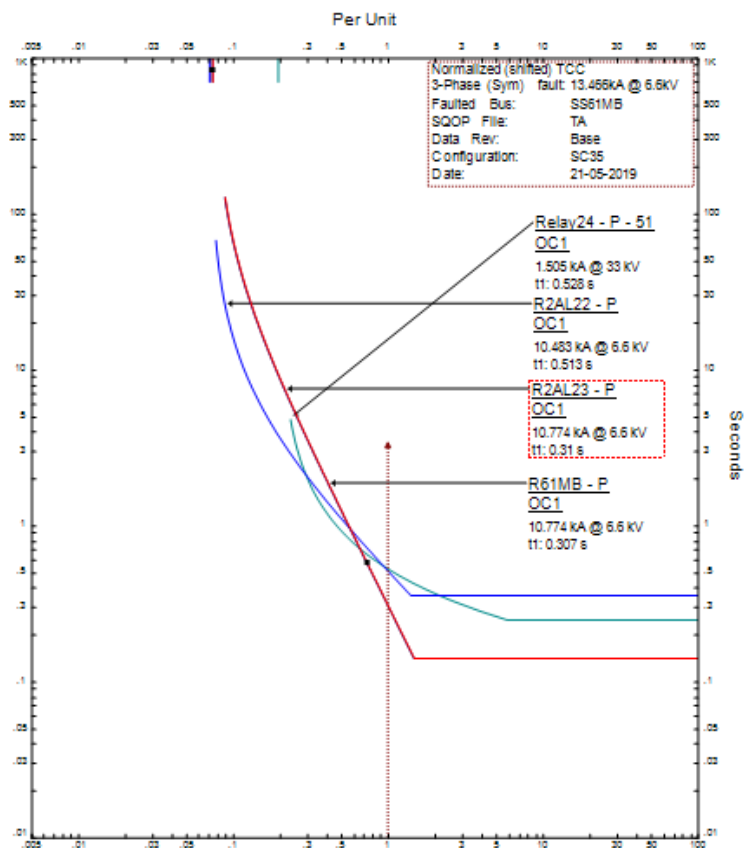
**Gambar 4. 17** Hasil Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus T61D-P

Dari Gambar 4.17 jika dilihat dari rele primer dan *backup* terlihat bahwa waktu operasi rele R61MB2 adalah 0,1 detik, sedangkan rele R61MB adalah 0,316 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,216 detik dimana nilainya relatif sama dengan hasil waktu operasi dengan metode perhitungan AMFA. Dengan demikian hal ini sudah sesuai standar IEEE 24. Koordinasi ini dapat dikatakan aman.

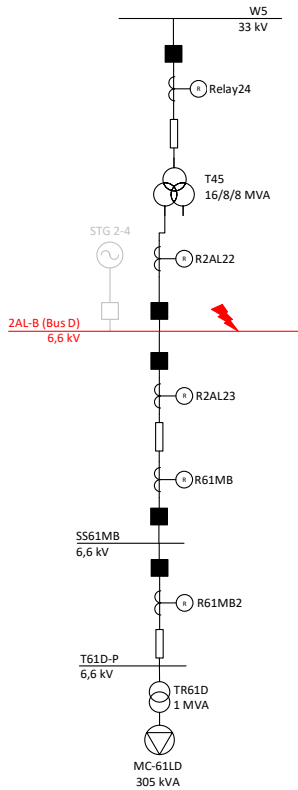


**Gambar 4. 18** Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus SS61MB

Dari Gambar 4.19 jika dilihat dari rele primer dan *backup*. Untuk kasus ini rele R61MB dan R2AL23 berada di satu *feeder* yang sama sehingga waktu operasinya dapat disamakan agar lebih cepat melokalisir gangguan. Terlihat bahwa waktu operasi rele R61MB dan R2AL23 adalah 0,307 detik dan 0,31 detik yang selisihnya sebesar 0,003 detik dimana ditargetkan untuk bekerja bersamaan. Sedangkan rele R2AL22 adalah 0,513 detik, sehingga didapatkan CTI antara rele R2AL23 dan 2AL22 sebesar 0,206 detik dimana nilainya relatif sama dengan hasil waktu operasi dengan metode perhitungan AMFA. Koordinasi ini dapat dikatakan aman.

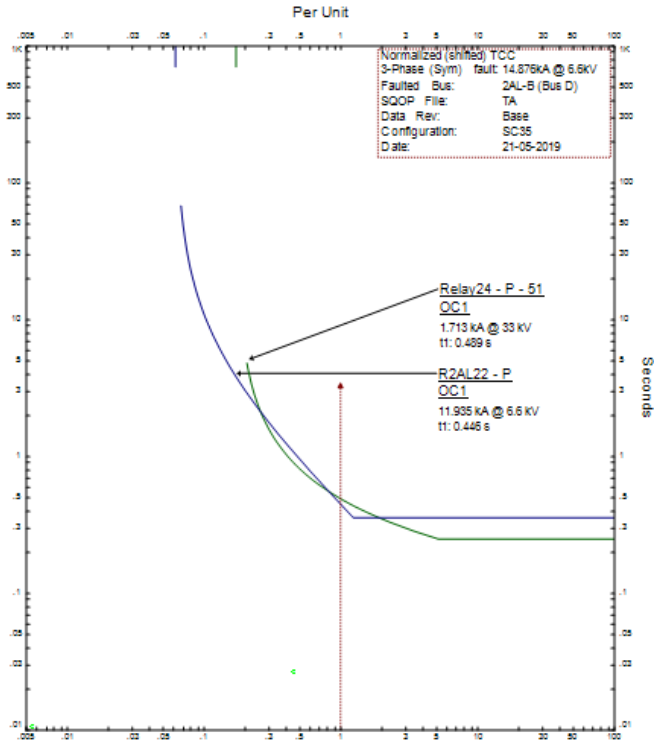


**Gambar 4. 19** Hasil Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus SS61MB



**Gambar 4. 20** Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus D)

Dari Gambar 4.21 jika dilihat dari rele primer dan *backup*. Terlihat bahwa waktu operasi rele R2AL22 dan Relay24 adalah 0,445 detik dan 0,489 detik yang selisihnya sebesar 0,044 detik dimana terpisah dengan trafo sehingga waktu operasinya dapat disamakan agar lebih cepat melokalisir gangguan. Nilainya relatif sama dengan hasil waktu operasi dengan metode perhitungan AMFA. Koordinasi ini dapat dikatakan aman.



**Gambar 4. 21** Hasil Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus D)

**Tabel 4. 8** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 1

ID-Rele	Tap Pickup	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen pada Iterasi
R61MB2	0,92	0,5	0,1003	-	EI	39
R61MB	1,06	0,7	0,3049	0,3147	EI	26
R2AL23	0,64	0,7	0,3049	0,3137	EI	26
R2AL22	0,74	0,5	0,4428	0,5088	VI	32
Relay24	0,59	0,125	0,2486	0,4877	SI	10

Keterangan : EI adalah *Extremely Invers*, VI adalah *Very Invers*, dan SI adalah *Standard Invers*



#### 4.4.2 Perhitungan TDS Tipikal 2

Untuk menjalankan program dalam menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa nilai *input*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.22

%% Tipikal 2 Dengan Adanya LVCB

```
kv           = [6.6 6.6 33];
kvbase      = 6.6;
FLAmasukan  = [87.48 699.8 279.9];
Isc_max_prim = [12916 11935 19832];
Isc_max_back = [1609 10447 1713];
nct         = [200 1000 500];
CurveTypeall = [1 2 1];
tLVCB       = 0.3;
CTI_plus    = [0 0];
```

**Gambar 4. 22** Parameter *Input* Tipikal 2 ke Program

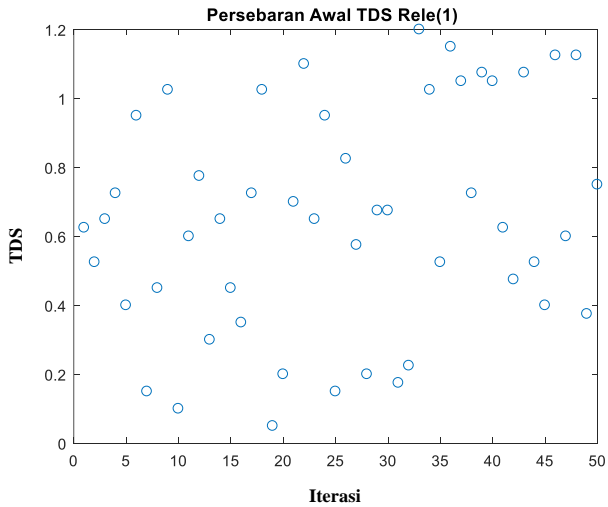
Gambar 4.22 merupakan parameter *input* yang menggambarkan tentang kondisi tipikal 2. Parameter *input* kv artinya nilai tegangan tiap rele. kvbase artinya nilai tegangan referensi. FLAmasukan adalah nilai FLA dari beban atau peralatan yang dilindungi tiap rele. Isc\_max\_prim dan Isc\_max\_back artinya nilai arus hubung singkat maksimum yang dirasakan oleh tiap rele sebagai rele primer ataupun sebagai rele *backup*. nct artinya nilai *current transformer* (CT) pada sisi primer yang terhubung ke tiap rele. CurveTypeall artinya jenis kurva rele invers time yang dipilih dimana untuk nilai 1 adalah kurva *standard invers*, nilai 2 adalah kurva *very invers*, dan nilai 3 adalah kurva *extremely invers*. tLVCB artinya nilai asumsi waktu operasi LVCB dalam satuan detik. CTI\_plus artinya untuk menambah nilai CTI dengan step 0,1 detik.

Terlihat pada Tabel 4.9, tipikal 2 memiliki data rele yang ketika akan melakukan perhitungan TDS akan mempertimangkan adanya LVCB yang waktu kerjanya di asumsikan. Pada kali ini waktu operasi LVCB diasumsikan sebesar 0,3 detik. Ini dikarenakan setiap beban motor di dalam *lumped load* L-SS69B sudah memiliki alat pengaman sendiri berupa *fuse* yang bekerja sebagai rele utama pelindung motor yang waktu untuk terjadi *trip* pada *fuse* adalah 0,1 detik.

