



TUGAS AKHIR - EE 184801

**PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING RELE ARUS LEBIH
MENGUNAKAN ALGORITMA MODIFIED PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION(MPSO) DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN TEGANGAN RENDAH DI
BAWAH TRANSFORMATOR PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK
AMUREA 2**

Iqdamil Jihad
NRP 0711134000084

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

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



TUGAS AKHIR - EE 184801

**PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING RELE ARUS LEBIH
MENGUNAKAN ALGORITMA MODIFIED PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION(MPSO) DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN TEGANGAN RENDAH DI
BAWAH TRANSFORMATOR PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK
AMUREA 2**

Iqdamil Jihad
NRP 0711134000084

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

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



FINAL PROJECT - EE 184801

***THE CALCULATION OF TIME DIAL SETTING OF
OVERCURRENT RELAY USING MODIFIED PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION(MPSO) METHOD BY
CONSIDERING LOW VOLTAGE BELOW
TRANSFORMERS IN THE ELECTRICAL SYSTEM OF
AMUREA 2 FACTORY PT PETROKIMIA GRESIK***

Iqdamil Jihad
NRP 0711134000084

Supervisor(s)
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of intelligent Electrical Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING RELE ARUS LEBIH MENGGUNAKAN ALGORITMA MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION(MPSO) DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TEGANGAN RENDAH DI BAWAH TRANSFORMATOR PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK AMUREA 2**” 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, 14 Juli 2020

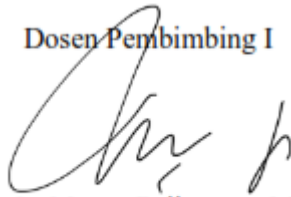


Iqdamil Jihad
NRP. 0711 13 4000 0084

**PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING RELE
ARUS LEBIH MENGGUNAKAN ALGORITMA
MODIFIED PARTICLE SWARM
OPTIMIZATION(MPSO) DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN TEGANGAN RENDAH DI
BAWAH TRANSFORMATOR PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK
AMUREA 2
TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



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

**SURABAYA
JULI, 2020**

**PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING RELE
ARUS LEBIH MENGGUNAKAN ALGORITMA
MODIFIED *PARTICLE SWARM*
OPTIMIZATION(MPSO) DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN TEGANGAN RENDAH DI
BAWAH TRANSFORMATOR PADA SISTEM
KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK
AMUREA 2
TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Menyetujui :

Dosen Pembimbing II



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

**SURABAYA
JULI, 2020**

**PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING RELE ARUS
LEBIH MENGGUNAKAN ALGORITMA MODIFIED
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION(MPSO)
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TEGANGAN
RENDAH DI BAWAH TRANSFORMATOR PADA
SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK
PABRIK AMUREA 2**

Nama mahasiswa : Iqdamil Jihad

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

Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng.

Abstrak:

Pada sistem kelistrikan industri, pasokan tenaga listrik harus selalu terjaga. Banyak potensi bahaya yang menyebabkan terputusnya suplai listrik. Oleh karena itu, sistem proteksi tenaga listrik adalah hal yang krusial. Rele arus lebih adalah satu yang berperan dalam sistem proteksi. Pengoperasian rele arus lebih memerlukan beberapa parameter, yaitu arus *pick up*, jens kurva, *time dial setting*(TDS). Saat terjadi gangguan di suatu titik, dua rele harus bekerja dengan jarak waktu operasi(CTI) sebesar 0.2 detik. Perhitungan parameter TDS secara manual cukup menghabiskan waktu yang panjang dan relatif cukup sulit. Oleh karena itu, cara menghitung yang cepat dan tepat sangat diperlukan. Salah satu cara yaitu menggunakan algoritma pemrograman. Operator cukup menginput beberapa parameter, lalu akan didapat hasilnya. Pada tugas akhir ini, penulis menggunakan algoritma *Modified Particle Swarm Optimization*(PSO) untuk menghitung nilai *time dial setting*(TDS) pada rele arus lebih di sistem kelistrikan PT Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2. Cakupan perhitungan rele sampai ke level tegangan rendah.

Kata kunci: *Modified Particle Swarm Optimization*, Rele Arus Lebih, *Time Dial Setting*, *Coordination Time Interval*, tegangan rendah

***THE CALCULATION OF TIME DIAL SETTING OF
OVERCURRENT RELAY USING MODIFIED PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION(MPSO) METHOD BY
CONSIDERING LOW VOLTAGE BELOW
TRANSFORMERS IN THE ELECTRICAL SYSTEM OF
AMUREA 2 FACTORY PT PETROKIMIA GRESIK***

Name : Iqdamil JIhad
Supervisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Supervisor II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng.

ABSCTRACT

In industrial electrical system, supply of electricity must be kept being maintained. Many potential threats to electrical system possibly stopping the supply of electricity. Thus, protection system is substantial. Over current relay is one of electrical equipment taken a part to protect electrical system. Operation of over current relay requires several parameters which are pick up current, kind of inverse curve and time dial setting(TDS). In time of electrical failur, the interval of two relays must operate is 0.2 s, it is called Coordination Time Interval(CTI). Conventional way of TDS calculation spends much time and it is difficult enough to work it out. Thus, fast and correct way of finding TDS out is highly needed. The solution to this case is programming use. In time of using programming, operators only need to input the parameters of over current relay. In this final project, Modified Particle Swarm Optimizaion is used to calculate TDS in electrical system of Petrokimia Gresik, Amurea 2 factory until low voltage level.

Kata kunci: *Modified Particle Swarm Optimization, Over current relay, Time Dial Setting, Coordination Time Interval, low voltage leve*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang selalu melimpahkan rahmat, nikmat, karunia, serta hidayahnya-Nya, sehingga Tugas Akhir yang berjudul “**Perhitungan Time Dial Setting Rele Arus Lebih Menggunakan Algoritma Modified Particle Swarm Optimization(Mpso) Dengan Mempertimbangkan Tegangan Rendah Di Bawah Transformator Pada Sistem Kelistrikan Pt. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2**” dapat diselesaikan

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, 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. Nabi Besar Muhammad *sallallahu alaihi wasallam*
3. Kedua orang tua tercinta, Ibu Martini dan Bapak Endang Kadarisman S yang senantiasa memberikan doa serta dukungan penuh. Semoga Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* selalu melindungi mereka.
4. Kakak-kakak kandung saya yang selalu memberikan dukungan penuh ke adeknya.
5. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS
7. Seluruh rekan Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) ITS 2013 dan 2014
8. Teman-teman seperjuangan angkatan e53 atas dukungan dan kerja samanya selama masa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir ini

Penulis telah berusaha secara maksimal dalam penyelesaian tugas akhir ini, namun masih terdapat beberapa kesalahan. Penulis sangat terbuka atas segala kritik dan saran yang membangun.

Surabaya, 14 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan.....	1
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	3
BAB 2 SISTEM KOORDINASI PROTEKSI DAN MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION	4
2.1 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	4
2.1.1 Gangguan Beban Lebih	4
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat	5
2.2 Rele Arus Lebih	5
2.3 Modified Particle Swarm Optimization	6
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK DAN PERANCANGAN PROGRAM	8
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2.....	8
3.2 Data Transformator pada Pabrik Amurea 2	9
3.3 Rancangan Algoritma MPSO	10
BAB 4 ANALISA HASIL PERHITUNGAN	16
4.1 Penentuan Tipikal Koordinasi Proteksi pada PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2	16
4.1.1 Tipikal 1	16
4.1.2 Tipikal 2	17
4.2 Data Pasangan Rele Primer dan Backup	18
4.3 Data Arus Hubung Singkat pada PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2	19
4.4 Perhitungan TDS dengan MPSO	20
4.4.1 Perhitungan TDS Tipikal 1	21
4.4.2 Perhitungan TDS Tipikal 2	41
4.4.3 Plot Kurva TCC Tipikal 1.....	55

4.4.4 Plot Kurva TCC Tipikal 2.....	67
BAB 5 KESIMPULAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
BIODATA PENULIS	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Single Line Diagram Pabrik Amurea 2	8
Gambar 3.2 Flowchart MPSO Bagian 1	11
Gambar 3.3 Flowchart MPSO Bagian 2	13
Gambar 3.4 Flowchart MPSO Bagian 2	14
Gambar 4.1 Single Line Diagram Pabrik Amurea 2	17
Gambar 4.2. Tipikal 1	18
Gambar 4.3 Tipikal 2	19
Gambar 4.4 Asumsi waktu operasi LVCB.....	22
Gambar 4.5 Tampilan Program Input awa.....	22
Gambar 4.6 Tampilan Masukan Data-data rele 45 dan 18.....	23
Gambar 4.7 Persebaran awal Partikel TDS Rele 45.....	23
Gambar 4.8 Persebaran awal Partikel TDS Rele 18.....	24
Gambar 4.9 Kurva Konvergensi TDS Rele 45.....	24
Gambar 4.10 Kurva Konvergensi TDS Rele 18.....	25
Gambar 4.11 Error pada CTI antara Rele 45 dan Rele 18.....	25
Gambar 4.12 Persebaran Akhir Partikel Rele 45 dan Rele 18.....	26
Gambar 4.13 Tampilan Masukan Data-data rele 13.....	26
Gambar 4.14 Tampilan Program Ketika Beda Level Tegangan Terdeteksi.....	27
Gambar 4.15 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 13.....	27
Gambar 4.16 Kurva Konvergensi TDS Rele 13.....	28
Gambar 4.17 Error pada CTI antara Rele 18 dan Rele 13.....	28
Gambar 4.18 Persebaran Akhir Partikel Rele 18 dan Rele 13.....	29
Gambar 4.19 Tampilan Masukan Data-data Rele 11.....	29
Gambar 4.20 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 11.....	30
Gambar 4.21 Kurva Konvergensi TDS Rele 11.....	30
Gambar 4.22 Error pada CTI antara Rele 13 dan Rele.....	31
Gambar 4.23 Persebaran Akhir Partikel Rele 13 dan Rele 11.....	31
Gambar 4.24 Tampilan Masukan Data-data Rele 8.....	32
Gambar 4.25 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 8.....	32
Gambar 4.26 Kurva Konvergensi TDS Rele 8.....	33
Gambar 4.27 Error pada CTI antara Rele 11 dan Rele 8.....	33
Gambar 4.28 Persebaran Akhir Partikel Rele 11 dan Rele 8.....	34
Gambar 4.29 Tampilan Masukan Data-data Rele 5.....	34
Gambar 4.30 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 5.....	35

Gambar 4.31 Kurva Konvergensi TDS Rele 5.....	35
Gambar 4.32 Error pada CTI antara Rele 8 dan Rele 5.....	36
Gambar 4.33 Persebaran Akhir Partikel Rele 8 dan Rele 5.....	36
Gambar 4.34 Tampilan Masukan Data-data Rele 3.....	37
Gambar 4.35 Tampilan Program Ketik Beda Level Tegangan Terdeteksi.....	37
Gambar 4.36 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 3.....	37
Gambar 4.37 Kurva Konvergensi TDS Rele 3.....	38
Gambar 4.38 Error pada CTI antara Rele 5 dan Rele 3.....	38
Gambar 4.39 Persebaran Akhir Partikel Rele 5 dan Rele 3.....	39
Gambar 4.40 Tampilan Masukan Data-data Rele 4.....	39
Gambar 4.41 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 4.....	40
Gambar 4.42 Kurva Konvergensi TDS Rele 4.....	40
Gambar 4.43 Error pada CTI antara Rele 3 dan Rele 4.....	41
Gambar 4.44 Persebaran Akhir Partikel Rele 3 dan Rele.....	41
Gambar 4.45 Hasil keseluruhan tipikal 1.....	42
Gambar 4.46 Kurva Konvergensi Tipikal 1.....	42
Gambar 4.47 Tampilan Program Input awal.....	42
Gambar 4.48 Tampilan Masukan Data-data rele 45 dan 18.....	43
Gambar 4.49 Persebaran awal Partikel TDS Rele 45.....	43
Gambar 4.50 Persebaran awal Partikel TDS Rele 18.....	44
Gambar 4.51 Kurva Konvergensi TDS Rele 45.....	44
Gambar 4.52 Kurva Konvergensi TDS Rele 18.....	45
Gambar 4.53 Error pada CTI antara Rele 45 dan Rele 18.....	45
Gambar 4.54 Persebaran Akhir Partikel Rele 45 dan Rele 18.....	46
Gambar 4.55 Tampilan Masukan Data-data rele 13.....	46
Gambar 4.56 Tampilan Program Ketik Beda Level Tegangan Terdeteksi.....	47
Gambar 4.57 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 13.....	47
Gambar 4.58 Kurva Konvergensi TDS Rele 13.....	48
Gambar 4.59 Error pada CTI antara Rele 18 dan Rele 13.....	48
Gambar 4.60 Persebaran Akhir Partikel Rele 18 dan Rele 13.....	49
Gambar 4.61 Tampilan Masukan Data-data rele 12.....	49
Gambar 4.62 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 12.....	50
Gambar 4.63 Kurva Konvergensi TDS Rele 12.....	50
Gambar 4.64 Error pada CTI antara Rele 13 dan Rele 12.....	51
Gambar 4.65 Persebaran Akhir Partikel Rele 13 dan Rele 12.....	51
Gambar 4.66 Tampilan Masukan Data-data Rele GI-15.....	52

Gambar 4.67 Persebaran Awal Partikel TDS Rele GI-15.....	52
Gambar 4.68 Kurva Konvergensi TDS Rele GI-15.....	53
Gambar 4.69 Error pada CTI antara Rele 12 dan Rele GI-15.....	53
Gambar 4.70 Persebaran Akhir Partikel Rele 8 dan Rele 5.....	54
Gambar 4.71 Hasil keseluruhan tipikal 2.....	54
Gambar 4.72 Kurva Konvergensi Tipikal 2.....	55
Gambar 4.73 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18.....	56
Gambar 4.74 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18 Menggunakan ETAP....	57
Gambar 4.75 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13.....	57
Gambar 4.76 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13 Menggunakan ETAP....	58
Gambar 4.77 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 11.....	59
Gambar 4.78 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 11 Menggunakan ETAP....	60
Gambar 4.79 Kurva TCC Rele 11 dan Rele 8.....	61
Gambar 4.80 Kurva TCC Rele 11 dan Rele 8 Menggunakan ETAP.....	61
Gambar 4.81 Kurva TCC Rele 8 dan Rele 5.....	62
Gambar 4.82 Kurva TCC Rele 8 dan Rele 5 Menggunakan ETAP.....	63
Gambar 4.83 Kurva TCC Rele 5 dan Rele 3.....	64
Gambar 4.84 Kurva TCC Rele 5 dan Rele 3 Menggunakan ETAP.....	65
Gambar 4.85 Kurva TCC Rele 3 dan Rele 4.....	66
Gambar 4.86 Kurva TCC Rele 3 dan Rele 4.....	66
Gambar 4.87 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18.....	67
Gambar 4.88 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18 Menggunakan ETAP....	68
Gambar 4.89 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13.....	68
Gambar 4.90 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13 Menggunakan ETAP....	69
Gambar 4.91 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 12.....	70
Gambar 4.92 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 12 Menggunakan ETAP....	70
Gambar 4.93 Kurva TCC Rele 12 dan GI-15.....	71
Gambar 4.94 Kurva TCC Rele 12 dan Rele GI-15 Menggunakan ETAP.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Kurva Invers.....	5
Tabel 3.1 Data Tranformator pada Pabrik Amurea.....	9
Tabel 4.1 Pasangan Rele Primer dan Rele Backup Tipikal 1.....	18
Tabel 4.2 Pasangan Rele Primer dan Rele Backup Tipikal 2.....	19
Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Maksimum Pabrik Amurea 2.....	19
Tabel 4.4 Data Arus Hubung Singkat Maksimum yang Mengalir pada Tiap Rele Tipikal 1.....	20
Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Maksimum yang Mengalir pada Tiap Rele Tipikal 2.....	20

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar nomor 4 di dunia. Hal ini sejalan dengan peningkatan kebutuhan energi listrik setiap tahun yang juga terjadi di dunia industry. Penggunaan energi listrik di bidang industry pada tahun 2016 sebesar 23,23% [1]. Perputaran uang yang sangat besar di suatu industry menuntut kontinuitas dalam produksi, maka terjaganya suplai energi listrik menjadi poin yang sangat krusial. Sistem kelistrikan industry sangat dinamis dengan banyak potensi gangguan yang dapat menyebabkan kegagalan system atau *blackout*. Sistem proteksi yang terkoordinasi dengan tepat dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas tenaga listrik. Ketika potensi kegagalan operasi terjadi, system proteksi dapat mengisolasi zona gangguan dengan cepat dan meminimalisir dampak gangguan [2].

Rele arus lebih merupakan salah satu peralatan proteksi yang sering digunakan. Pengoperasian jenis rele arus lebih *inverse* (51) memerlukan beberapa parameter yaitu arus *pickup*, jenis kurva dan TDS. Dalam praktiknya, perhitungan TDS sering sulit menemukan nilai yang tepat dan membutuhkan waktu yang lama. Maka penggunaan suatu metode menggunakan program dapat menghemat waktu dan menemukan nilai TDS yang lebih akurat. *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO) adalah salah satu metode yang dapat digunakan.

1.2 Permasalahan

Permasalahan pada penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana perhitungan TDS dengan mempertimbangkan tegangan rendah di bawah trafo pada system kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 menggunakan metode MPSO.
2. Bagaimana analisis perhitungan TDS dengan mempertimbangkan tegangan rendah dibawah trafo pada system kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 menggunakan metode MPSO.

1.3 Tujuan

1. Mendapatkan nilai TDS yang tepat dengan mempertimbangkan tegangan rendah di bawah trafo pada system kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 menggunakan metode MPSO
2. Memperoleh hasil analisis hasil perhitungan TDS dengan mempertimbangkan tegangan rendah di bawah trafo pada system

kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 menggunakan metode MPSO

1.4 Batasan Masalah

1. Plant yang digunakan adalah tipikal sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2.
2. Perhitungan hanya dilakukan untuk mencari setting TDS rele inverse (rele 51).
3. Seluruh setting rele definit (rele 50) dinonaktifkan.
4. Gangguan yang terjadi diasumsikan hanya pada bus.
5. Arus hubung singkat yang digunakan untuk perhitungan hanyalah arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle.
6. Kurva starting motor, damage curve trafo, arus inrush trafo tidak dipertimbangkan.

1.5 Metodologi

1. Studi Literatur

Studi literatur dapat menunjang pemahaman dan penguatan secara teori serta referensi terkait penelitian tugas akhir ini. Referensi diambil dalam bentuk buku, jurnal ilmiah nasional maupun internasional dan laporan-laporan teknik. Beberapa materi penting dalam pencarian referensi yang meliputi prinsip kerja dan optimasi system proteksi dan algoritma PSO.

2. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan adalah single line diagram PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amuera 2 dan spesifikasi peralatan-peralatn.

3. Desain Sistem

Pengerjaan tugas akhir ini dibagi menjadi dua yaitu pemodelan system kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amuera dengan software ETAP 12.6 dan pembuatan algoritma perhitungan TDS dengan metode MPSO menggunakan software Matlab R2016a.

4. Simulasi dan Analisa Hasil Simulasi

TDS yang telah didapatkan dari algoritma MPSO diinputkan ke pemodelan system kelistrikan PT Petrokimia Gresik menggunakan ETAP 12.6.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahap akhir dari serangkaian penelitian yang akan dilakukan ialah penyusunan laporan dalam bentuk buku tugas akhir. Buku tugas akhir berisi hasil dari semua proses penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Susunan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dengan uraian sebagai berikut:

1. BAB 1 merupakan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi.
2. BAB 2 merupakan teori penunjang yang terdiri dari dan digunakan sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir.
3. BAB 3 merupakan perancangan penelitian
4. BAB 4 merupakan analisa hasil simulasi
5. BAB 5 merupakan kesimpulan dari penelitian tugas akhir

1.7 Relevansi

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai masukan bagi PT. Petrokimia Gresik dalam perhitungan parameter TDS yang lebih tepat dan cepat
2. Dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dengan topik yang terkait.

BAB 2

SISTEM KOORDINASI PROTEKSI DAN MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Sistem koordinasi proteksi adalah sekumpulan peralatan listrik meliputi rele, *circuit breaker*, *current transformer* dan peralatan2 yang lain yang bekerja sama untuk mengisolasi gangguan agar tidak meluas pada suatu sistem kelistrikan. Rele memiliki peran utama sebagai otak yang memerintahkan peralatan pemutus(*circuit breaker*). Rele sebagai bagian dari sistem proteksi harus memenuhi beberapa aspek penting yaitu kecepatan bereaksi, selektif, sensitif, keandalan dan ekonomis. [3] Pada tugas akhir ini, rele yang digunakan adalah rele arus lebih.

Kini, perhitungan sebagai penunjang sistem koordinasi proteksi bisa dilakukan dengan lebih mudah dan cepat menggunakan *artificial intelligence*(AI). Metode AI yang digunakan adalah *modified particle swarm optimization*.

2.1 Gangguan-gangguan pada sistem kelistrikan

Semua kondisi abnormal pada sistem kelistrikan yang menghambat suplai listrik dianggap sebagai gangguan.

2.1.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih dapat terjadi jika peralatan-peralatan listrik bekerja melebihi spesifikasi/rating/kemampuan, sehingga arus yang mengalir pada peralatan dan juga saluran melebihi arus beban penuh. Gangguan beban lebih mengakibatkan panas pada peralatan dan dalam jangka panjang dapat memperpendek umur peralatan tersebut

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat merupakan salah satu gangguan yang sering terjadi. Terdapat beberapa jenis hubung singkat yaitu tiga fase (3PH), fase-ke-fase (L-L), dan satu fase-ke-tanah (L-G).

Hubung singkat tiga fasa terjadi ketika ketiga fasa saling berhubungan langsung ataupun tidak langsung. Nilai hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan :

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

Hubung singkat antar fasa terjadi ketika dua saluran fasa saling terhubung yang nilainya dapat dihitung dengan persamaan :

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

Hubung singkat satu fasa ke tanah terjadi ketika saluran satu fasa berhubungan dengan tanah/pentanahan yang dapat dihitung dengan persamaan :

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

2.2 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele memiliki peran sebagai otak dalam system proteksi. Rele akan memberikan perintah kepada circuit breaker untuk memutus jaringan yang mengalami gangguan. Rele arus lebih akan bekerja ketika arus yang melewati rele melebihi batas yang dikehendaki. Rele arus lebih menjadi salah satu peralatan pada system kelistrikan yang melindungi system dari gangguan beban lebih ataupun gangguan hubung singkat [3].

Rele arus lebih bekerja memerlukan beberapa dua besaran utama yaitu Tap dan TDS yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{Primer CT} \quad (2.4)$$

Keterangan :

I_{set} = arus *pickup* rele

Primer CT = rasio belitan primer trafo arus

$$top = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.5)$$

Keterangan :

top = waktu operasi rele (detik)

TDS = *Time Dial Setting*

I = arus gangguan yang melalui rele

I_{set} = arus *pickup* rele

k, α , β = koefisien kurva inverse

Tabel 2.1 Koefisien Kurva *Invers*

Jenis Kurva	Koefisien		
	K	α	B
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
<i>Long Time Inverse</i>	120	1	13,33
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0,808
<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5	1

Setelah mendapatkan TDS dan top, penentuan nilai CTI untuk mengkoordinasikan kerja antar relay. *Coordination Time Interval(CTI)* adalah interval waktu antara rele primer dan rele sekunder(*backup*) [4]. CTI dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$CTI = top_{primer} - top_{backup} \quad (2.6)$$

Keterangan :

top primer = waktu operasi rele sebagai rele primer

top *backup* = waktu operasi rele sebagai rele *backup*

2.3 Modified Particle Swarm Optimization(MPSO)

Algoritma particle swarm optimization(PSO) merupakan salah satu kecerdasan buatan yang terinspirasi oleh perilaku sekumpulan makhluk hidup seperti serangga, ikan dan burung dalam mencari makanan. Sekumpulan makhluk hidup diibaratkan sebagai sekumpulan partikel. Algoritma PSO dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 [5].

Prinsip algoritma PSO adalah setiap partikel memiliki nilai posisi dan kecepatan dan akan mencari posisi terbaik. Setiap partikel dapat saling berkomunikasi tentang nilai yang dicapai masing-masing partikel. Saat nilai terbaik dicapai, semua partikel akan menuju ke satu partikel yang memiliki nilai terbaik. Algoritma PSO dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$vt+1=v_t+ c_1 \text{ rand} \times (P_best - x^t) + c_2 \text{ rand} (G_best - x^t), \quad (2.7)$$

$$x^{(t+1)} = x^t + v_{(t+1)} \quad (2.8)$$

Keterangan :

Vt = Kecepatan partikel saat ini

Xt = Posisi partikel saat ini

Pbest = Posisi partikel terbaik dari masing-masing populasi

Gbest	=	Posisi partikel terbaik dari seluruh populasi
C1,C2	=	Konstanta akselerasi partikel
Rand	=	Bilangan random mulai 0 hingga 1
Vt+1	=	Kecepatan partikel pada iterasi berikutnya
Xt+1	=	Posisi partikel pada iterasi berikutnya
T	=	Iterasi ke 1,2,...,n

Kelemahan algoritma PSO adalah nilai hasil optimasi sering terjebak di local minimum. Modifikasi dengan penambahan konstanta inersia(w) dan konstanta pasif(c3) dapat mengatasi kelemahan ini [6]. Maka persamaan baru didapat sebagai berikut :

$$v_{t+1} = [w \cdot v]_t + c_1 \text{ rand} \times (P_best - x^t) + c_2 \text{ rand} \times (G_best - x^t) + c_3 \text{ rand} \times (R^t - x^t) \quad (2.9)$$

$$w(t) = w_max - ((w_max - w_min) / \text{maxiter}) \times \text{iteration} \quad (2.10)$$

Keterangan :

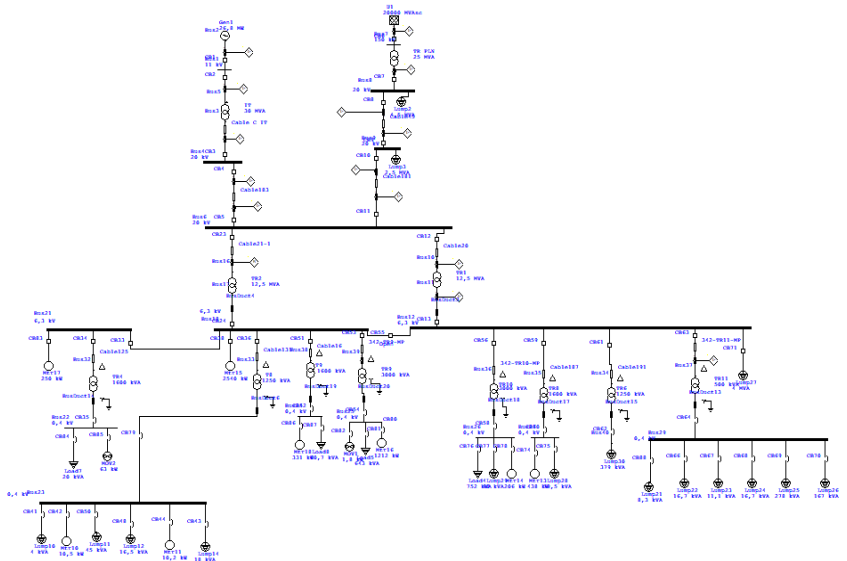
Vt	=	Kecepatan partikel saat ini
Xt	=	Posisi partikel saat ini
Pbest	=	Posisi partikel terbaik dari masing-masing populasi
Gbest	=	Posisi partikel terbaik dari seluruh populasi
C1,C2	=	Konstanta akselerasi partikel
C3	=	Konstanta pasif
Rand	=	Bilangan random mulai 0 hingga 1
R	=	Posisi partikel yang diambil secara acak dari populasi
Vt+1	=	Kecepatan partikel pada iterasi berikutnya
Xt+1	=	Posisi partikel pada iterasi berikutnya
T	=	Iterasi ke 1,2,...,n
W	=	Konstanta inersia

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK AMUREA 2 DAN ALGORITMA MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION(MPSO)

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2

PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan industri pupuk terbesar di Indonesia. PT. Petrokimia Gresik memiliki 5 buah pabrik, yaitu Pabrik 1, Pabrik 2, Pabrik 3A, Pabrik 3B dan Pabrik Amurea 2.