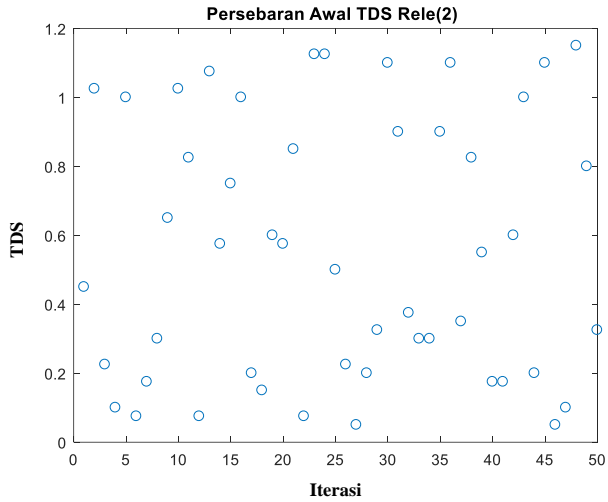
**Tabel 4. 9** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 2

Nomor Rele	ID Rele
LVCB	CB69LB
1	R2AL17
2	R2AL22
3	Relay24

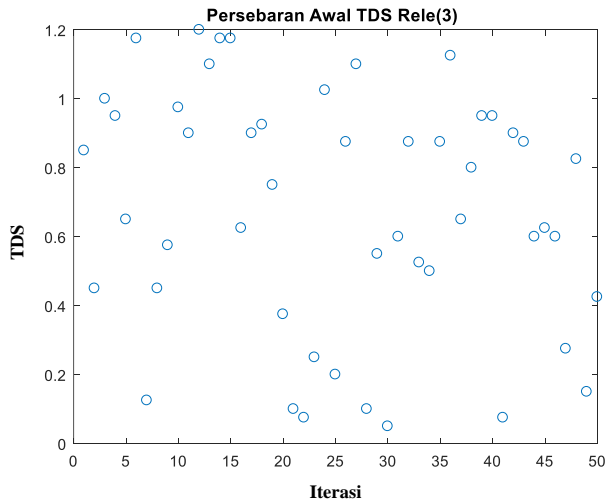
Kemudian dibangkitkan nilai TDS secara acak sebanyak 50 populasi yang nilainya di antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada Gambar 4.23 sampai 4.25.



**Gambar 4. 23** Persebaran Awal TDS Pada Rele 1



**Gambar 4. 24** Persebaran Awal TDS Pada Rele 2



**Gambar 4. 25** Persebaran Awal TDS Pada Rele 3

Melihat pada Gambar 4.23 sampai 4.25 terlihat bahwa TDS dibangkitkan dengan nilai acak dan berada dalam *range* TDS rele. Kemudian nilai TDS tersebut di gunakan untuk menghitung waktu operasi rele primer dan *backup* yang setelah itu akan di dapatkan fungsi objektif berupa *cost* yang merupakan total waktu operasi rele primer seluruh rele seperti pada Tabel 4.10.

**Tabel 4. 10** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 2

Populasi	<i>Cost</i>
1	3.3321666
2	2.8469794
3	3.4809475
4	3.4199613
5	2.9740047
6	4.2928212
7	0.7019372
8	2.0557034
9	3.7579117
10	3.0458687
11	3.7140143
12	3.9944873
13	3.736542
14	4.1389874
15	3.8962008
16	2.8248377
17	3.4090835
18	4.0111901
19	2.1225145
20	1.652872
21	2.3439314
22	2.4033735
23	2.7863793
24	4.9244385
25	1.1389462
26	3.5803921
27	3.375678

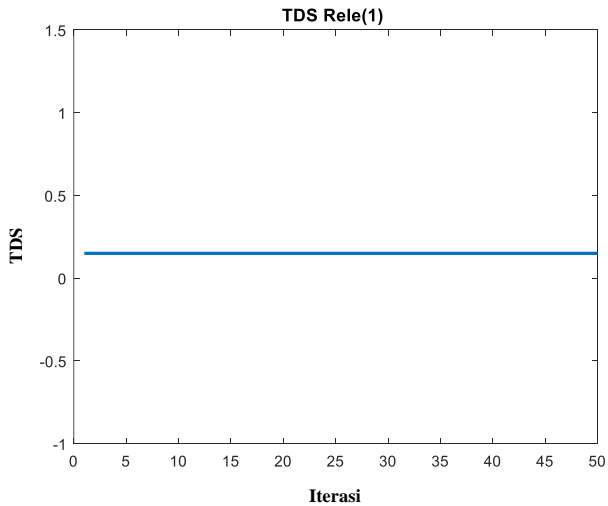
**Tabel 4. 10** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 2 (lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
28	0.7738012
29	2.7242351
30	2.4161814
31	2.3384925
32	2.5199069
33	3.6965395
34	3.2987611
35	3.5815502
36	5.4989645
37	3.6911006
38	3.7637366
39	4.5146241
40	4.1327764
41	1.5472165
42	3.2661275
43	4.7640077
44	2.4146374
45	3.0128491
46	3.4751226
47	1.8288475
48	4.8968579
49	1.7527027
50	2.6247905

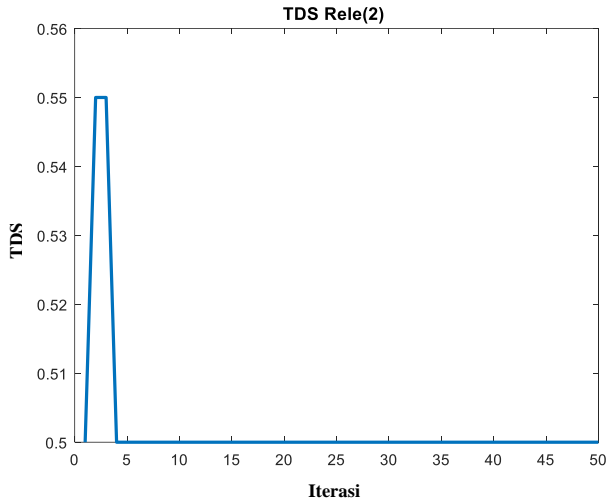
Setelah mendapat nilai fungsi objektif *cost* dari tiap populasi TDS kemudian di setiap iterasi algoritma *firefly* akan dibandingkan nilai *cost* tiap populasi. Populasi yang memiliki *cost* tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. Nilai *cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi sehingga pada akhir iterasi akan mendapatkan *cost* yang paling rendah dimana nilai tersebut merupakan nilai TDS minimum yang sudah sesuai dengan kondisi-kondisi yang telah diberikan dan merupakan hasil akhirnya. Pergerakan TDS dan nilai *cost* dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.26 sampai Gambar 4.29.

**Tabel 4. 11** Perubahan Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 2

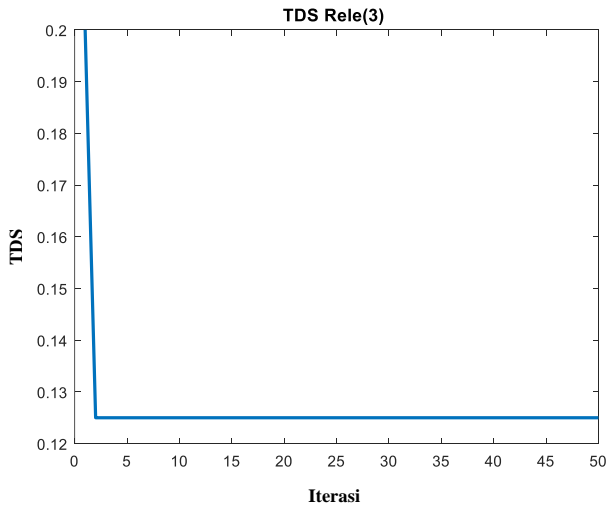
Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3
1	1.138946	0.15	0.5	0.2
2	1.034062	0.15	0.55	0.125
3	1.034062	0.15	0.55	0.125
4	0.989779	0.15	0.5	0.125
5	0.989779	0.15	0.5	0.125
6	0.989779	0.15	0.5	0.125
7	0.989779	0.15	0.5	0.125
8	0.989779	0.15	0.5	0.125
9	0.989779	0.15	0.5	0.125
.	-	-	-	-
50	0.989779	0.15	0.5	0.125



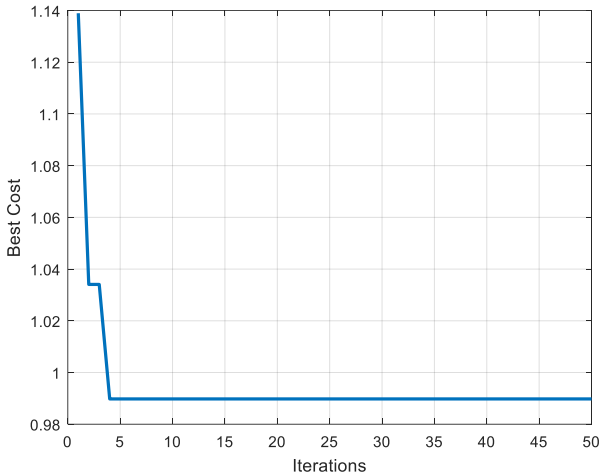
**Gambar 4. 26** Pergerakan TDS Pada Rele 1



**Gambar 4. 27** Pergerakan TDS Pada Rele 2



**Gambar 4. 28** Pergerakan TDS Pada Rele 3



**Gambar 4.29** Perubahan Fungsi Objektif *Cost*

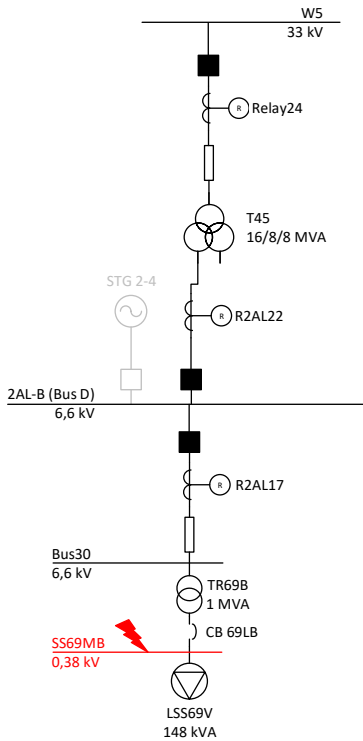
Hasil dari *cost* terendah merupakan setting rele 51, meliputi *Ipickup* dan TDS pada tipikal ini.

SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER	CURVE TYPE
LVCB			0.3000 s		
1	0.46	0.150	0.2983 s	0.3563 s	Standard Inverse
2	0.74	0.500	0.4428 s	0.5107 s	Very Inverse
3	0.59	0.125	0.2486 s	0.4877 s	Standard Inverse

**Gambar 4.30** Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 2

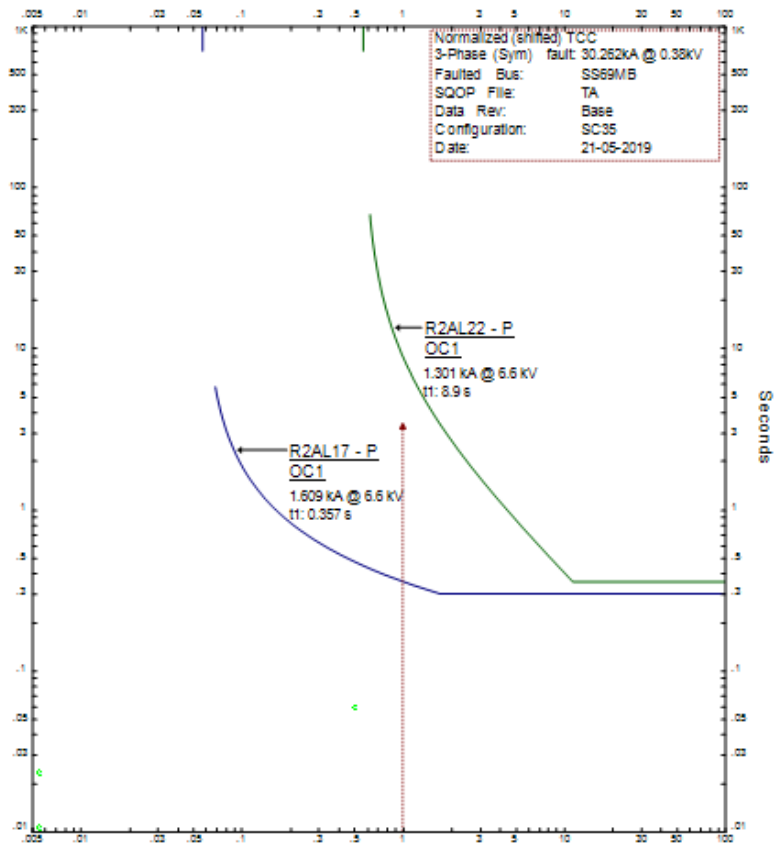
Terlihat pada Gambar 4.29 bahwa perhitungan mulai konvergen pada iterasi ke 4 dengan mendapatkan nilai *cost* sebesar 0.989779. Selanjutnya dilakukan pengujian hasil TDS Tipikal 2 yang didapatkan dari program yang terlihat pada Gambar 4.30 melalui Software ETAP. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik dan bagaimana sistem pengamannya bekerja.



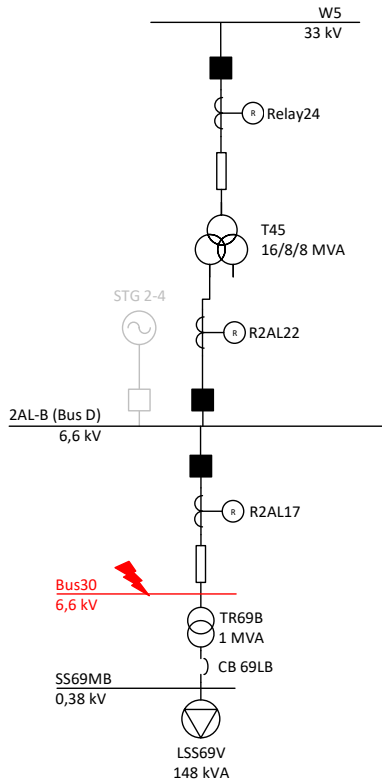


**Gambar 4. 31** Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS69MB

Pada Gambar 4.32 Pengaman primer LVCB memiliki waktu operasi yang diasumsikan sebesar 0,3 detik dan pengaman *backup*-nya rele R2AL17 yang waktu operasinya adalah 0,357 detik. Kedua pengaman ini ditargetkan untuk bekerja secara bersamaan karena kedua alat pengaman tersenut terpisah dengan trafo yang bertujuan untuk mempercepat melokalisir gangguan. Selesai waktu operasi kedua pengaman tersebut sebesar 0,057 detik. Nilainya relatif sama dengan hasil waktu operasi dengan metode perhitungan AMFA. Koordinasi ini dapat dikatakan aman.

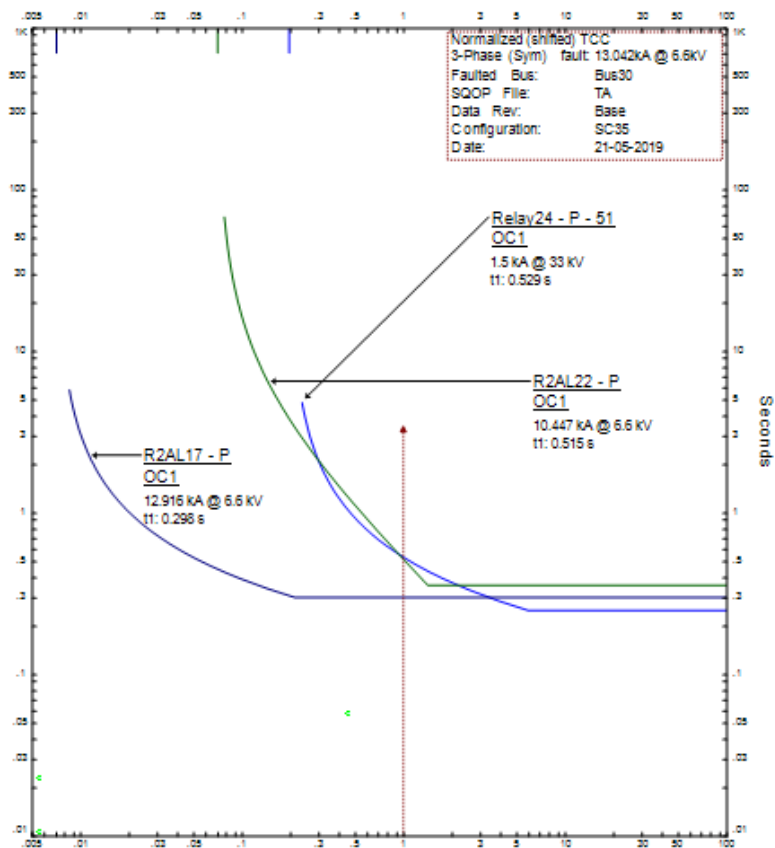


**Gambar 4. 32** Hasil Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus30

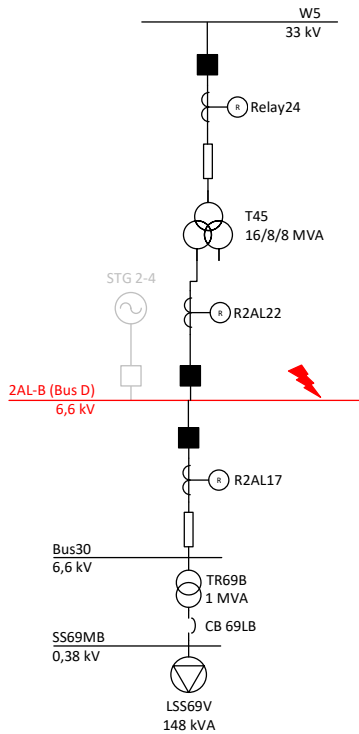


**Gambar 4. 33** Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus Bus30

Dari Gambar 4.34 jika dilihat dari rele primer dan *backup* terlihat bahwa waktu operasi rele R2AL22 adalah 0,515 detik, sedangkan rele R2AL17 adalah 0,296 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,219 detik dimana nilainya relatif sama dengan hasil waktu operasi dengan metode perhitungan AMFA. Dengan demikian hal ini sudah sesuai standar *IEEE 24*. Koordinasi ini dapat dikatakan aman.

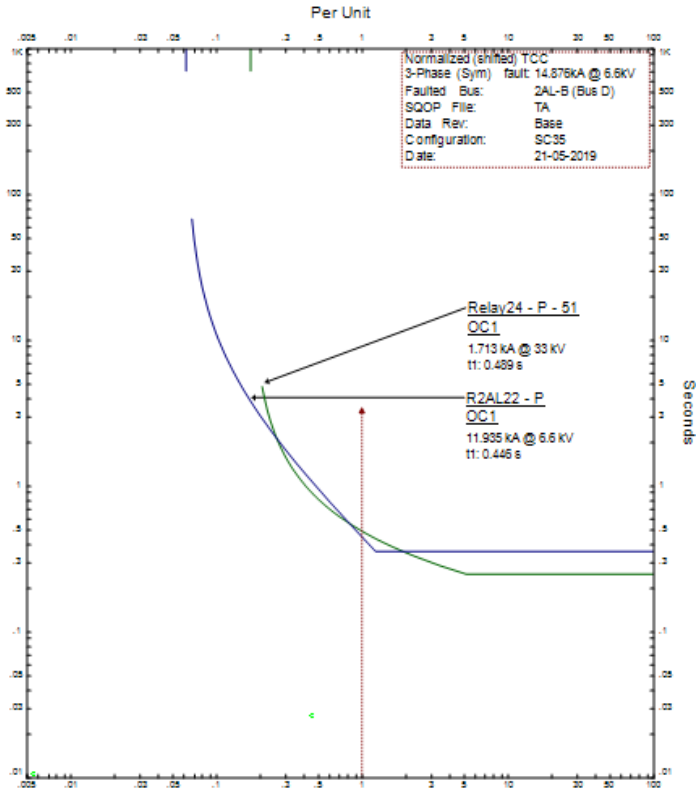


**Gambar 4. 34** Hasil Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus30



**Gambar 4. 35** Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS61MB

Pada tipikal 2 ini melewati rele yang sama dengan tipikal 1 tetapi nilai arus hubung singkat pada rele R2AL22 ketika menjadi *backup* saat tipikal 1 dan tipikal 2 berbeda. Oleh karena itu nilai arus hubung singkat yang dipilih untuk perhitungan TDS pada tipikal 2 adalah yang hampir sama dengan arus hubung singkat maksimal tipikal 1 untuk menghindari miskordinasi pengaman. Jadi, pada tipikal 2 ketika terjadi gangguan di bus 2AL-B (Bus D) perhitungan TDS-nya sama dengan tipikal 1. Koordinasi pengaman tersebut dapat dikatakan aman.