Gambar 3.1 Single Line Diagram Pabrik Amurea 2

Konfigurasi sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik dalam keadaan operasi normal adalah jenis konfigurasi radial yang saling interkoneksi antar pabrik-pabriknya, kecuali Pabrik 3A yang beroperasi secara *islanding*. Gambar 3.1 menunjukkan sistem kelistrikan pada Pabrik Amurea 2 dalam bentuk *single line diagram*.

Pabrik Amurea 2 terhubung dengan 2 sumber, yaitu generator GGCP 26,8 MW dan *grid* PLN. Generator GGCP menyuplai daya listrik sebesar 22 MW + 11,1 MVAR, dimana kebutuhan daya listrik Pabrik Amurea 2 hanya sebesar 11MW + 2,8 MVAR, sehingga kelebihan suplai daya listrik akan disalurkan melalui sistem interkoneksi 20 KV.

Merek rele yang digunakan pada tugas akhir ini dianggap sama semua yaitu :

Merlin Gerin Sepam 80 *Series*

Phase Overcurrent

Pickup Range : 0,05 – 2,4 x I_N

Curve type :

- *Definite Time, Standard Inverse Time, Long Time Inverse, Very Inverse Time, Extremely Inverse, Ultra Inverse Time*
- *IEC : Standard Inverse Time, Long Time Inverse, Very Inverse Time, Extremely Inverse Time.*
- *IEEE : Moderately Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse.*
- *IAC : Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse.*

Time Dial : 0,1-12,5

Step : 0,01

3.2 Data Transformator pada Pabrik Amurea 2

Sistem kelistrikan Pabrik Amurea 2 memiliki beberapa level tegangan, yaitu 20 KV, 11 KV, 6,3 KV dan 0,4 KV. Tranformator diperlukan untuk mengkonversi level tegangan. Tabel 3.1 menunjukkan *rating* transformator-trasnformator pada Pabrik Amurea 2.

Tabel 3.1 Data Tranformator pada Pabrik Amurea

ID Trafo	MVA	kV	%Z	X/R	Hubungan
IT	30	11/20	11	1,5	<i>delta/wye</i>
TR1	12,5	20/6,3	7,5	13	<i>delta/wye</i>
TR2	12,5	20/6,3	7,5	13	<i>delta/wye</i>
TR4	1,6	6,3/0,4	6,25	6	<i>delta/wye</i>
TR5	1,25	6,3/0,4	4,5	3,5	<i>delta/wye</i>
TR6	1,25	6,3/0,4	4,5	3,5	<i>delta/wye</i>

ID Trafo	MVA	kV	%Z	X/R	Hubungan
TR7	1,6	6,3/0,4	5,5	10	<i>delta/wye</i>
TR8	1,6	6,3/0,4	5,5	10	<i>delta/wye</i>
TR9	3	6,3/0,4	7	10	<i>delta/wye</i>
TR10	3	6,3/0,4	7	10	<i>delta/wye</i>
TR 11	0,5	6,3/0,4	4	1,5	<i>delta/wye</i>
TR PLN	25	150/20	10	23,7	<i>delta/wye</i>

3.2 Rancangan Algoritma *Modified Particle Swarm Optimization*(MPSO)

Dalam memudahkan memahami setiap langkah MPSO, flowchart sangat membantu.

Penjelasan Flowchart :

1. **Memasukkan Data Rele**

Pengguna perlu memasukkan beberapa data yaitu, jumlah rele, KV base, KV rele, arus nominal, arus hubung singkat yang dirasakan rele, tLVCB, target CTI

2. **Penentuan Posisi awal Partikel(TDS) dan Kecepatan partikel(konstannta pergeseran TDS) secara acak**

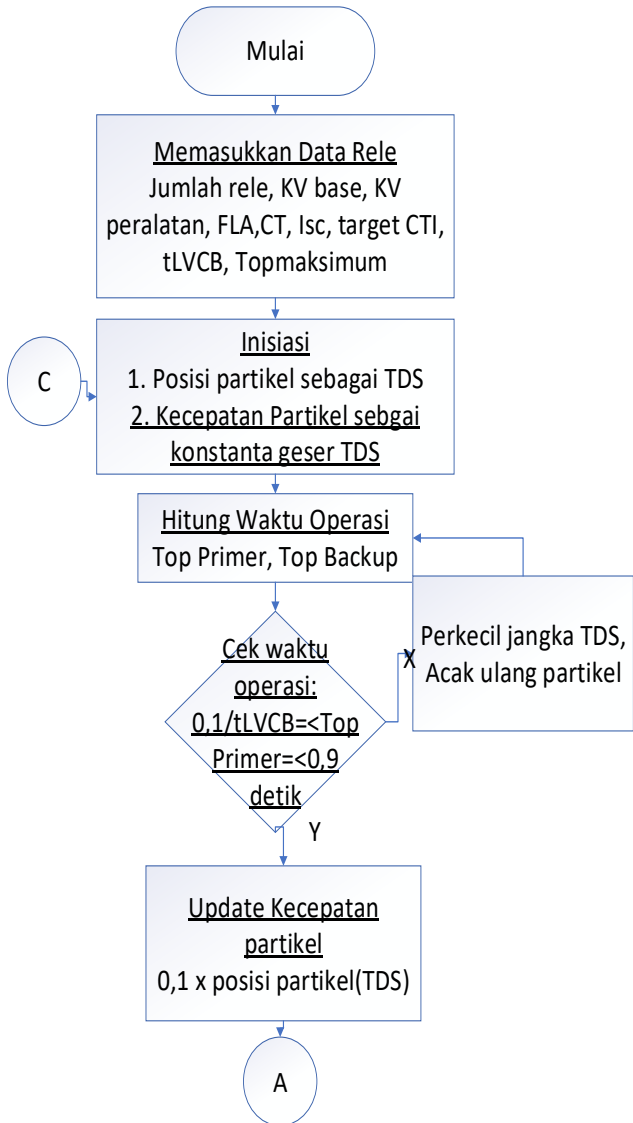
Setiap populasi berisi sejumlah n partikel. Penentuan kecepatan awal partikel mengikuti persamaan berikut :

$$V_o = 0,1 \times X_o \quad (3.1)$$

Keterangan :

V_o = Kecepatan partikel

X_o = Posisi Partikel



Gambar 3.2 Flowchart MPSO bagian 1

3. Hitung Waktu Operasi Rele

Perhitungan menggunakan rumus berikut :

$$top\ primer_n = \frac{k \times \frac{TDS_n}{\beta}}{\left(\frac{Iscprim_n}{Ip_n}\right)^\alpha - 1} \quad (3.2)$$

$$top\ backup_n = \frac{k \times TDS_n}{\left(\frac{Iscbackup_n}{Ip_n}\right)^\alpha - 1} \quad (3.3)$$

Keterangan :

Top Primer	=Waktu operasi rele primer
Top Backup	=Waktu operasi rele backup
Iscprim	=Arus hubung singkat yang dirasakan rele primer
Iscbackup	=Arus hubung singkat yang dirasakan rele backup
Ip	=Arus pickup
TDS	=Time Dial Setting
k,α,β	=Koefisien kurva inverse
n	=Rele ke-1,2,3..

4. Evaluasi *Constraint* Waktu Operasi Rele

Constraint yang digunakan adalah waktu operasi dan CTI, jika tidak memenuhi syarat maka TDS akan diacak dengan batas yang dipersempit.

5. Update Kecepatan Partikel

Setelah TDS diacak ulang maka kecepatan akan diperbarui.

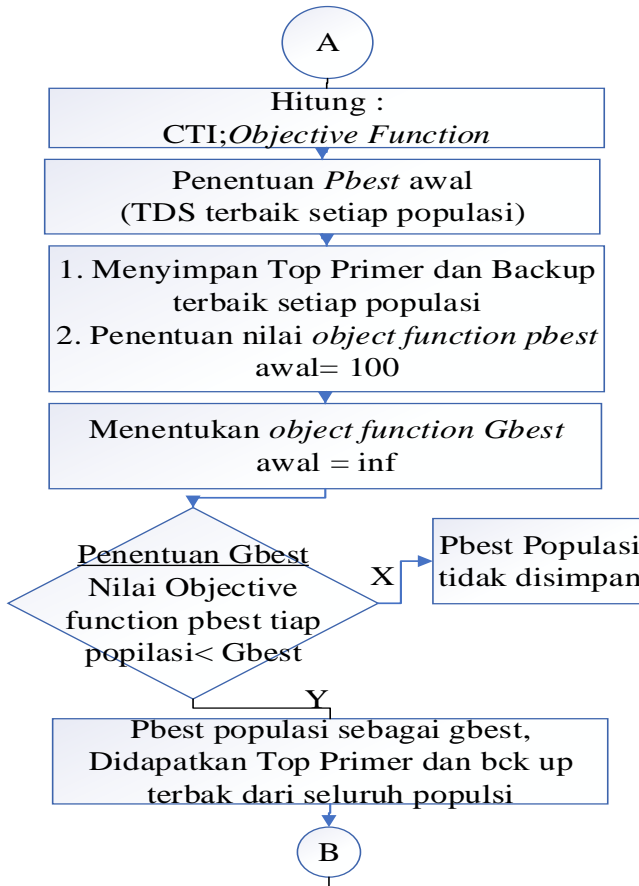
6. Hitung CTI dan *Objective Function*

Menghitung CTI dengan rumusnya. Waktu operasi yang didapat akan dievaluasi dengan objective function.

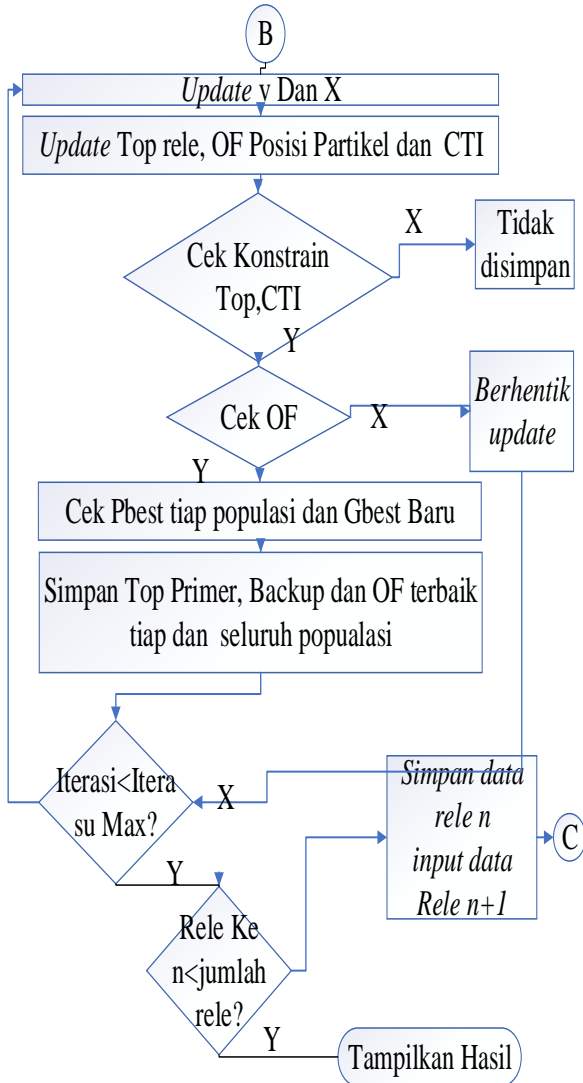
$$Objective\ function = \min \left(\sum_{n=1}^N top\ primer_n \right) \quad (3.4)$$

7. Penentuan Pbest Awal

Pbest awal adalah TDS terbaik pada setiap populasi yang merupakan TDS awal masing-masing partikel.



Gambar 3.3 Flowchart MPSO Bagian 2



Gambar 3.4 Flowchart MPSO Bagian 3

8. **Menyimpan dat populasi terbaik**

Waktu operasi primer setiap populasi disimpan setelah Pbest awal ditentukan sebesar 100.

9. **Penentuan objective function dari Gbest awal**

Niainya ditentukan infinitif.

10. **Penentuan Gbest**

Jika nilai Pbest tiap populasi lebih kecil dari nilai Gbest, maka Pbest disimpan sebagai gbest dan waktu operasi primer dan back up disimpan.

Jika tidak, Pbest tidak disimpan sebagai Gbest

11. **Update kecepatan dan posisi partikel**

Pembaruan sesuai dengan rumus-rumus sebelumnya

12. **Update waktu operasi rele, objective function dan CTI**

Pembaruan dilakukan setelah TDS baru didapat.

13. **Evaluasi constrain waktu operasi dan cti**

$$0,1 \text{ detik} \leq \text{top primer}_n \leq 0,9 \text{ detik}$$

Waktu operasi rele primer dibatasi antara 0,1 detik hingga 0,9 detik.

$$CTI_n \geq 0,2 \text{ detik}$$

CTI rele primer dan *backup* minimum sebesar 0,2 detik

Jika tidak memenuhi syarat diatas, maka TDS tersebut tidak disimpan sebagai Pbest ataupun Gbest

14. **Evaluasi objective function**

Jika *objective function* Pbest tiap populasi lebih kecil dari *objective function* terbaik populasi tersebut, maka TDS akan disimpan sebagai Pbest baru juga waktu operasi primer, back up dan *objective functionnya* juga. Jika tidak maka tidak disimpan

15. Cek Iterasi

Jika iterasi sekarang masih kurang dari batas iterasi maksimum, pengulangan akan dilanjutkan. Jika tidak, maka lanjut ke langkah-langkah selanjutnya.