**Gambar 4. 36** Hasil Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus D)

**Tabel 4. 12** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 2

ID LVCB/ Rele	Tap Pickup	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen pada Iterasi
CB69LB	-	-	0,3000	-	-	-
R2AL17	0,46	0,15	0,2983	0,3563	SI	1
R2AL22	0,74	0,5	0,4428	0,5107	VI	4
Relay24	0,59	0,125	0,2486	0,4877	SI	2

Keterangan : EI adalah *Extremely Invers*, VI adalah *Very Invers*, dan SI adalah *Standard Invers*

### 4.4.3 Perhitungan TDS Tipikal 3

Untuk menjalankan program dalam menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa nilai *input*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.37

```
%% Tipikal 3

kv = [6.6 6.6 6.6 6.6];
kvbase = 6.6;
FLAmasukan = [140 476.86 476.86 918.5];
Isc_max_prim = [17736 16124 16124 5204];
Isc_max_back = [0 15716 15716 4365];
nct = [150 600 1250 1000];
CurveTypeall=[3 2 2 3];
tLVCB = 0;
CTI_plus = [0 0 0];
```

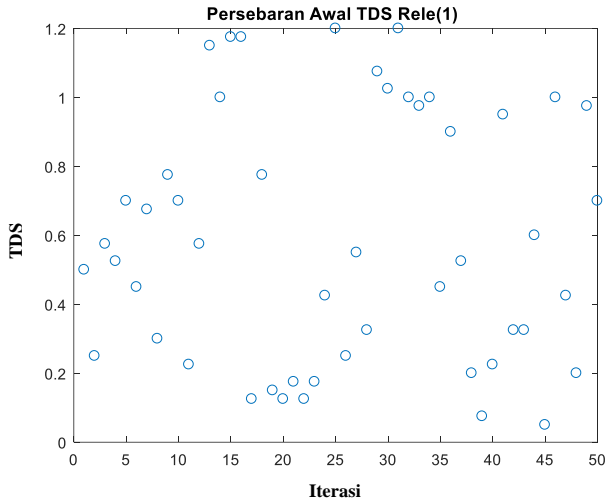
**Gambar 4. 37** Parameter *Input* Tipikal 3 ke Program

Pada parameter *input* Gambar 4.37 dengan data rele seperti Tabel 4.13 menggambarkan tentang kondisi tipikal 3. Parameter *input* kv artinya nilai tegangan tiap rele. kvbase artinya nilai tegangan referensi. FLAmasukan adalah nilai FLA dari beban atau peralatan yang dilindungi tiap rele. Isc\_max\_prim dan Isc\_max\_back artinya nilai arus hubung singkat maksimum yang dirasakan oleh tiap rele sebagai rele primer ataupun sebagai rele *backup*. nct artinya nilai *current transformer* (CT) pada sisi primer yang terhubung ke tiap rele. CurveTypeall artinya jenis kurva rele invers time yang dipilih dimana untuk nilai 1 adalah kurva *standard invers*, nilai 2 adalah kurva *very invers*, dan nilai 3 adalah kurva *extremely invers*. tLVCB artinya nilai asumsi waktu operasi LVCB. CTI\_plus artinya untuk menambah nilai CTI dengan step 0,1 detik.

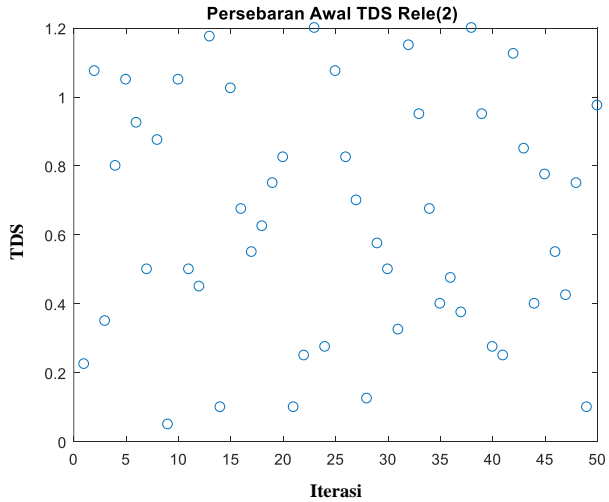
**Tabel 4. 13** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 3

Nomor Rele	ID Rele
1	R64MA3
2	R64MA
3	R1AL17
4	R1AL13

Kemudian dibangkitkan nilai TDS secara acak sebanyak 50 populasi yang nilainya di antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada Gambar 4.38 sampai 4.41.

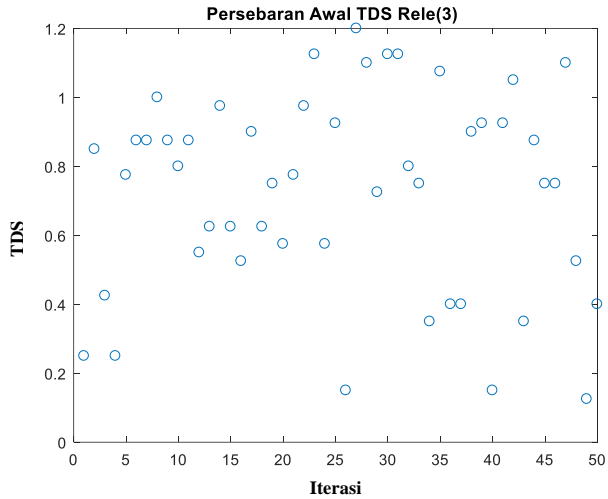


**Gambar 4. 38** Persebaran Awal TDS Pada Rele 1

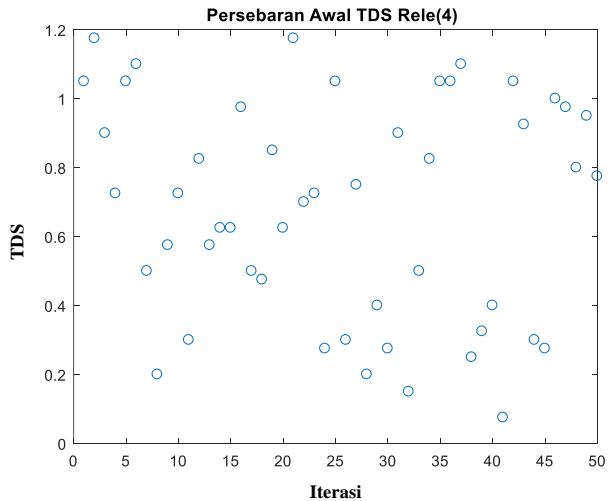


**Gambar 4. 39** Persebaran Awal TDS Pada Rele 2





**Gambar 4. 40** Persebaran Awal TDS Pada Rele 3



**Gambar 4. 41** Persebaran Awal TDS Pada Rele 4

Melihat pada Gambar 4.38 sampai 4.41 terlihat bahwa TDS dibangkitkan dengan nilai acak dan berada dalam *range* TDS rele.

Kemudian nilai TDS tersebut di gunakan untuk menghitung waktu operasi rele primer dan *backup* yang setelah itu akan di dapatkan fungsi objektif berupa *cost* yang merupakan total waktu operasi rele primer seluruh rele.

**Tabel 4. 14** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 3

Populasi	<i>Cost</i>
1	3.3089517
2	4.2894907
3	3.0368472
4	2.6569094
5	3.9775002
6	4.0580027
7	2.1980819
8	1.5020581
9	2.2220478
10	3.0644109
11	1.5387934
12	2.92819
13	2.7045634
14	2.4792539
15	2.7820141
16	3.5683914
17	2.12272
18	2.0888095
19	3.1468685
20	2.4551084
21	3.78566
22	2.5870415
23	3.1802684
24	1.2633642
25	4.1592163
26	1.357599
27	3.1287444
28	1.2044845
29	1.9588371

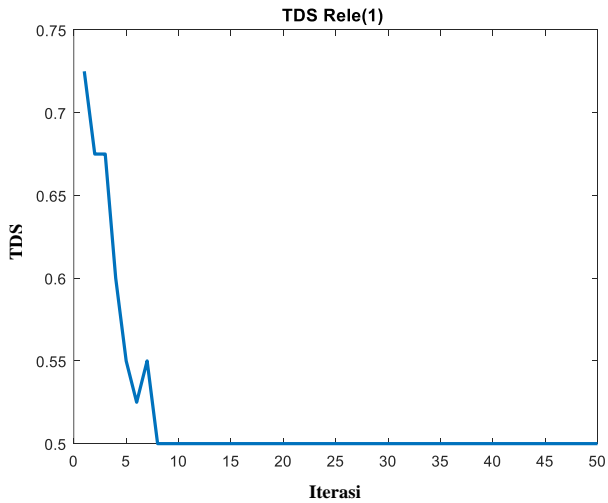
**Tabel 4. 14** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 3 (lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
30	1.7444408
31	3.4763847
32	1.5350571
33	2.4095253
34	3.025041
35	3.7644438
36	3.5753591
37	3.5958851
38	1.7290151
39	1.8126097
40	1.3810835
41	0.9508575
42	4.0652433
43	3.2556996
44	1.5674296
45	1.5024004
46	3.6509883
47	3.5693086
48	2.9098864
49	3.003279
50	2.9855559

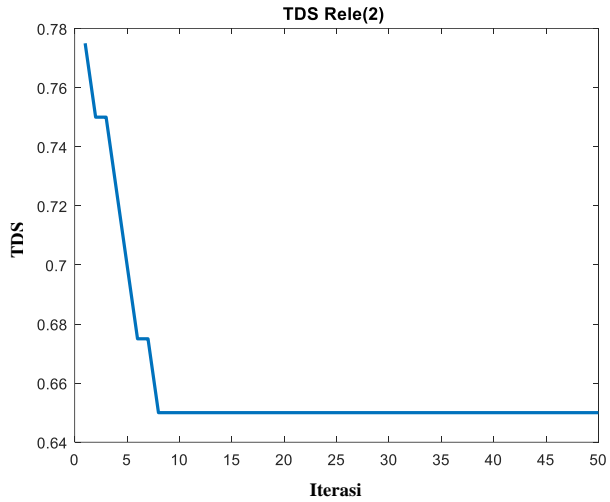
Setelah mendapat nilai fungsi objektif *cost* dari tiap populasi TDS kemudian di setiap iterasi algoritma *firefly* akan dibandingkan nilai *cost* tiap populasi. Populasi yang memiliki *cost* tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. Nilai *cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi sehingga pada akhir iterasi akan mendapatkan *cost* yang paling rendah dimana nilai tersebut merupakan nilai TDS minimum yang sudah sesuai dengan kondisi-kondisi yang telah diberikan dan merupakan hasil akhirnya. Pergerakan TDS dan nilai *cost* dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.42 sampai Gambar 4.46.