16. Cek Perhitungan Rele Ke n

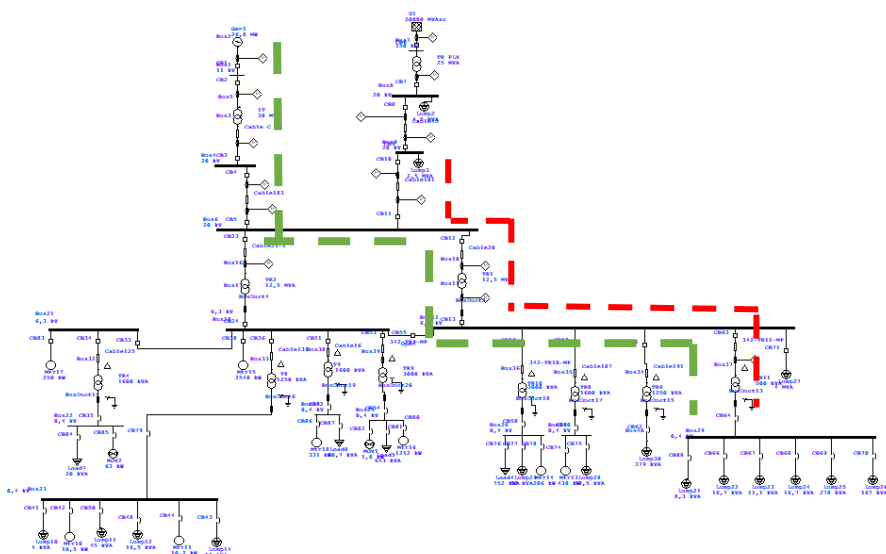
Hasil akan ditampilkan jika evaluasi perhitungan ke n sama dengan jumlah rele yang akan dihitung. Jika belum sama maka akan berlanjut kembali

BAB 4

ANALISIS HASIL PERHITUNGAN

4.1 Penentuan Tipikal Koordinasi Proteksi pada PT. Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2

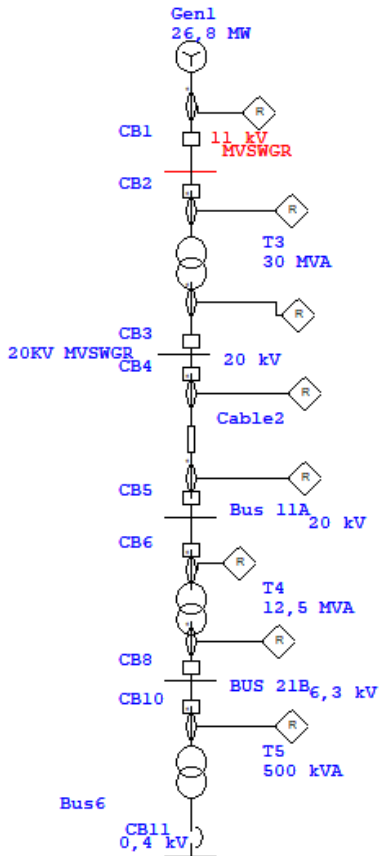
Pada *single line diagram plant* Pabrik Amurea 2, terdapat banyak skenario tipikal yang bisa dilakukan pengaturan koordinasi proteksi. Dari semua skenario tipikal, secara garis besar ditemukan dan dipilih 2 tipikal yang berbeda yang terilustrasi pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Single Line Diagram Pabrik Amurea 2

4.1.1 Tipikal 1

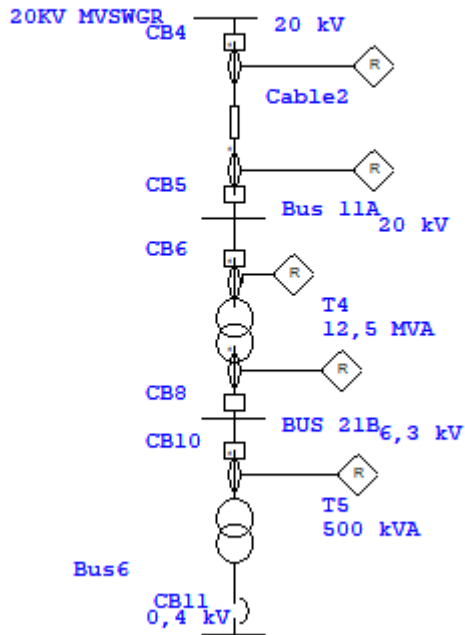
Tipikal 1 adalah tipikal yang dimulai dari beban pada Pabrik Amurea 2 hingga ke generator GGCP 26,8 MW. Tipikal ini dimulai dari LVCB, rele 45, rele 18, rele 13, rele 11, rele 8, rele 5, rele 3 dan berakhir pada rele 4.



Gambar 4.2 Tipikal 1

4.1.2 Tipal 2

Tipikal 2 adalah tipikal yang dimulai dari beban pada Pabrik Amurea 2 hingga ke 20bus86, bus 20KV . Tipikal ini dimulai dari LVCB, rele 45, rele 18, rele 13, rele 12, dan berakhir pada rele 4 GI-15.



Gambar 4.3 Tipikal 2

4.2 Data Pasangan Rele Primer dan Backup

Relé primer adalah relé yang bekerja pertama untuk mengisolasi titik gangguan, sedangkan relé *backup* bekerja sebagai pengamanan cadangan jika relé primer gagal mengisolasi titik gangguan.

Tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan pasangan relé primer dan *backup* pada dua tipikal yang telah dipilih.

Tabel 4.1 Pasangan Relé Primer dan Relé Backup Tipikal 1

No.	Letak Gangguan	Relé Primer	Relé Backup
1	TR 10 (6,3 kV)	Relé 45	Relé 18

No.	Letak Gangguan	Rele Primer	Rele Backup
2	Bus 21 B (6,3 kV)	Rele 18	Rele 13
3	TR 2 (20 kV)	Rele 13	Rele 11
4	Bus 11A (20 kV)	Rele 11	Rele 8
5	Bus 11A (20 kV)	Rele 8	Rele 5
6	20 KV MVSWGR	Rele 5	Rele 3
7	TR IT (11 kV)	Rele 3	Rele 4
8	11 KV MVSWGR	Rele 4	-

Tabel 4.2 Pasangan Rele Primer dan Rele *Backup* Tipikal 2

No.	Letak Gangguan	Rele Primer	Rele Backup
1	TR 10 (6,3 kV)	Rele 45	Rele 18
2	Bus 21 B (6,3 kV)	Rele 18	Rele 13
3	TR 2 (20 kV)	Rele 13	Rele 12
4	Bus 11A (20 kV)	Rele 12	Rele GI-15
5	Bus 11A (20 kV)	Rele GI-15	-

4.3 Data Arus Hubung Singkat pada PT Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2

Dalam penentuan TDS, rele membutuhkan beberapa parameter untuk bekerja salah satunya adalah arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ yang mengalir melalui rele.

Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Maksimum Pabrik Amurea 2

No.	ID	Tegangan (kV)	Iscmax $\frac{1}{2}$ Cycle (A)
1	Bus TR10	6,3	13500
2	Bus 21B	6,3	15900
3	Bus TR IT	11	19900
4	Bus TR2	20	20400
5	Bus 11A	20	20600

No.	ID	Tegangan (kV)	Iscmax $\frac{1}{2}$ Cycle (A)
6	Bus 20 KV MVSWGR	20	20200
7	20BUS86	20	23900

Tabel 4.4 Data Arus Hubung Singkat Maksimum yang Mengalir pada Tiap Rele Tipikal 1

No	ID	Tegangan (kV)	Iscmax Primer (A)	Iscmax Backup (A)	Primer CT
1	Rele 45	6,3	15580	1070	50
2	Rele 18	6,3	12760	12360	600
3	Rele 13	20	19770	3650	600
4	Rele 11	20	3080	3070	1000
5	Rele 8	20	3080	3080	1000
6	Rele 5	20	3090	3080	1000
7	Rele 3	11	9950	5920	1600
8	Rele 4	11	9560	9560	1600

Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Maksimum yang Mengalir pada Tiap Rele Tipikal 2

No	ID	Tegangan (kV)	Iscmax Primer (A)	Iscmax Backup (A)	Primer CT
1	Rele 45	6,3	15580	1070	50
2	Rele 18	6,3	12760	12360	600
3	Rele 13	20	19770	3650	600
4	Rele 12	20	16160	16060	600
5	Rele GI-15	20	16160	16160	600

4.4 Perhitungan *Time Dial Setting* (TDS) dengan MPSO

Penggunaan MPSO memerlukan beberapa parameter yang perlu ditentukan diawal, yaitu:

- Jumlah populasi (nPop) = 10
- Iterasi maksimum(MaxIt)= 50
- Wmax = 0,9
- Wmin = 0,4
- C1 = 0,5
- C2 = 0,5
- C3min = 0,4
- C3max = 0,6

Pada program, pengaruh tegangan rendah didefinisikan langsung dengan besaran waktu yang merupakan waktu operasi *low voltage circuit breaker* (LVCB). Waktu operasi akan menentukan nilai operasi minimum rele.

```

% Asumsi waktu LVCB bekerja
if tLVCB==0
    Iscmax_back(1,1) = inf;
    Target_TopMin = 0.1;
else if tLVCB==0.1
    Target_TopMin = 0.1;
else if tLVCB==0.3
    Target_TopMin = 0.3;
end
end
end
end

```

Gambar 4.4 Asumsi waktu operasi LVCB

4.4.1 Perhitungan TDS Tipikal 1

Pada bagian awal program, beberapa data perlu dimasukkan.

```

Masukkan Jumlah Relay : 8
Masukkan kV Base : 6.3

```

Gambar 4.5 Tampilan Program Input awal

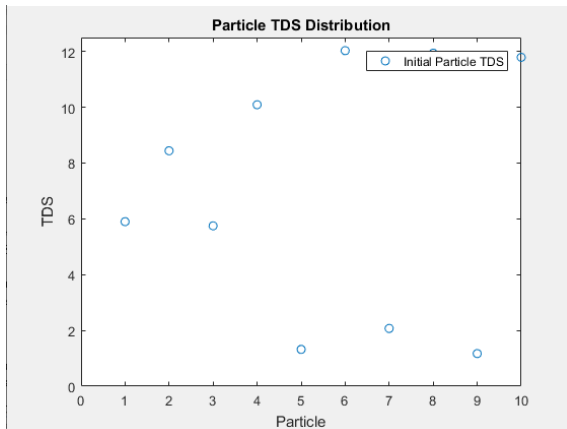
```

===== Input Data Relay 1 dan 2 =====
Masukkan Tegangan Relay 1 dan 2 (kV) : [6.3 6.3]
Masukkan Primer CT Relay 1 dan 2 : [50 600]
Masukkan FLA Relay 1 dan 2 (A) : [45.82 916.4]
Masukkan waktu operasi LVCB :0.3
Masukkan Iscmax Primer 1 dan 2 (A) : [15580 12760]
Masukkan Iscmax Backup 1 dan 2 (A) : [1070 12360]
Target Top Maksimum (s) : 1
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : [4 4]
Target CTI (s) : 0.2

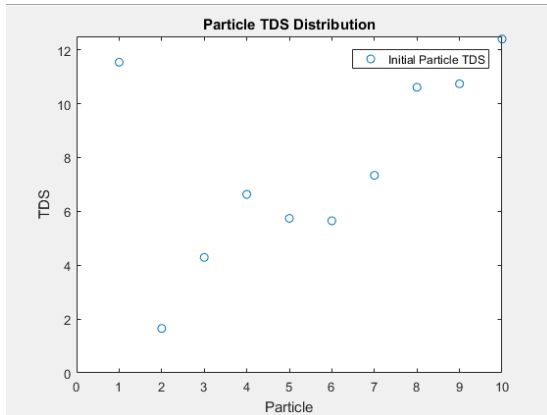
```

Gambar 4.6 Tampilan Masukan Data-data rele 45 dan 18

Setelah data dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.

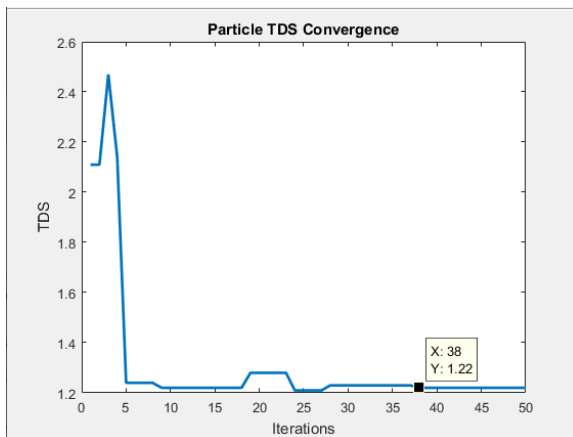


Gambar 4.7 Persebaran awal Partikel TDS Rele 45



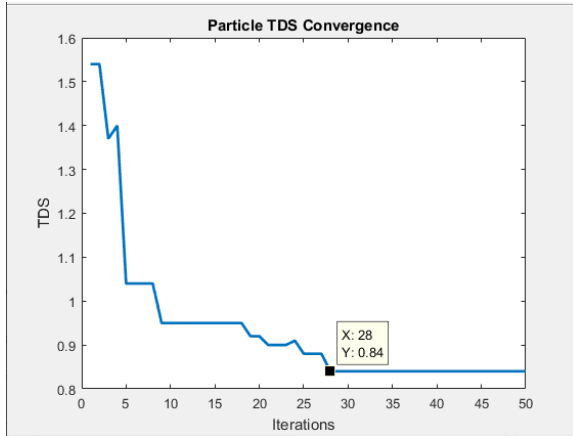
Gambar 4.8 Persebaran awal Partikel TDS Rele 18

Setelah program melakukan iterasi sebanyak 50 kali, TDS yang di dapat untuk rele 45 sebesar 1,22. Pada gambar 4.9 menunjukkan, nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 38.