**Tabel 4. 15** Perubahan Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 3

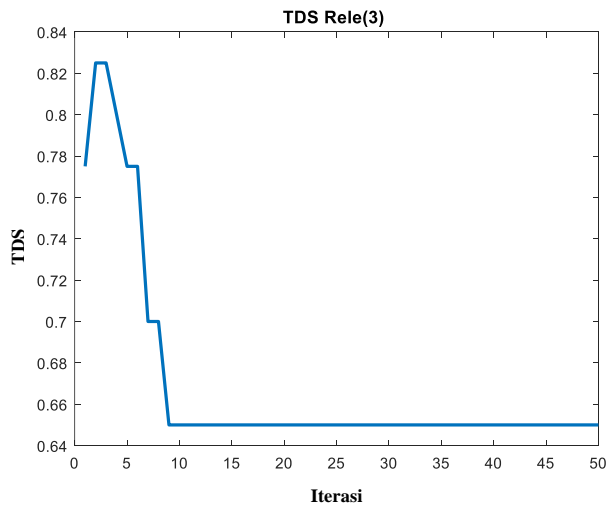
Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3	TDS Rele 4
1	1.4359781	0.725	0.775	0.775	0.2
2	1.2953252	0.675	0.75	0.825	0.15
3	1.2953252	0.675	0.75	0.825	0.15
4	1.2570117	0.6	0.725	0.8	0.15
5	1.2237108	0.55	0.7	0.775	0.15
6	1.2070604	0.525	0.675	0.775	0.15
7	1.1771591	0.55	0.675	0.7	0.15
8	1.1554961	0.5	0.65	0.7	0.15
9	1.1322202	0.5	0.65	0.65	0.15
.	.	.	.	.	.
50	1.0610874	0.5	0.65	0.65	0.125



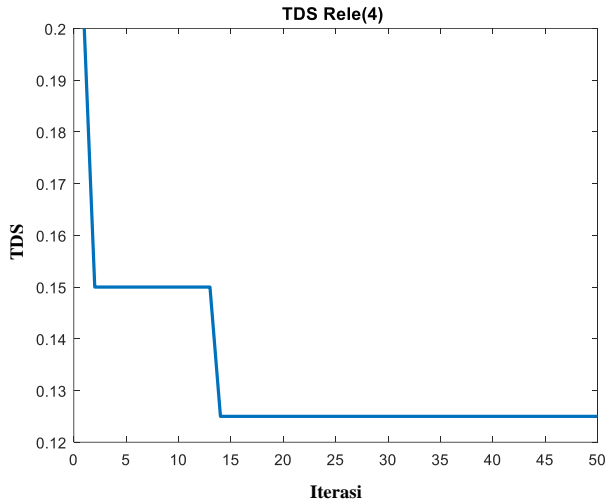
**Gambar 4. 42** Pergerakan TDS Pada Rele 1



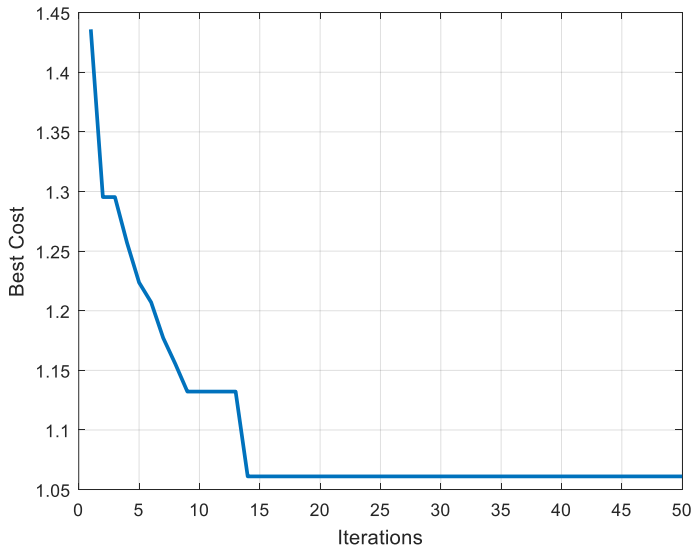
**Gambar 4.43** Pergerakan TDS Pada Rele 2



**Gambar 4.44** Pergerakan TDS Pada Rele 3



**Gambar 4. 45** Pergerakan TDS Pada Rele 4



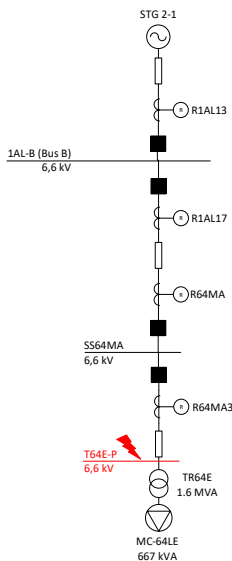
**Gambar 4. 46** Perubahan Fungsi Objektif *Cost*

Hasil dari *cost* terendah merupakan setting rele 51, meliputi *Ipickup* dan TDS pada tipikal ini.

SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI	WAKTU OPERASI	CURVE TYPE
			PRIMER	SEKUNDER	
1	0.98	0.500	0.1003 s	0.0000 s	Extremely Inverse
2	0.84	0.650	0.3026 s	0.3026 s	Very Inverse
3	0.41	0.650	0.3026 s	0.3026 s	Very Inverse
4	0.97	0.125	0.3557 s	0.5132 s	Extremely Inverse

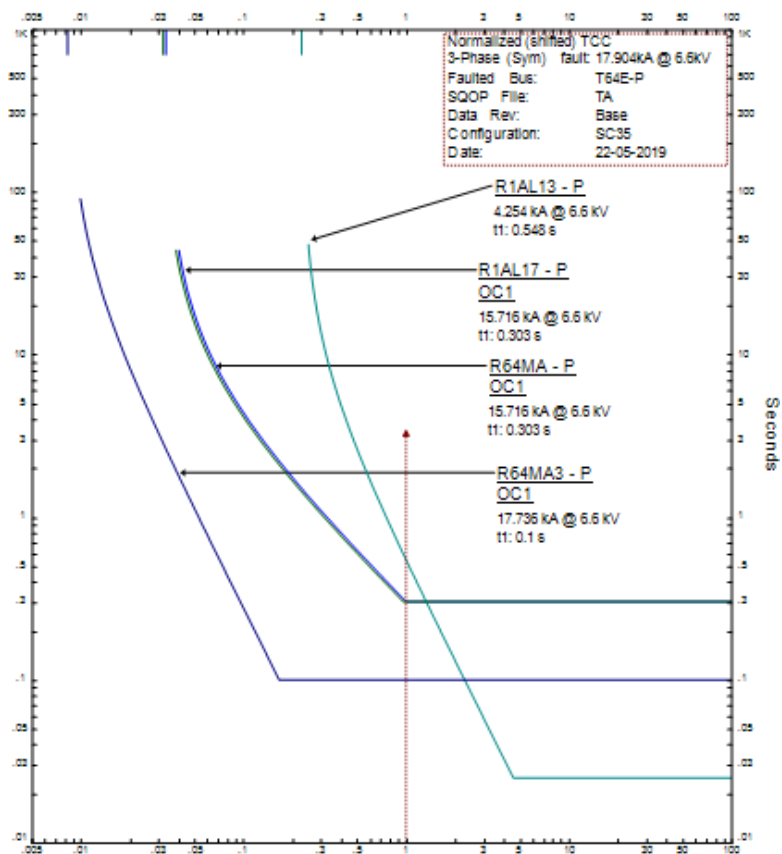
**Gambar 4. 47** Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 3

Terlihat pada Gambar 4.46 bahwa perhitungan mulai konvergen pada iterasi ke 14 dengan mendapatkan nilai *cost* sebesar 1.0610874 dengan hasil seperti pada Gambar 4.47. Selanjutnya dilakukan pengujian hasil TDS Tipikal 3 yang didapatkan dari program melalui Software ETAP. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik dan bagaimana sistem pengamannya bekerja.



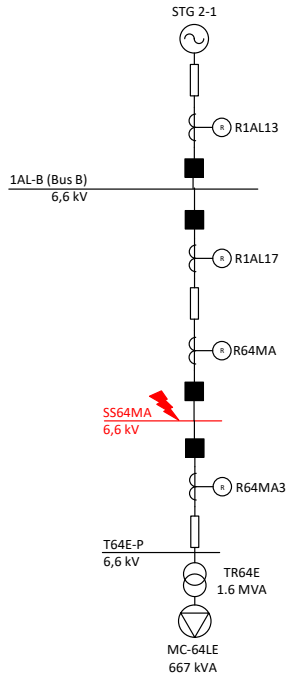
**Gambar 4. 48** Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus T64E-P

Dari Gambar 4.49 jika dilihat dari rele primer dan *backup* terlihat bahwa waktu operasi rele R64MA3 adalah 0,1 detik, sedangkan rele R64MA adalah 0,303 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,203 detik dimana nilainya relatif sama dengan hasil waktu operasi dengan metode perhitungan AMFA. Dengan demikian hal ini sudah sesuai standar *IEEE* 24. Koordinasi ini dapat dikatakan aman.



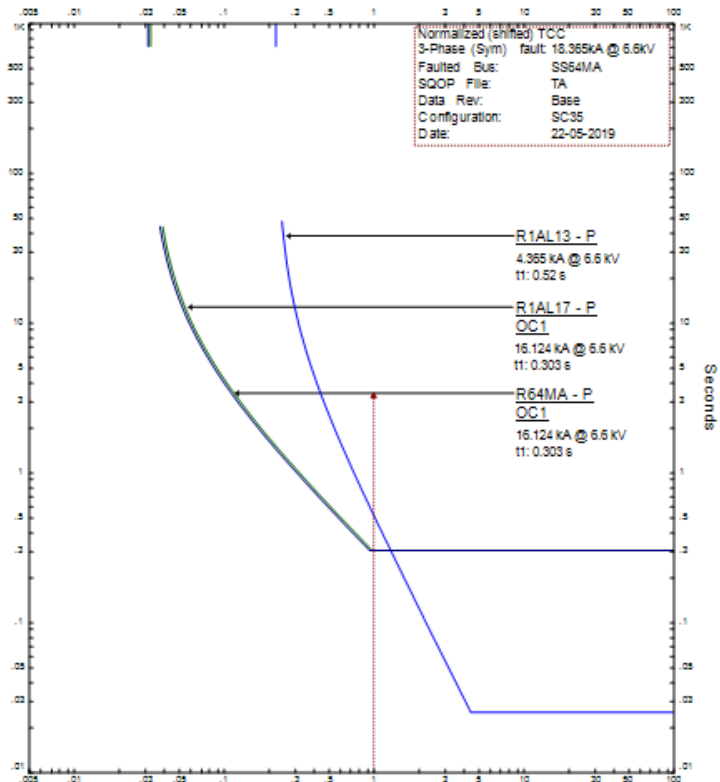
**Gambar 4. 49** Hasil Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus T64E-P





**Gambar 4. 50** Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus SS64MA

Dari Gambar 4.51 jika dilihat dari rele primer dan *backup*. Untuk kasus ini rele R64MB dan R1AL17 berada di satu *feeder* yang sama sehingga waktu operasinya dapat disamakan agar lebih cepat melokalisir gangguan. Terlihat bahwa waktu operasi rele R64MB dan R1AL17 adalah 0,303 detik dan 0,303 detik yang selisihnya sebesar 0 detik dimana ditargetkan untuk bekerja bersamaan. Sedangkan rele R1AL13 adalah 0,52 detik, sehingga didapatkan CTI antara rele R64MB dan R1AL17 dengan R1AL13 sebesar 0,217 detik dimana nilainya relatif sama dengan hasil waktu operasi dengan metode perhitungan AMFA. Dengan demikian hal ini sudah sesuai standar *IEEE 24*. Koordinasi ini dapat dikatakan aman.



**Gambar 4. 51** Hasil Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus SS64MA

**Tabel 4. 16** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 3

ID-Rele	Tap Pickup	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen pada Iterasi
R64MA3	0,98	0,5	0,1003	-	EI	8
R64MA	0,84	0,65	0,3026	0,3126	VI	8
R1AL17	0,41	0,65	0,3026	0,3126	VI	9
R1AL13	0,97	0,125	0,3557	0,5132	EI	14

Keterangan : EI adalah *Extremely Invers*, VI adalah *Very Invers*, dan SI adalah *Standard Invers*

#### 4.4.4 Perhitungan TDS Tipikal 4

Untuk menjalankan program dalam menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa nilai *input*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.52

```
%% tipikal 4 Target CTI Bertambah
```

```
kv = [6.6 6.6];  
kvbase = 6.6;  
FLAmasuk = [62 918.5];  
Isc_max_prim = [19230 5204];  
Isc_max_back = [0 4752];  
nct = [75 1000];  
CurveTypeall=[3 3];  
tLVCB = 0;  
CTI_plus = [1];
```

**Gambar 4. 52** Parameter *Input* Tipikal 4 ke Program

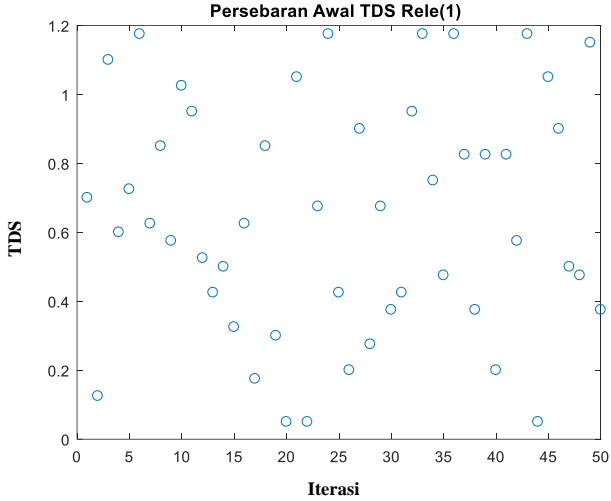
Pada parameter *input* Gambar 4.52 dengan data rele Tabel 4.17 menggambarkan tentang kondisi tipikal 4. Parameter *input* kv artinya nilai tegangan tiap rele. kvbase artinya nilai tegangan referensi. FLAmasuk adalah nilai FLA dari beban atau peralatan yang dilindungi tiap rele. Isc\_max\_prim dan Isc\_max\_back artinya nilai arus hubung singkat maksimum yang dirasakan oleh tiap rele sebagai rele primer ataupun sebagai rele *backup*. nct artinya nilai *current transformer* (CT) pada sisi primer yang terhubung ke tiap rele. CurveTypeall artinya jenis kurva rele invers time yang dipilih dimana untuk nilai 1 adalah kurva *standard invers*, nilai 2 adalah kurva *very invers*, dan nilai 3 adalah kurva *extremely invers*. tLVCB artinya nilai asumsi waktu operasi LVCB. CTI\_plus artinya untuk menambah nilai CTI dengan step 0,1 detik.

Pada tipikal 4 ini akan melakukan perhitungan TDS dengan mempertimangkan adanya menambah waktu target CTI. Pada keadaan normal target CTI sebesar 0,2 detik tetapi pada tipikal 4 merupakan kasus dimana beberapa rele merupakan rele dari tipikal 3. Jumlah rele pada saluran tipikal 3 dan tipikal 4 berbeda.

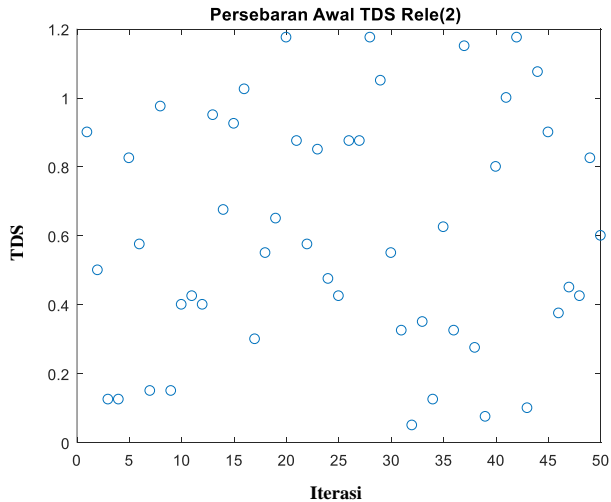
**Tabel 4. 17** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 4

Nomor Rele	ID Rele
1	Relay160
2	R1AL13

Kemudian dibangkitkan nilai TDS secara acak sebanyak 50 populasi yang nilainya di antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada Gambar 4.53 sampai 4.54.



**Gambar 4. 53** Persebaran Awal TDS Pada Rele 1



**Gambar 4. 54** Persebaran Awal TDS Pada Rele 2

Melihat pada Gambar 4.53 sampai 4.54 terlihat bahwa TDS dibangkitkan dengan nilai acak dan berada dalam *range* TDS rele. Kemudian nilai TDS tersebut di gunakan untuk menghitung waktu operasi rele primer dan *backup* yang setelah itu akan di dapatkan fungsi objektif berupa *cost* yang merupakan total waktu operasi rele primer seluruh rele.

**Tabel 4. 18** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 4

Populasi	<i>Cost</i>
1	2.701134
2	1.44772
3	0.5762157
4	0.4759651
5	2.492748
6	1.8716449
7	0.5521105
8	2.9446078
9	0.5420854
10	1.3436396
11	1.3997349
12	1.243389
13	2.7882619
14	2.020838
15	2.6970789
16	3.0417608
17	0.8886821
18	1.7353491
19	1.9096049
20	3.3532697
21	2.7001766
22	1.646081
23	2.5538558
24	1.5871134
25	1.2944717
26	2.5297505
27	2.6701014
28	3.3983825
29	3.1229187

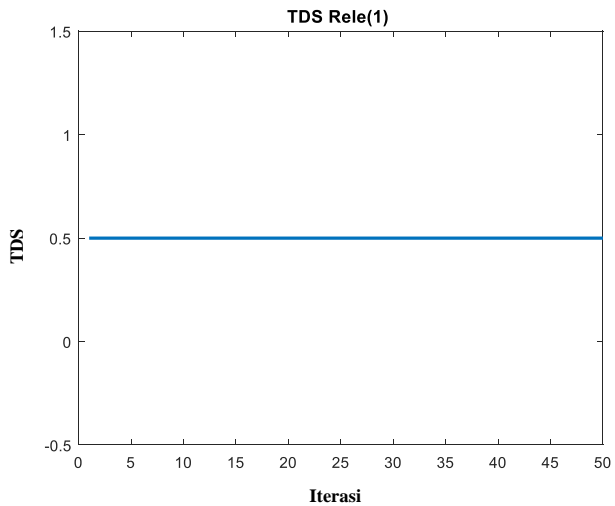
**Tabel 4. 18** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 4 (lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
30	1.640111
31	1.0099403
32	0.3327419
33	1.2314491
34	0.5060403
35	1.8735597
36	1.1603162
37	3.4375253
38	0.8576495
39	0.3788121
40	2.3163519
41	3.0107282
42	3.4585329
43	0.5201204
44	3.0687383
45	2.7713095
46	1.2474441
47	1.3806422
48	1.3044968
49	2.577961
50	1.7823767

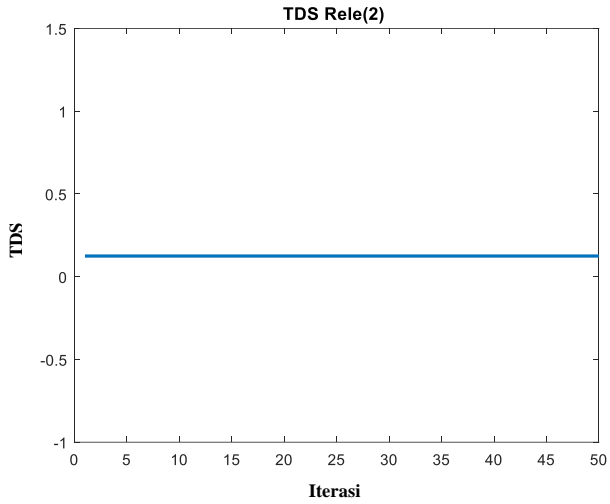
Setelah mendapat nilai fungsi objektif *cost* dari tiap populasi TDS kemudian di setiap iterasi algoritma *firefly* akan dibandingkan nilai *cost* tiap populasi. Populasi yang memiliki *cost* tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. Nilai *cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi sehingga pada akhir iterasi akan mendapatkan *cost* yang paling rendah dimana nilai tersebut merupakan nilai TDS minimum yang sudah sesuai dengan kondisi-kondisi yang telah diberikan dan merupakan hasil akhirnya. Pergerakan TDS dan nilai *cost* dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.55 sampai Gambar 4.57.

**Tabel 4. 19** Perubahan Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 4

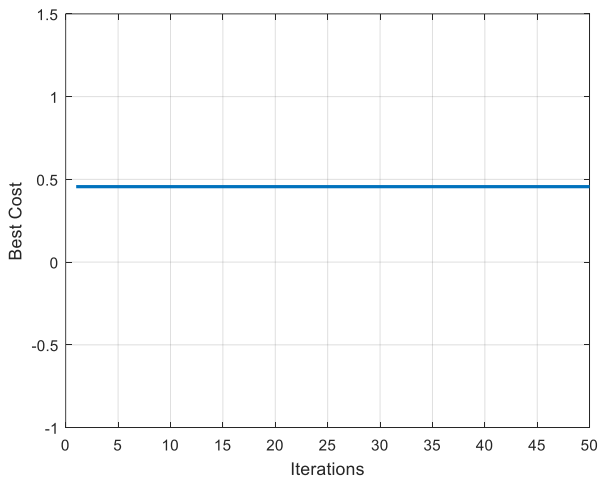
Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2
1	0.455915	0.5	0.125
2	0.455915	0.5	0.125
3	0.455915	0.5	0.125
4	0.455915	0.5	0.125
5	0.455915	0.5	0.125
6	0.455915	0.5	0.125
7	0.455915	0.5	0.125
8	0.455915	0.5	0.125
9	0.455915	0.5	0.125
.	.	.	.
50	0.455915	0.5	0.125



**Gambar 4. 55** Pergerakan TDS Pada Rele 1



**Gambar 4. 56** Pergerakan TDS Pada Rele 2



**Gambar 4. 57** Perubahan Fungsi Objektif *Cost*

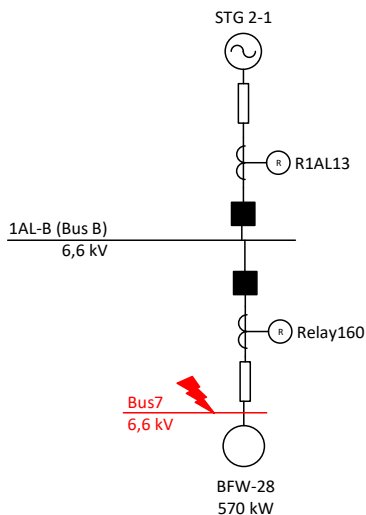


Hasil dari *cost* terendah merupakan setting rele 51, meliputi *Ipickup* dan TDS pada tipikal ini.

SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER	CURVE TYPE
1	0.87	0.500	0.1003 s	0.0000 s	Extremely Inverse
2	0.97	0.125	0.3557 s	0.4296 s	Extremely Inverse

**Gambar 4. 58** Hasil Perhitungan TDS Pada Tipikal 4

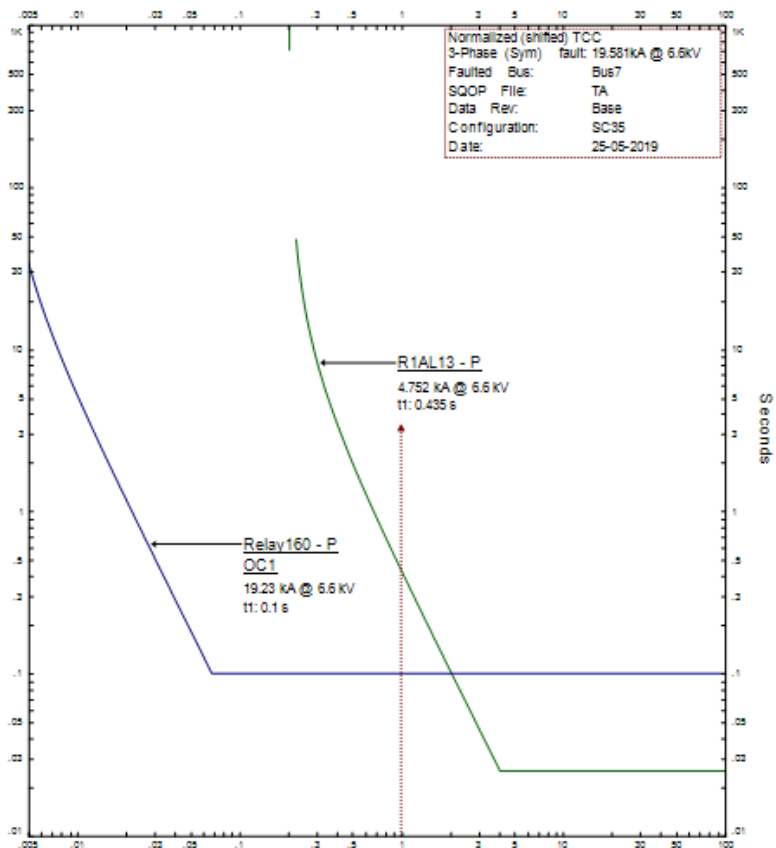
Terlihat pada Gambar 4.57 bahwa perhitungan mulai konvergen pada iterasi ke 2 dengan mendapatkan nilai *cost* sebesar 0.455915 dengan tampilan hasil pada Gambar 4.58. Selanjutnya dilakukan pengujian hasil TDS Tipikal 4 yang didapatkan dari program melalui Software ETAP. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik dan bagaimana sistem pengamannya bekerja.



**Gambar 4. 59** Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus126

Pada tipikal 4 ini melewati rele yang sama dengan tipikal 3 tetapi nilai arus hubung singkat pada rele R1AL13 berbeda ketika menjadi

*backup* pada saat tipikal 3 dan tipikal 4. Oleh karena perhitungan TDS pada tipikal 4 di rele R1AL13 harus sama dengan perhitungan TDS pada tipikal 3 yang bertujuan untuk menghindari miskoordinasi pengaman. Sehingga penambahan target CTI ini diperlukan guna mendapatkan hasil perhitungan TDS rele R1AL13 tipikal 4 sama dengan tipikal 3.



**Gambar 4. 60** Hasil Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus126

Pada Gambar 4.60 terlihat bahwa Relay156 sebagai pengaman primer ketika gangguan berada di Bus126 dengan waktu operasi sebesar 0,1 detik. Target CTI untuk perhitungan TDS pada tipikal 4 ditambah dengan tujuan agar menyamakan koordinasi pengaman dengan tipikal 4. Rele R1AL13 nilai TDS-nya bernilai sama ketika target CTI menjadi 4,6 detik. Dengan demikian koordinasi pengaman tipikal 3 dan tipikal 4 sudah sama dan dapat dikatakan koordinasi aman.

**Tabel 4. 20** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 4

ID-Rele	Tap Pickup	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen pada Iterasi
R1AL13	0,87	0,5	0,1003	-	EI	1
Relay160	0,97	0,125	0,3557	0.4296	EI	1

Keterangan : EI adalah *Extremely Invers*, VI adalah *Very Invers*, dan SI adalah *Standard Invers*

#### 4.5 Perbandingan Hasil Menggunakan AMFA dan Manual

**Tabel 4. 21** Hasil Perhitungan TDS Mennggunakan AMFA dan Manual

Tipikal 1					
		AMFA		Perhitungan Manual	
ID	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)	Top primer (s)	Top backup (s)
R61MB2	0.5	0.1003	-	0.1	-
R61MB	0.7	0.3049	0.3147	0.307	0.316
R2AL23	0.7	0.3049	0.3137	0.307	0.316
R2AL22	0.5	0.4428	0.5088	0.446	0.513
Relay24	0.125	0.2486	0.4877	0.249	0.489

Tipikal 2					
		AMFA		Perhitungan Manual	
ID	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)	Top primer (s)	Top backup (s)
-		-	-	-	-
CB69LB		0.3	-	-	-
R2AL17	0.15	0.2983	0.3563	0.298	0.357
R2AL22	0.5	0.4428	0.5107	0.446	0.515
Relay24	0.125	0.2486	0.4877	0.249	0.489
Tipikal 3					
		AMFA		Perhitungan Manual	
ID	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)	Top primer (s)	Top backup (s)
R64MA3	0.5	0.1003	-	0.1	-
R64MA	0.65	0.3026	0.3126	0.303	0.303
R1AL17	0.65	0.3026	0.3126	0.303	0.303
R1AL13	0.125	0.3557	0.5132	0.36	0.519
Tipikal 4					
		AMFA		Perhitungan Manual	
ID	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)	Top primer (s)	Top backup (s)
Relay160	0.5	0.1003	-	0.1	-
.		.	.	.	.
.		.	.	.	.
R1AL13	0.125	0.3557	0.4296	0.36	0.435

Melihat dari rincian Tabel 4.21 hasil perhitungan TDS menggunakan AMFA didapatkan nilai TDS yang sama dengan cara menggunakan metode manual dengan waktu operasi yang relatif sama.

#### 4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan Tiap Kasus

Terdapat dua kasus yang dianalisa yaitu kasus mempertimbangkan LVCB di bus yang sama dan kasus perbedaan panjang saluran di bus yang sama.

**Tabel 4. 22** Kasus Dengan Pertimbangan LVCB

Tipikal 1				Tipikal 2			
No Rele	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)	No Rele	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)
1	0,5	0,1003	-		-	-	-
2	0,7	0,3049	0,3147	LVCB	-	0,3000	-
3	0,7	0,3049	0,3137	1	0,15	0,2983	0,3563
4	0,5	0,4428	0,5088	2	0,5	0,4428	0,5107
5	0,125	0,2486	0,4877	3	0,125	0,2486	0,4877

Dari rincian Tabel 4.22 terlihat suatu kasus pada tipikal 2 dengan mempertimbangan waktu operasi LVCB CB69LB yang diasumsikan sebesar 0,3 detik akan menggeser nilai TDS rele pertama (rele R2AL17) sehingga waktu operasinya mendekati waktu operasi LVCB. Ketika terdapat dua level tegangan yang berbeda program perhitungan TDS dibuat agar nilai TDS kedua rele sama untuk mempercepat melokalisir gangguan.

Terlihat juga bahwa antara tipikal 1 dan tipikal 2 pada saluran yang dilewati rele yang sama, yaitu rele nomor 4 tipikal 1 dengan rele nomor 2 tipikal 2 dengan ID rele R2AL22 dan rele nomor 5 tipikal 1 dengan rele nomor 3 tipikal 2 dengan ID rele Relay24 mendapatkan hasil perhitungan TDS yang sama sehingga tidak akan terjadi miskoordinasi pengaman.

**Tabel 4. 23** Kasus Saluran Dengan Perbedaan Jumlah Rele

Tipikal 3				Tipikal 4			
No Rele	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)	No Rele	TDS	Top primer (s)	Top backup (s)
1	0,5	0,1003	-	1	0,5	0,1003	-
2	0,65	0,3026	0,3126	.	.	.	.
3	0,65	0,3026	0,3126	.	.	.	.
4	0,125	0,3557	0,5132	2	0,125	0,3557	0,4296

Dari rincian Tabel 4.23 terlihat bahwa antara tipikal 3 dan tipikal 4 memiliki jumlah rele yang berbeda dan terdapat rele yang sama yaitu rele nomor 4 tipikal 3 dengan rele nomor 2 tipikal 4 dengan ID rele R1AL13. Agar koordinasi pengaman bekerja dengan baik maka rele R1AL13 diharuskan memiliki nilai TDS yang sama. Referensi nilai TDS yang digunakan tentu menggunakan saluran yang terpanjang sehingga perlu dimasukkan suatu parameter pada perhitungan TDS tipikal 4 agar tidak terjadi miskoordinasi pengaman dari hasil program perhitungan TDS. Parameter yang digunakan adalah menambah waktu target CTI yang pada kondisi normalnya adalah 0,2 detik. Untuk perhitungan TDS pada tipikal 4 ini waktu target CTI ditambah hingga menjadi 0,3 detik yang akhirnya hasil perhitungan TDS rele R1AL13 mendapatkan nilai TDS yang sama dengan ketika rele R1AL13 di tipikal 3.