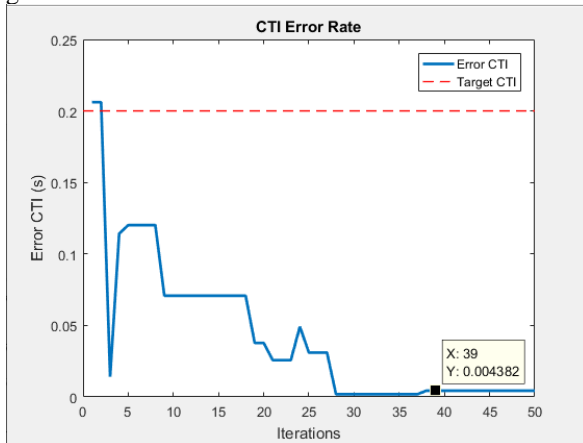
Gambar 4.9 Kurva Konvergensi TDS Rele 45

Nilai TDS rele 18 mulai konvergen dengan nilai sebesar 0,84 pada iterasi ke 28.



Gambar 4.10 Kurva Konvergensi TDS Rele 18

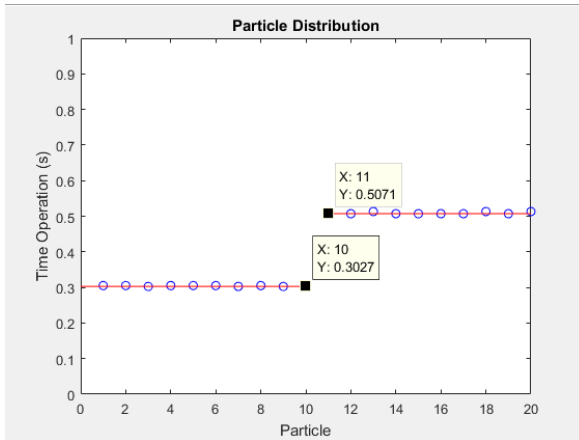
Target CTI antara rele 45 dan rele 18 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah melakukan 50 kali iterasi, didapat error pada CTI yang terilustrasi pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Error pada CTI antara Rele 45 dan Rele 18

Nilai error pada CTI mulai konvergen pada iterasi 39, sebesar 0,004382. Sehingga CTI yang didapat sebesar 0,204382. Rele 45 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,3027, sedangkan waktu operasi rele 18 sebagai rele *backup* sebesar 0,5071. Partikel 1 sampai 10

merupakan asumsi dari rele 40 dan partikel 11 sampai 20 adalah asumsi dari rele 18.



Gambar 4.12 Persebaran Akhir Partikel Rele 45 dan Rele 18

Data-data rele 13 dimasukkan untuk melakukan koordinasi antara rele 18 dan 13.

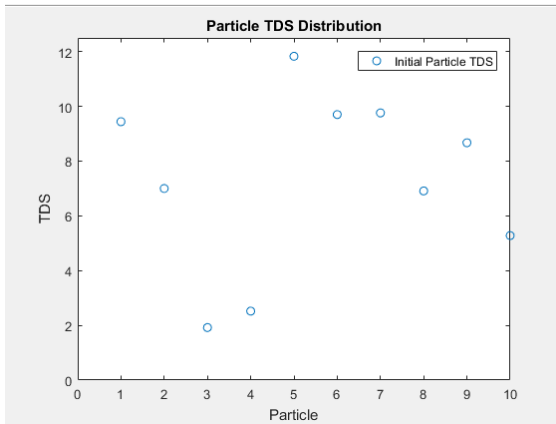
```
Masukkan Tegangan Relay ke 3 (kV) : 20
Masukkan Primer CT ke 3 : 600
Masukkan FLA relay ke 3 (A) : 288.7
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 3 (A) : 19770
Masukkan Iscmax Relay Backup ke 3 (A) : 3650
Jenis Kurva : |
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
```

Gambar 4.13 Tampilan Masukan Data-data rele 13

Setelah data-data rele 13 dimasukkan, program mendeteksi adanya beda level tegangan. Program akan memberikan rekomendasi untuk meminimalkan CTI. CTI untuk dua rele dengan level tegangan berbeda adalah sebesar 0 detik.

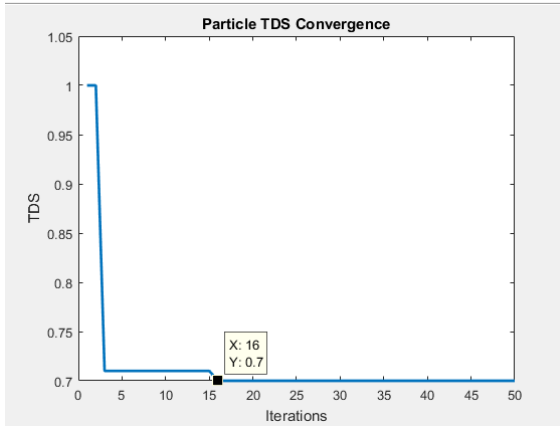
```
=====
                                PERHATIAN
=====
LEVEL TEGANGAN BERBEDA TELAH TERDETEKSI
Apakah CTI Ingin Diminimalkan?
YA = 1, TIDAK = 2
Masukkan Pilihan : 1
STATUS : CTI DIMINIMALKAN
=====
```

Gambar 4.14 Tampilan Program Ketik Beda Level Tegangan Terdeteksi



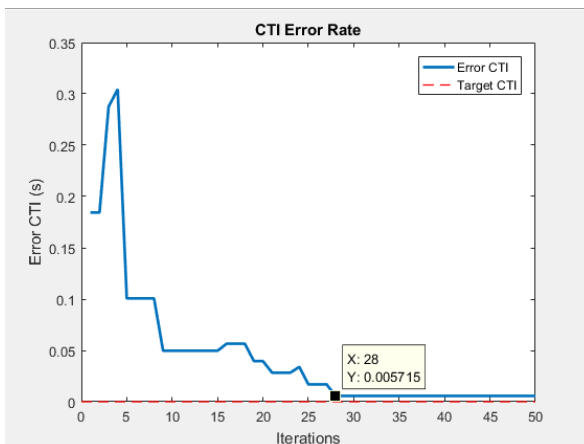
Gambar 4.15 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 13

Gambar 4.15 menunjukkan persebaran awal partikel-partikel sebagai asumsi TDS rele 13. Setelah program melakukan iterasi sebanyak 50 kali, TDS yang di dapat untuk rele 13 sebesar 0.7. Pada gambar 4.16 menunjukkan, nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 16.

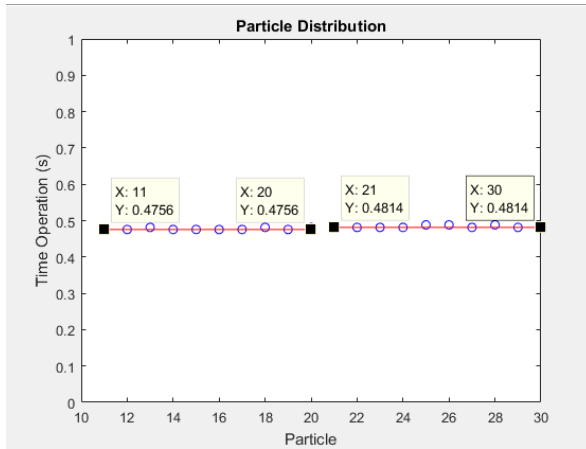


Gambar 4.16 Kurva Konvergensi TDS Rele 13

Nilai eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi 28, sebesar 0,005715 detik. Sehingga CTI yang didapat sebesar 0,205715 detik. Rele 18 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,4756 detik, sedangkan waktu operasi rele 18 sebagai rele *backup* sebesar 0,4814 detik. Partikel 1 sampai 10 merupakan asumsi dari rele 40 dan partikel 11 sampai 20 adalah asumsi dari rele 18.



Gambar 4.17 Error pada CTI antara Rele 18 dan Rele 13



Gambar 4.18 Persebaran Akhir Partikel Rele 18 dan Rele 13

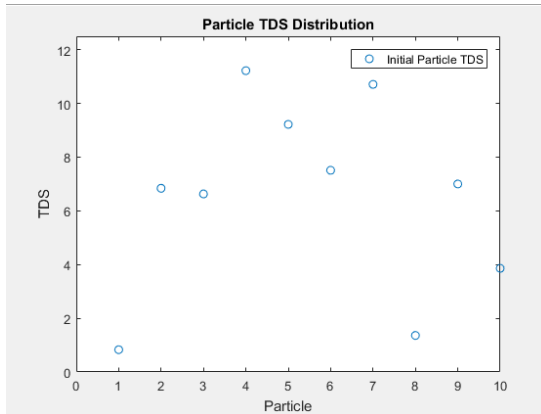
```

Masukkan Tegangan Relay ke 4 (kV) : 20
Masukkan Primer CT ke 4 : 1000
Masukkan FLA relay ke 4 (A) : 577.4
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 4 (A) : 3080
Masukkkkan Iscmax Relay Backup ke 4 (A) : 3070
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
Target CTI (s) : 0.2

```

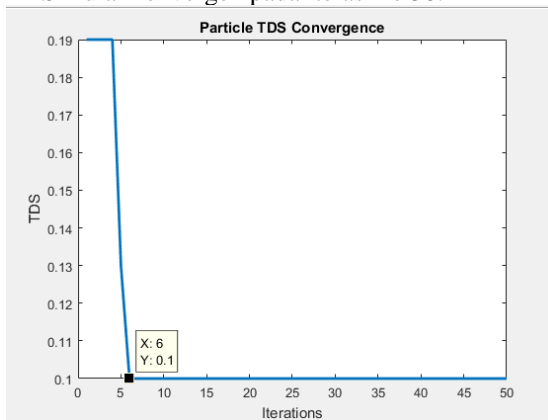
Gambar 4.19 Tampilan Masukan Data-data Rele 11

Setelah data-data rele 11 dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.



Gambar 4.20 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 11

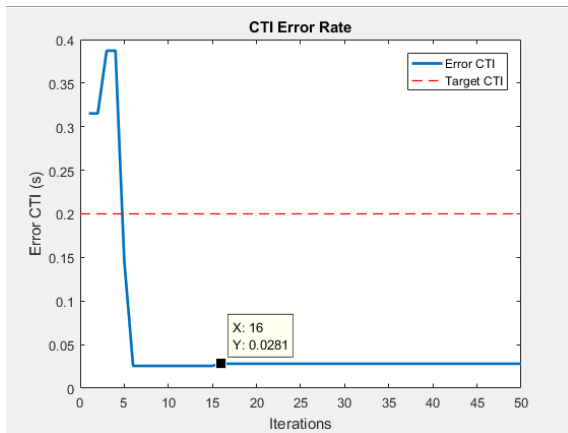
Lalu, program akan melakukan iterasi sebanyak 50 kali dan TDS yang di dapat untuk rele 11 sebesar 0,1. Pada gambar 4.21 menunjukkan, nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 38.



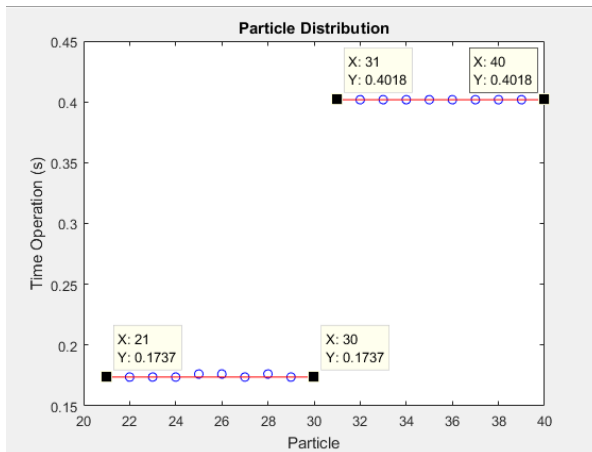
Gambar 4.21 Kurva Konvergensi TDS Rele 11

Target CTI antara rele 13 dan rele 11 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah 50 kali iterasi, eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi ke 16 sebesar 0,0281 yang terilustrasi pada gambar 4.22. Rele 13 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,1737 detik, sedangkan waktu operasi rele 11 sebagai rele *backup* sebesar 0,4018 detik. Partikel 21 sampai 30

adalah asumsi dari rele 13 dan partikel 31 sampai 40 adalah asumsi dari rele 11.



Gambar 4.22 Error pada CTI antara Rele 13 dan Rele 11



Gambar 4.23 Persebaran Akhir Partikel Rele 13 dan Rele 11

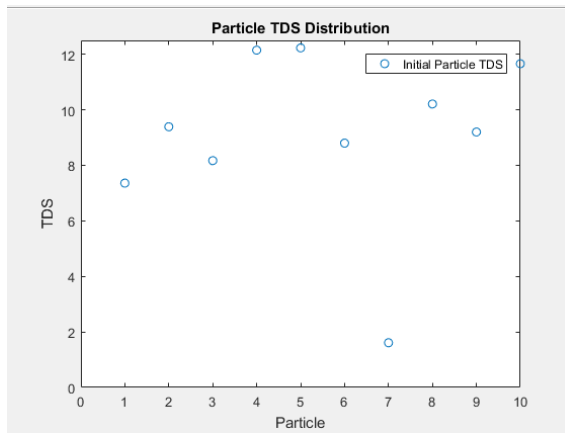
```

Masukkan Tegangan Relay ke 5 (kV) : 20
Masukkan Primer CT ke 5 : 1000
Masukkan FLA relay ke 5 (A) : 577.4
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 5 (A) : 3080
Masukkan Iscmax Relay Backup ke 5 (A) : 3080
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
Target CTI (s) : 0.2

```

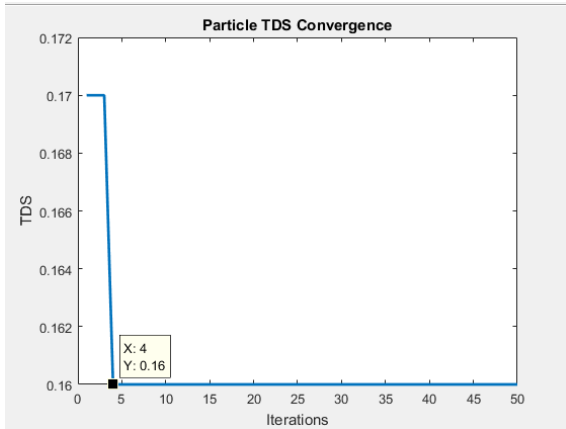
Gambar 4.24 Tampilan Masukan Data-data Rele 8

Setelah data-data rele 8 dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.



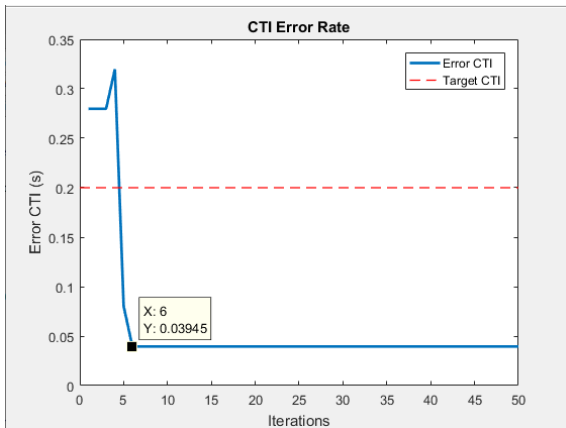
Gambar 4.25 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 8

Lalu, program akan melakukan iterasi sebanyak 50 kali dan TDS yang di dapat untuk rele 8 adalah sebesar 0,16. Gambar 4.26 menunjukkan nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 4.

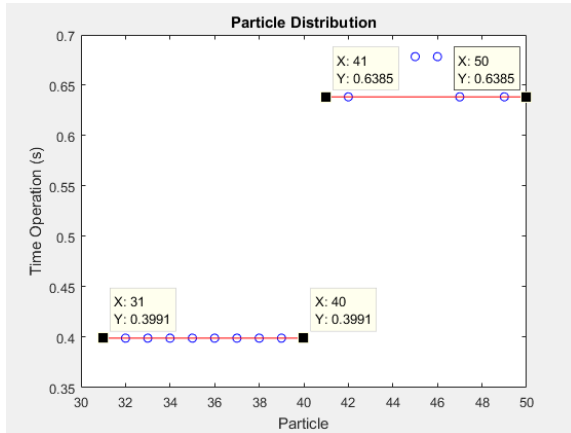


Gambar 4.26 Kurva Konvergensi TDS Rele 8

Target CTI antara rele 11 dan rele 8 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah 50 kali iterasi, eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi ke 6 sebesar 0,03945 yang terilustrasi pada gambar 4.26. Rele 11 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,3991 detik, sedangkan waktu operasi rele 11 sebagai rele *backup* sebesar 0,6385 detik. Partikel 31 sampai 40 adalah asumsi dari rele 13 dan partikel 41 sampai 50 adalah asumsi dari rele 8.



Gambar 4.27 Error pada CTI antara Rele 11 dan Rele 8



Gambar 4.28 Persebaran Akhir Partikel Rele 11 dan Rele 8

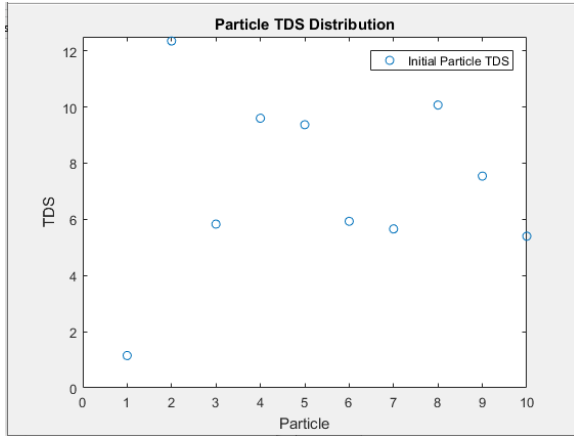
Setelah data-data rele 5 dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.

```

Masukkan Tegangan Relay ke 6 (kV) : 20
Masukkan Primer CT ke 6 : 1000
Masukkan FLA relay ke 6 (A) : 577.4
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 6 (A) : 3090
Masukkkkan Iscmax Relay Backup ke 6 (A) : 3080
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
Target CTI (s) : 0.2

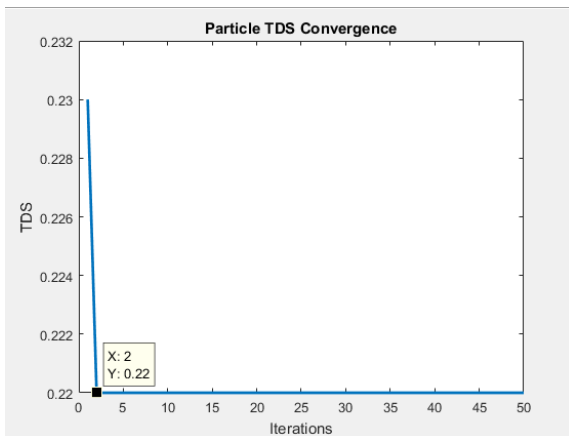
```

Gambar 4.29 Tampilan Masukan Data-data Rele 5



Gambar 4.30 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 5

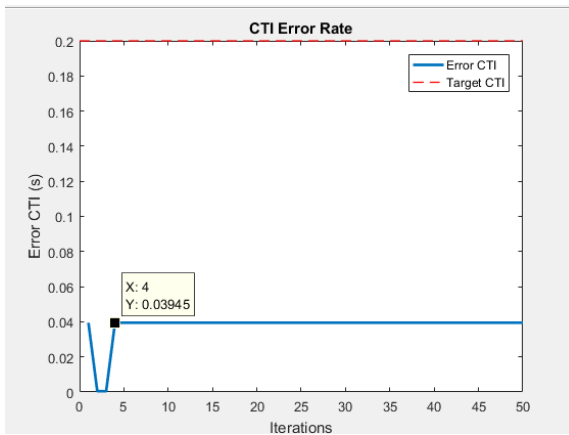
Lalu, program akan melakukan iterasi sebanyak 50 kali dan TDS yang di dapat untuk rele 5 adalah sebesar 0,22. Gambar 4.31 menunjukkan nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 2.



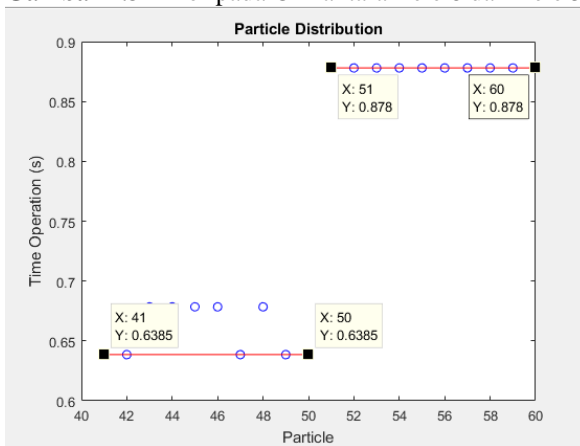
Gambar 4.31 Kurva Konvergensi TDS Rele 5

Target CTI antara rele 8 dan rele 5 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah 50 kali iterasi, eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi ke 4 sebesar 0,03945 yang terilustrasi pada gambar 4.32. Rele 8 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,6385 detik, sedangkan waktu operasi

rele 5 sebagai rele *backup* sebesar 0,878 detik. Partikel 41 sampai 50 adalah asumsi dari rele 8 dan partikel 51 sampai 60 adalah asumsi dari rele 5.



Gambar 4.32 Error pada CTI antara Rele 8 dan Rele 5



Gambar 4.33 Persebaran Akhir Partikel Rele 8 dan Rele 5

Setelah data-data rele 3 dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak. Program juga akan mendeteksi adanya beda level tegangan. Program akan memberikan rekomendasi untuk meminimalkan CTI. CTI untuk dua rele dengan level tegangan berbeda adalah sebesar 0 detik.

```

Masukkan Tegangan Relay ke 7 (kV) : 11
Masukkan Primer CT ke 7 : 1600
Masukkan FLA relay ke 7 (A) : 1575
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 7 (A) : 9950
Masukkkkan Iscmax Relay Backup ke 7 (A) : 5920
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4

```

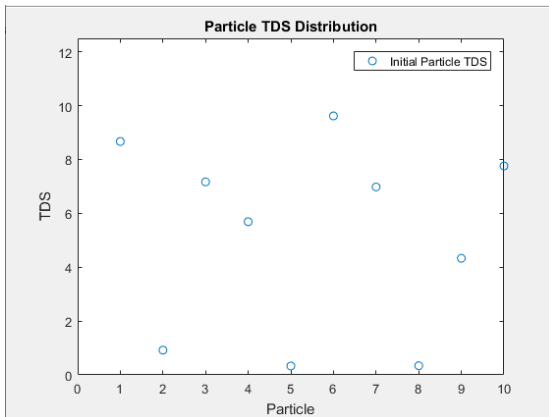
Gambar 4.34 Tampilan Masukan Data-data Rele 3

```

=====
PERHATIAN
=====
LEVEL TEGANGAN BERBEDA TELAH TERDETEKSI
Apakah CTI Ingin Diminimalkan?
YA = 1, TIDAK = 2
Masukkan Pilihan : 1
STATUS : CTI DIMINIMALKAN
=====

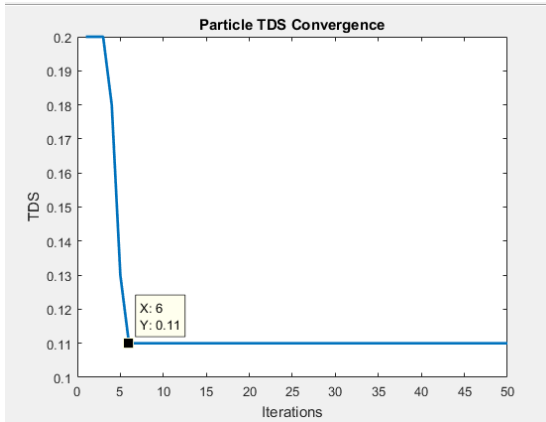
```

Gambar 4.35 Tampilan Program Ketik Beda Level Tegangan Terdeteksi



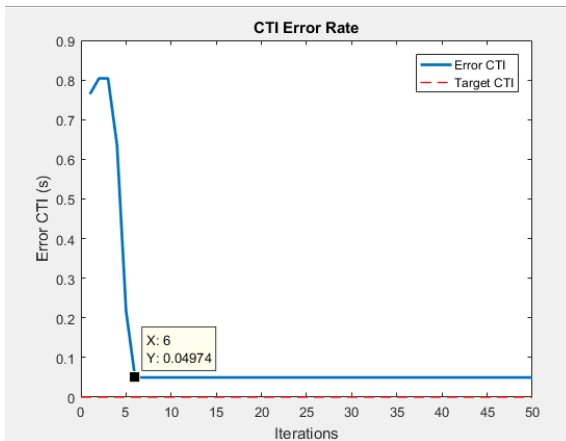
Gambar 4.36 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 3

Lalu, program akan melakukan iterasi sebanyak 50 kali dan TDS yang di dapat untuk rele 3 adalah sebesar 0,11. Gambar 4.37 menunjukkan nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 6.

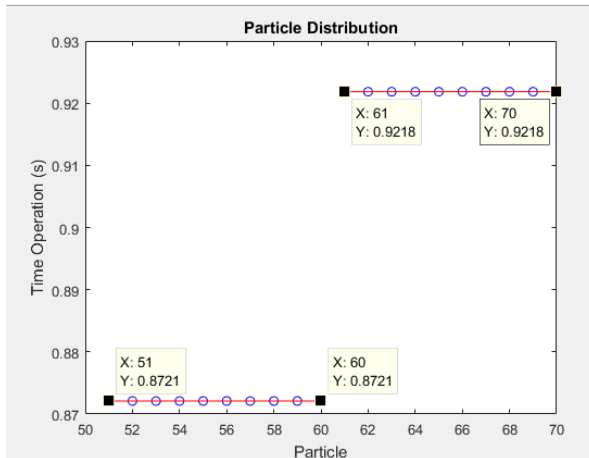


Gambar 4.37 Kurva Konvergensi TDS Rele 3

Target CTI antara rele 5 dan rele 3 adalah sebesar 0 detik. Setelah 50 kali iterasi, eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi ke 6 sebesar 0,04974 yang terilustrasi pada gambar 4.38. Rele 5 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,8721 detik, sedangkan waktu operasi rele 3 sebagai rele *backup* sebesar 0,9218 detik. Partikel 51 sampai 60 adalah asumsi dari rele 5 dan partikel 61 sampai 70 adalah asumsi dari rele 3.



Gambar 4.38 Error pada CTI antara Rele 5 dan Rele 3



Gambar 4.39 Persebaran Akhir Partikel Rele 5 dan Rele 3

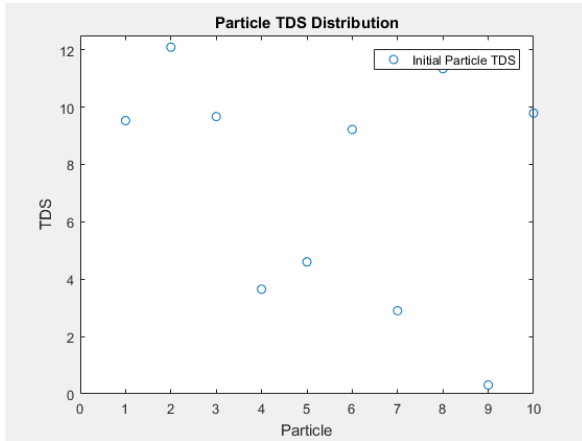
```

Masukkan Tegangan Relay ke 8 (kV) : 11
Masukkan Primer CT ke 8 : 1600
Masukkan FLA relay ke 8 (A) : 1575
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 8 (A) : 9560
Masukkkkan Iscmax Relay Backup ke 8 (A) : 9560
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
Target CTI (s) : 0.2

```

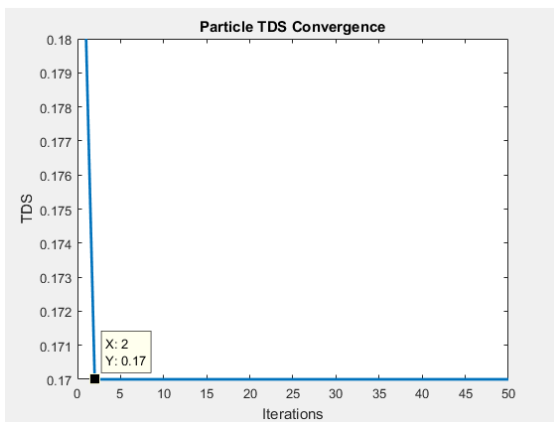
Gambar 4.40 Tampilan Masukan Data-data Rele 4

Setelah data-data rele 4 dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.