#### 4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan TDS dan Simulasi ETAP

**Tabel 4. 24** Hasil Perhitungan TDS dan Simulasi ETAP

Tipikal 1						
	Perhitungan TDS		ETAP		Error	
ID	Top primer (s)	Top backup (s)	Top primer (s)	Top backup (s)	Error Primer (%)	Error backup (%)
R61MB2	0.1003	-	0.1	-	0%	-
R61MB	0.3049	0.3147	0.307	0.316	1%	0%
R2AL23	0.3049	0.3137	0.31	0.321	2%	2%
R2AL22	0.4428	0.5088	0.446	0.513	1%	1%
Relay24	0.2486	0.4877	0.249	0.489	0%	0%

Tipikal 2						
	Perhitungan TDS		ETAP		Error	
ID	Top primer	Top backup	Top primer (s)	Top backup (s)	Error Primer (%)	Error backup (%)
-	-	-	-	-	-	-
CB69LB	0.3	-	-	-	-	-
R2AL17	0.2983	0.3563	0.298	0.357	0%	0%
R2AL22	0.4428	0.5107	0.446	0.515	1%	1%
Relay24	0.2486	0.4877	0.249	0.489	0%	0%
Tipikal 3						
	Perhitungan TDS		ETAP		Error	
ID	Top primer	Top backup	Top primer (s)	Top backup (s)	Error Primer (%)	Error backup (%)
R64MA3	0.1003	-	0.1	-	0%	-
R64MA	0.3026	0.3126	0.303	0.303	0%	3%
R1AL17	0.3026	0.3126	0.303	0.303	0%	3%
R1AL13	0.3557	0.5132	0.36	0.52	1%	1%
Tipikal 4						
	Perhitungan TDS		ETAP		Error	
ID	Top primer	Top backup	Top Primer (s)	Top backup (s)	Error Primer (%)	Error backup (%)
Relay160	0.1003	-	0.1	-	0%	-
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
R1AL13	0.3557	0.4296	0.36	0.435	1%	1%

Melihat dari rincian Tabel 4.24 hasil perhitungan TDS menggunakan AMFA didapatkan nilai TDS dengan nilai error dibawah

3% terhadap simulasi ETAP. Ini terjadi karena saat menggunakan metode AMFA menggunakan  $I_{pickup}$  yang paling minimal, sedangkan saat menggunakan ETAP  $I_{pickup}$  akan dibulatkan sesuai dari Tap *Current Transformer* yang terpasang. Hal ini menunjukkan bahwa program dapat menghasilkan nilai TDS minimum yang tepat, tekoordinatif, selektif, dan cepat pada tipikal 1 sampai 4 dengan melihat dari kasus yang ada. Sehingga dapat disimpulkan bahwa program sudah teruji dan dapat digunakan untuk mencari nilai TDS minimum yang tepat.

#### 4.8 Perbandingan Menggunakan Metode FA, MFA, dan AMFA

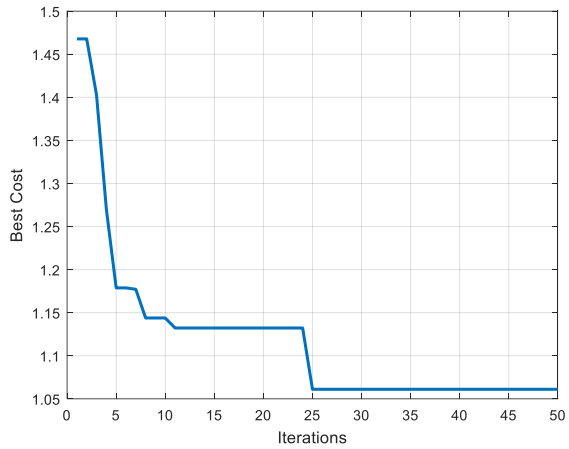
Metode FA, MFA dan AMFA memiliki perbedaan pada sifat dari nilai alpha ( $\alpha$ ). Ketika menggunakan metode FA nilai alpha dipilih konstan pada tiap iterasi. Untuk metode MFA nilai alpha akan dikurangi suatu nilai konstanta pada tiap iterasi. Sedangkan pada metode AMFA nilai alpha akan berubah di tiap iterasi sesuai dengan persamaan

$$\alpha^{k+1} = \alpha^k \times \left(\frac{1}{2} \times k_{max}\right)^{\frac{1}{k_{max}+1}} \quad (4.1)$$

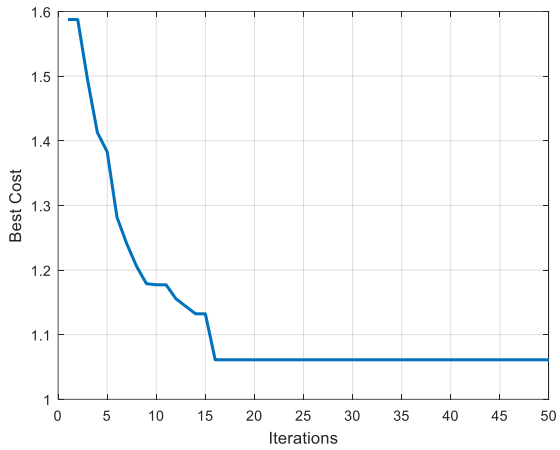
dimana k adalah iterasi, dan k max adalah iterasi maksimum.

Dari ketiga metode tersebut akan menghasilkan waktu konvergen yang berbeda beda, ketika diuji pada tipikal 3 akan dihasilkan respon konvergensi sebagai berikut.

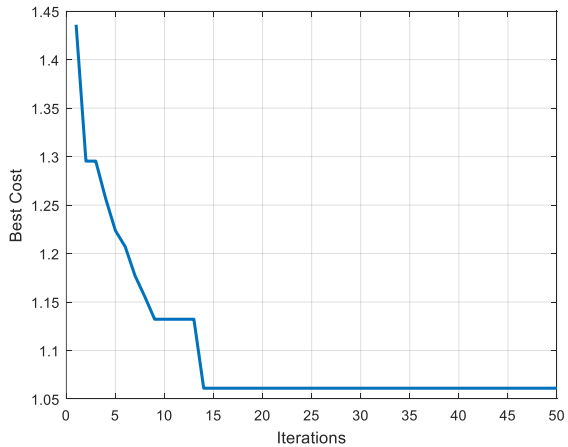




**Gambar 4. 61** Konvergensi ketika Menggunakan FA



**Gambar 4. 62** Konvergensi ketika menggunakan Metode MFA



**Gambar 4. 63** Konvergensi ketika Menggunakan Metode AMFA

Dari Gambar 4.61 terlihat bahwa perhitungan menggunakan FA konvergen pada iterasi ke 25, pada Gambar 4.62 perhitungan menggunakan MFA konvergen pada iterasi ke 16, sedangkan pada Gambar 4.63 terlihat bahwa perhitungan menggunakan AMFA konvergen pada iterasi ke 14. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perhitungan menggunakan AMFA dapat mencapai waktu konvergensi lebih cepat dibandingkan ketika menggunakan metode FA maupun MFA.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis perhitungan TDS menggunakan metode *adaptive modified firefly algorithm* pada PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan Integrasi dari PLN yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. *Firefly algorithm* yang telah dimodifikasi dapat menentukan nilai TDS dengan fungsi objektif berupa waktu operasi primer.
2. CTI yang diperoleh pada kondisi saluran normal dari hasil program rata-rata sudah sesuai dengan target CTI yaitu minimal sebesar 0,2 detik.
3. Hasil nilai TDS ketika terdapat beberapa rele dengan level tegangan yang berbeda dan berada pada satu *feeder* yang sama dapat diperoleh dengan hasil nilai TDS yang sama.
4. Hasil nilai TDS dapat diperoleh dengan mempertimbangkan waktu kerja LVCB yang akan mempengaruhi nilai TDS dari rele setelah LVCB.
5. Hasil nilai TDS dengan mempertimbangkan jumlah rele yang lebih sedikit dari satu saluran yang berbeda tipikalnya dapat diperoleh dengan menambah nilai target CTI
6. Nilai TDS yang diperoleh dapat di aplikasikan pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah diintegrasikan dengan PLN.
7. Waktu operasi yang didapatkan menggunakan program AMFA jika di bandingkan dengan waktu operasi yang dihasilkan oleh ETAP mendapatkan nilai *error* dibawah 3%

#### **5.2 Saran**

Dari Tugas Akhir ini, Penulis dapat memberikan saran untuk penelitian yang akan datang dengan topik yang sejenis sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, *setting relay instantaneous* dapat dipertimbangkan ketika melakukan analisa koordinasi proteksi.
2. Mempertimbangan pemilihan tipe kurva *invers time* secara otomatis ketika melakukan perhitungan TDS.
3. Mempertimbangkan adanya *motor starting, damage curve, inrush current* ketika melakukan perhitungan TDS.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Anderson, *Power system protection*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- [2] J. L. Blackburn and T. J. Domin, "Protective Relaying: Principles and Applications," p. 638, 2006.
- [3] "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," p. 751.
- [4] V. R. Mahindhara, M. Pujiantara, A. Priyadi, and J. A. R. Hakim, "Optimasi Time Dial Setting (TDS) Relay Arus Lebih Menggunakan Adaptive Modified Firefly Algorithm Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur," *Buku Tugas Akhir* vol. 5, no. 2, p. 5, 2015.
- [5] X.-S. Yang and X. He, "Firefly Algorithm: Recent Advances and Applications," *Int. J. Swarm Intell.*, vol. 1, no. 1, p. 36, 2013.
- [6] A. Tjahjono *et al.*, "Adaptive modified firefly algorithm for optimal coordination of overcurrent relays," *IET Gener. Transm. Distrib., International Journal* vol. 11, no. 10, pp. 2575–2585, Jul. 2017.
- [7] *Datasheet* "MiCOM P141, P142, P143, P144 & P145 Feeder Management Relay Technical Manual." AREVA, 2009.
- [8] *Datasheet* "MiCOM P342, P343, P344, P345, P346 & P391 Generator Protection Relay Technical Manual." ALSTOM, 2010.
- [9] *Datasheet* "MiCOM P220/P225 Motor Protection Relays Technical Manual." Schneider Electric, 2012.
- [10] M. G. Istiqlal, M. Pujiantara, D. A. Asfani, and J. A. R. Hakim, "Perhitungan Time Dial Setting (TDS) Rele Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 menggunakan Metode Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)," *Buku Tugas Akhir* p. 6, 2018.
- [11] J. B. Laksono, M. Pujiantara, and J. A. R. Hakim, "Perhitungan Time Dial Setting Inverse Time Overcurrent Relay dengan Metode Adaptive Modified Firefly Algorithm pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan," *Buku Tugas Akhir* p. 6, 2018
- [12] yarpiz, "*Firefly Algorithm (FA) in MATLAB*," [Online]. Available: <http://yarpiz.com/259/ypea112-firefly-algorithm>.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIOGRAFI PENULIS



**Rahmanditya Rahadiansyah Muhammad** lahir di Tempagapura, 12 Maret 1997. Penulis lulus dari SD Negeri 1 Karanganyar, SMPN 1 Karanganyar, dan SMA Negeri 3 Surakarta. Pada tahun 2015 dan melanjutkan pendidikan ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Elektro Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Selama kuliah, penulis aktif di berbagai kegiatan kepanitian dan organisasi di Media Informasi KALAM ELEKTRO ITS, Pengabdian Masyarakat HIMATEKTRO ITS, dan Sosial Masyarakat BEM ITS. Penulis aktif mengikuti kegiatan aksi dan *volunteering* yang menyangkut dengan tema lingkungan hidup dan pengabdian masyarakat. Penulis juga terdaftar sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Selama menjadi asisten laboratorium, penulis aktif dalam berbagai pelatihan dan proyek laboratorium. Penulis bisa dihubungi melalui [r.rahadianm@gmail.com](mailto:r.rahadianm@gmail.com)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*