Gambar 4.41 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 4

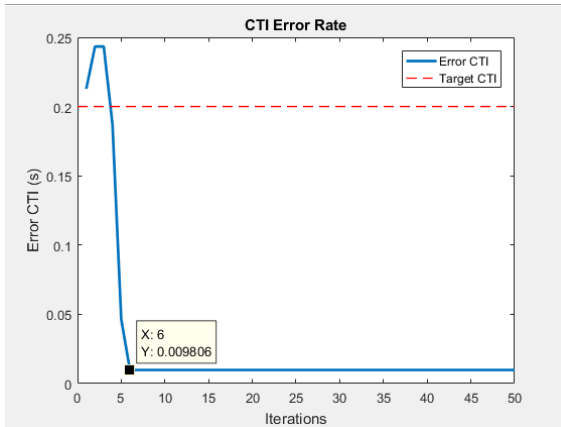
Lalu, program akan melakukan iterasi sebanyak 50 kali dan TDS yang di dapat untuk rele 4 adalah sebesar 0,17. Gambar 4.42 menunjukkan nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 2.



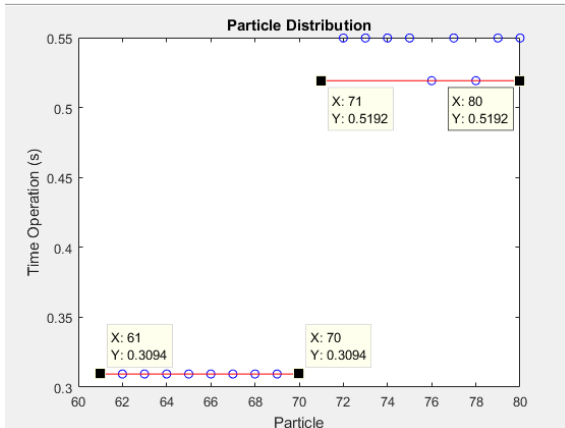
Gambar 4.42 Kurva Konvergensi TDS Rele 4

Target CTI antara rele 3 dan rele 4 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah 50 kali iterasi, eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi ke 6 sebesar 0,009806 yang terilustrasi pada gambar 4.43. Rele 3 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,3094 detik, sedangkan waktu operasi

rele 4 sebagai rele *backup* sebesar 0,5192 detik. Partikel 61 sampai 70 adalah asumsi dari rele 3 dan partikel 71 sampai 80 adalah asumsi dari rele 4.



Gambar 4.43 Error pada CTI antara Rele 3 dan Rele 4



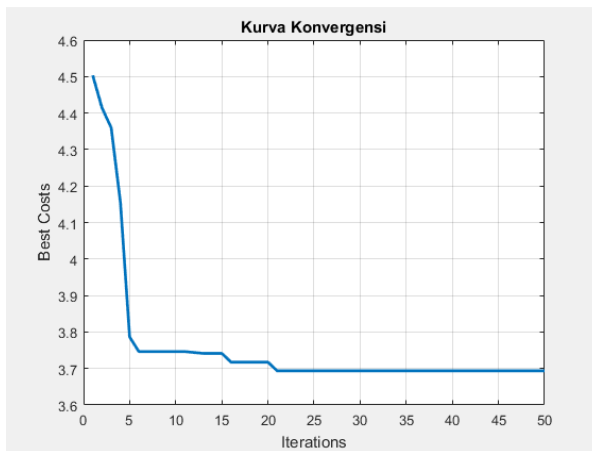
Gambar 4.44 Persebaran Akhir Partikel Rele 3 dan Rele 4

Setelah perhitungan oleh progmr selesai, hasil keseluruhan koordinasi rele tipikal 1 akan tampak seperti gambar 4.45. Seluruh perhitungan tipikal 1 konvergen pada iterasi ke 21 dengan nilai dari *objective function* sebesar 3,6904.

Relays Data Summary						
Relay	Voltage (kV)	Primary CT	Ip (A)	Tap	TDS	Curve Type
1	6.30	50	48.11	0.96	1.22	Extremely Inverse
2	6.30	600	962.22	1.60	0.84	Extremely Inverse
3	20.00	600	303.13	0.51	0.70	Extremely Inverse
4	20.00	1000	606.27	0.61	0.10	Extremely Inverse
5	20.00	1000	606.27	0.61	0.16	Extremely Inverse
6	20.00	1000	606.27	0.61	0.22	Extremely Inverse
7	11.00	1600	1653.75	1.03	0.11	Extremely Inverse
8	11.00	1600	1653.75	1.03	0.17	Extremely Inverse

Time Operation Analysis						
Relay Primer	Relay Backup	Iscmax Primer(A)	Iscmax Backup(A)	Top Primer(s)	Top Backup(s)	CTI(s)
1	2	15580.00	12360.00	0.3027	0.5071	0.2044
2	3	12760.00	3650.00	0.4756	0.4814	0.0057
3	4	19770.00	3070.00	0.1737	0.4018	0.2281
4	5	3080.00	3080.00	0.3991	0.6385	0.2395
5	6	3080.00	3080.00	0.6385	0.8780	0.2395
6	7	3090.00	5920.00	0.8721	0.9218	0.0497
7	8	9950.00	9560.00	0.3094	0.5192	0.2098
8	0	9560.00	0.00	0.5192	0.0000	0.0000

Gambar 4.45 Hasil keseluruhan tipikal 1



Gambar 4.46 Kurva Konvergensi Tipikal 1

4.4.2 Perhitungan TDS Tipikal 2

Pada bagian awal program, beberapa data perlu dimasukkan.

Masukkan Jumlah Relay : 5

Masukkan kV Base : 6.3

Gambar 4.47 Tampilan Program Input awal

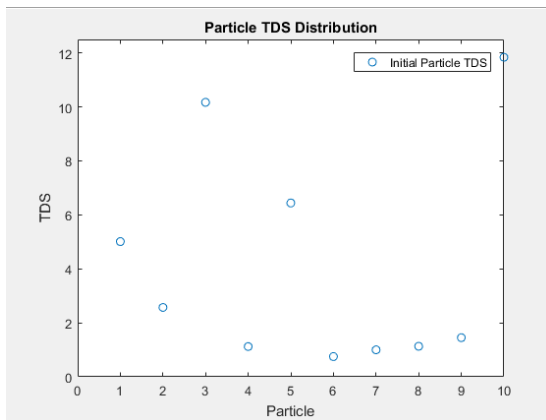
```

===== Input Data Relay 1 dan 2 =====
Masukkan Tegangan Relay 1 dan 2 (kV) : [6.3 6.3]
Masukkan Primer CT Relay 1 dan 2 : [50 600]
Masukkan FLA Relay 1 dan 2 (A) : [45.82 916.4]
Masukkan waktu operasi LVCB :0.3
Masukkan Iscmax Primer 1 dan 2 (A) : [15580 12760]
Masukkan Iscmax Backup 1 dan 2 (A) : [1070 12360]
Target Top Maksimum (s) : 1
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : [4 4]
Target CTI (s) : 0.2

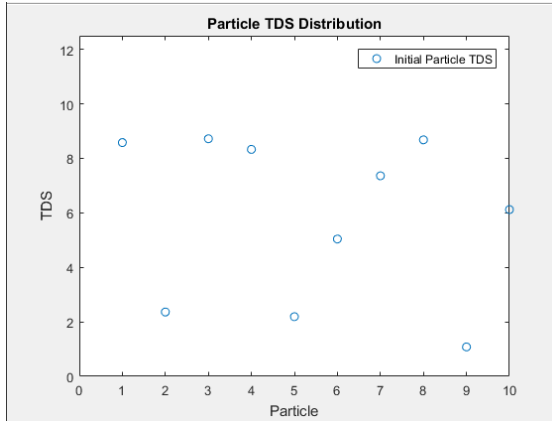
```

Gambar 4.48 Tampilan Masukan Data-data rele 45 dan 18

Setelah data dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.

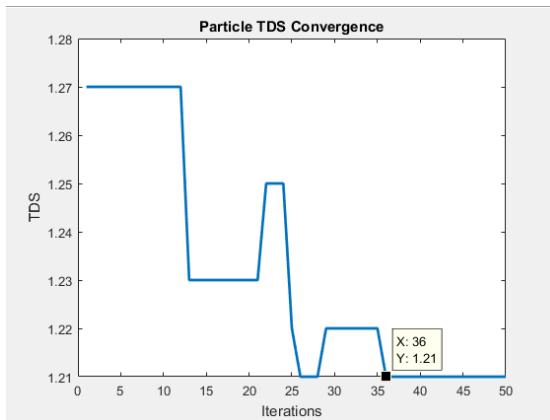


Gambar 4.49 Persebaran awal Partikel TDS Rele 45



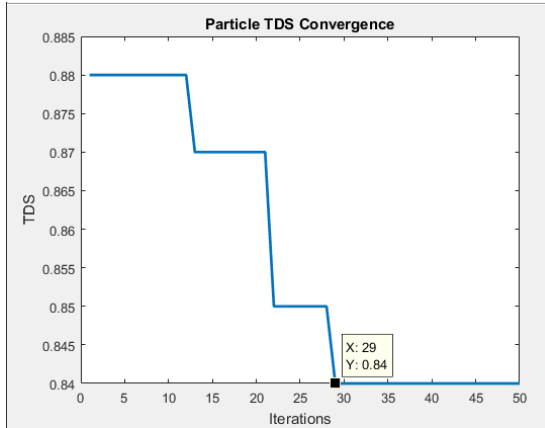
Gambar 4.50 Persebaran awal Partikel TDS Rele 18

Setelah program melakukan iterasi sebanyak 50 kali, TDS yang di dapat untuk rele 45 sebesar 1,21. Pada gambar 4.51 menunjukkan, nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 36.



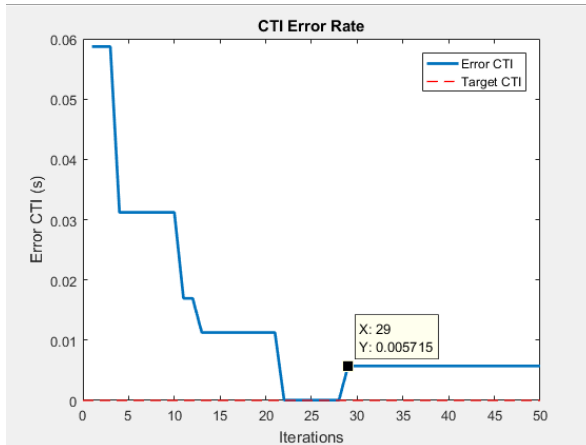
Gambar 4.51 Kurva Konvergensi TDS Rele 45

Nilai TDS rele 18 mulai konvergen dengan nilai sebesar 0,84 pada iterasi ke 29.



Gambar 4.52 Kurva Konvergensi TDS Rele 18

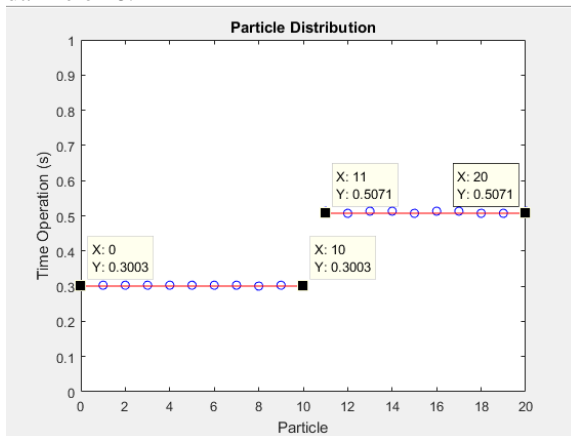
Target CTI antara rele 45 dan rele 18 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah melakukan 50 kali iterasi, didapat error pada CTI yang terilustrasi pada gambar 4.53.



Gambar 4.53 Error pada CTI antara Rele 45 dan Rele 18

Nilai eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi 29, sebesar 0,005715 detik. Sehingga CTI yang didapat sebesar 0,005715 detik. Rele 45 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,3003, sedangkan waktu operasi rele 18 sebagai rele *backup* sebesar 0,5071. Partikel 1 sampai 10

merupakan asumsi dari rele 40 dan partikel 11 sampai 20 adalah asumsi dari rele 18.



Gambar 4.54 Persebaran Akhir Partikel Rele 45 dan Rele 18

Data-data rele 13 dimasukkan untuk melakukan koordinasi antara rele 18 dan 13.

```

Masukkan Tegangan Relay ke 3 (kV) : 20
Masukkan Primer CT ke 3 : 600
Masukkan FLA relay ke 3 (A) : 288.7
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 3 (A) : 19770
Masukkan Iscmax Relay Backup ke 3 (A) : 3650
Jenis Kurva :|
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
    
```

Gambar 4.55 Tampilan Masukan Data-data rele 13

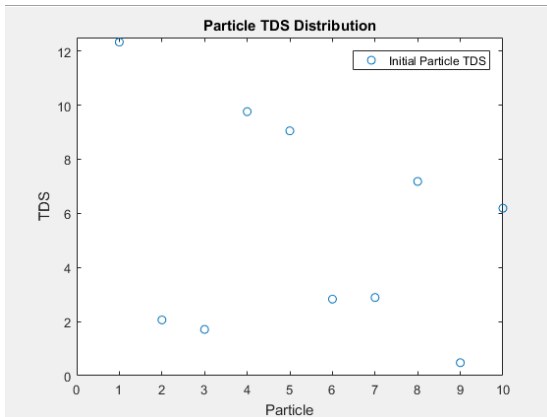
Setelah data-data rele 13 dimasukkan, program mendeteksi adanya beda level tegangan. Program akan memberikan rekomendasi untuk meminimalkan CTI. CTI untuk dua rele dengan level tegangan berbeda adalah sebesar 0 detik.

```

=====
PERHATIAN
=====
LEVEL TEGANGAN BERBEDA TELAH TERDETEKSI
Apakah CTI Ingin Diminimalkan?
YA = 1, TIDAK = 2
Masukkan Pilihan : 1
STATUS : CTI DIMINIMALKAN
=====

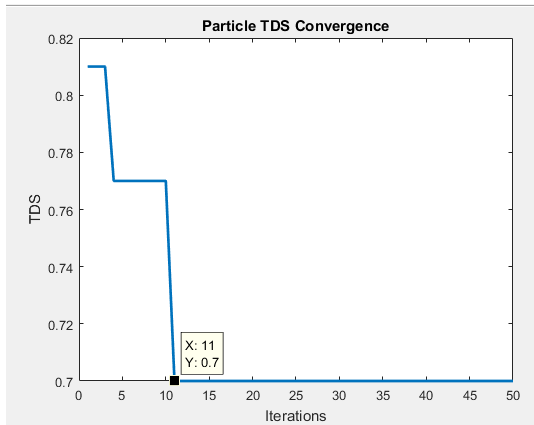
```

Gambar 4.56 Tampilan Program Ketik Beda Level Tegangan Terdeteksi



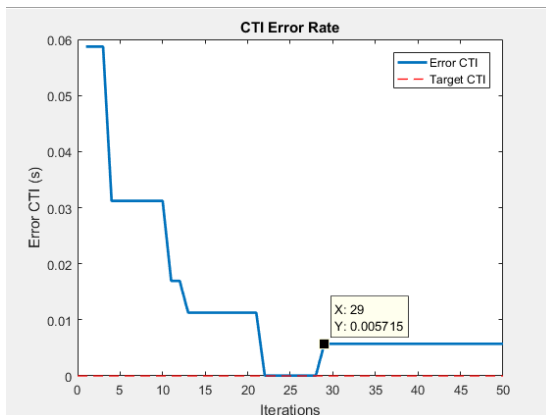
Gambar 4.57 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 13

Gambar 4.57 menunjukkan persebaran awal partikel-partikel sebagai asumsi TDS rele 13. Setelah program melakukan iterasi sebanyak 50 kali, TDS yang di dapat untuk rele 13 sebesar 0.7. Gambar 4.58 menunjukkan, nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 16.

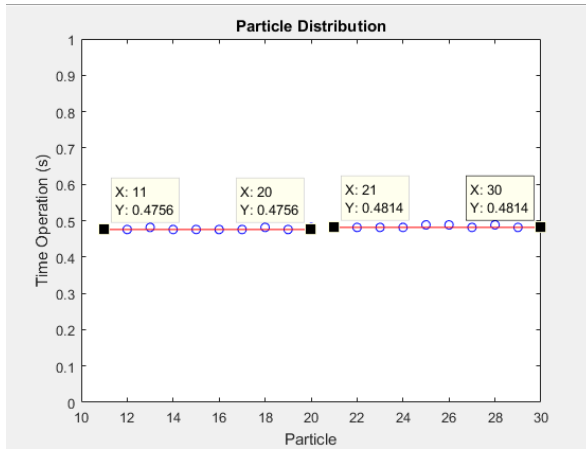


Gambar 4.58 Kurva Konvergensi TDS Rele 13

Nilai eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi 28, sebesar 0,005715 detik. Sehingga CTI yang didapat sebesar 0,005715 detik. Rele 18 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,4756 detik, sedangkan waktu operasi rele 18 sebagai rele *backup* sebesar 0,4814 detik. Partikel 1 sampai 10 merupakan asumsi dari rele 40 dan partikel 11 sampai 20 adalah asumsi dari rele 18.



Gambar 4.59 Error pada CTI antara Rele 18 dan Rele 13



Gambar 4.60 Persebaran Akhir Partikel Rele 18 dan Rele 13

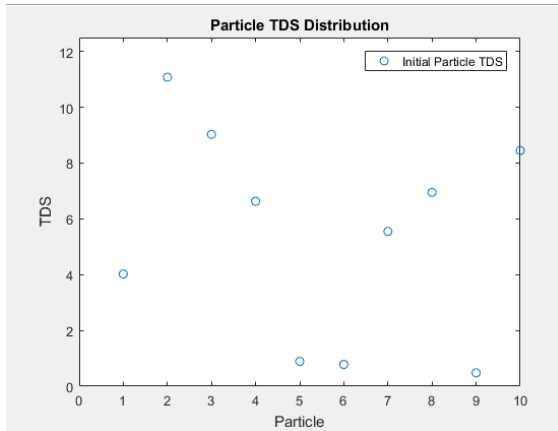
Setelah data-data rele 12 dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.

```

Masukkan Tegangan Relay ke 4 (kV) : 20
Masukkan Primer CT ke 4 : 600
Masukkan FLA relay ke 4 (A) : 577.4
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 4 (A) : 16160
Masukkan Iscmax Relay Backup ke 4 (A) : 16060
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
Target CII (s) : 0.2

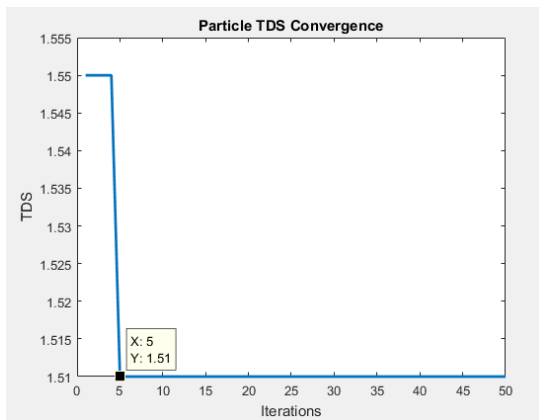
```

Gambar 4.61 Tampilan Masukan Data-data rele 12



Gambar 4.62 Persebaran Awal Partikel TDS Rele 12

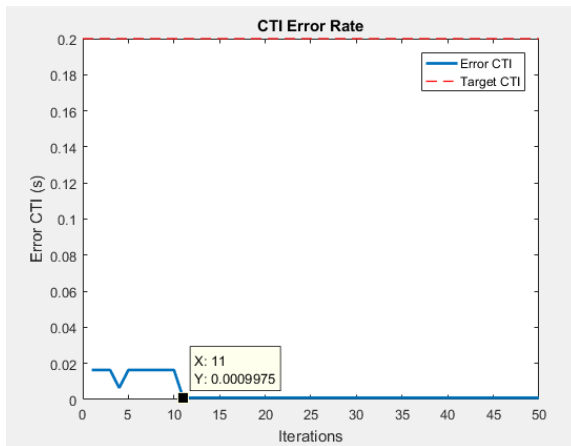
Lalu, program akan melakukan iterasi sebanyak 50 kali dan TDS yang di dapat untuk rele 12 adalah sebesar 1,51. Gambar 4.63 menunjukkan nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 5.



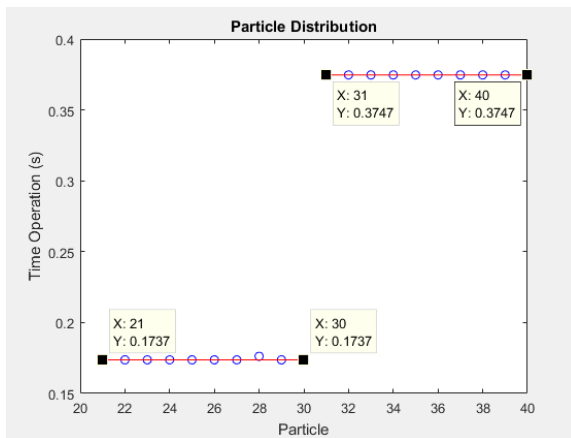
Gambar 4.63 Kurva Konvergensi TDS Rele 12

Target CTI antara rele 13 dan rele 12 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah 50 kali iterasi, eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi ke 11 sebesar 0,0009975 detik yang terilustrasi pada gambar 4.64. Sehingga CTI yang didapat sebesar 0,2010 detik. Rele 13 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,1737 detik, sedangkan waktu operasi rele 11 sebagai rele

backup sebesar 0,3747 detik. Partikel 21 sampai 30 adalah asumsi dari rele 13 dan partikel 31 sampai 40 adalah asumsi dari rele 12.



Gambar 4.64 Error pada CTI antara Rele 13 dan Rele 12

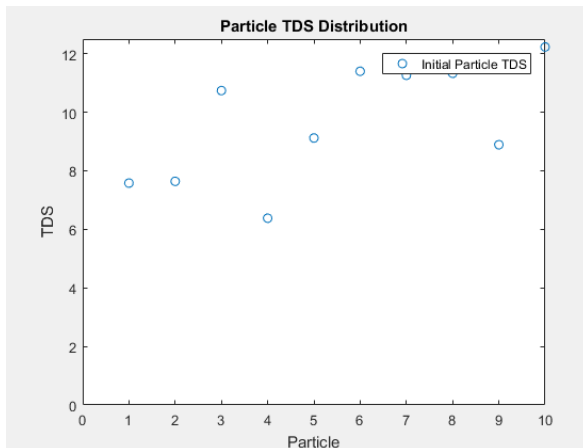


Gambar 4.65 Persebaran Akhir Partikel Rele 13 dan Rele 12

Setelah data-data rele GI-15 dimasukkan secara lengkap, partikel-partikel yang merupakan asumsi dari TDS akan tersebar secara acak.

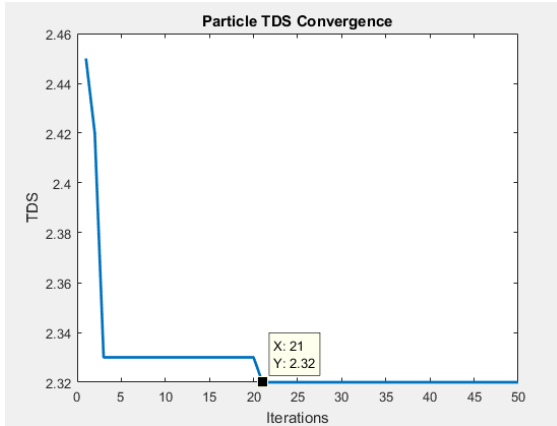
Masukkan Tegangan Relay ke 5 (kV) : 20
Masukkan Primer CT ke 5 : 600
Masukkan FLA relay ke 5 (A) : 577.4
Masukkan Iscmax Relay Primer ke 5 (A) : 16160
Masukkan Iscmax Relay Backup ke 5 (A) : 16160
Jenis Kurva :
(1) Standard Inverse
(2) Very Inverse
(3) Long Time Inverse
(4) Extremely Inverse
(5) Ultra Inverse
Pilih Jenis Kurva : 4
Target CTI (s) : 0.2

Gambar 4.66 Tampilan Masukan Data-data Rele GI-15



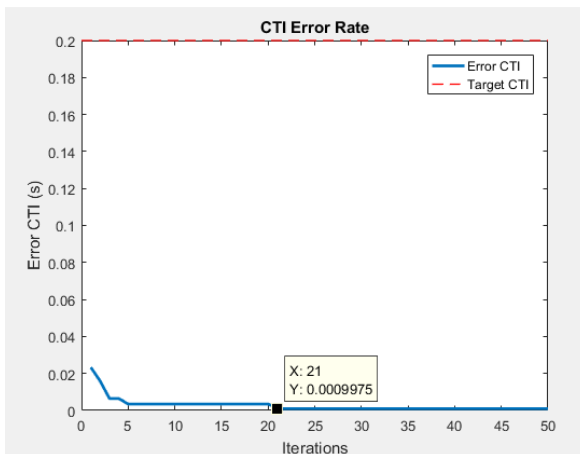
Gambar 4.67 Persebaran Awal Partikel TDS Rele GI-15

Lalu, program akan melakukan iterasi sebanyak 50 kali dan TDS yang di dapat untuk rele GI-15 adalah sebesar 2,32. Gambar 4.68 menunjukkan nilai TDS mulai konvergen pada iterasi ke 21.

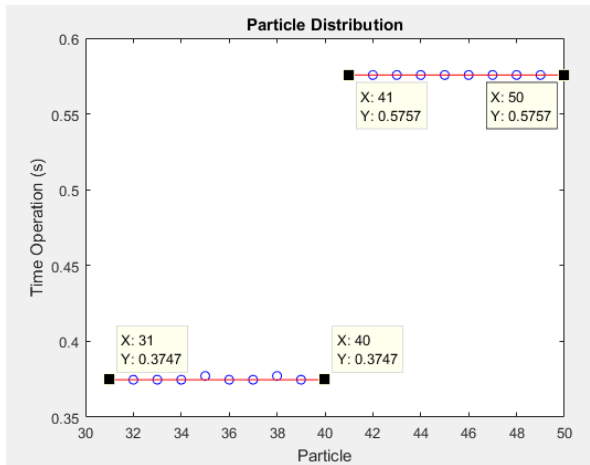


Gambar 4.68 Kurva Konvergensi TDS Rele GI-15

Target CTI antara rele 12 dan rele GI-15 adalah sebesar 0,2 detik. Setelah 50 kali iterasi, eror pada CTI mulai konvergen pada iterasi ke 21 sebesar 0,0009975 yang terilustrasi pada gambar 4.69. Sehingga CTI yang didapat sebesar 0,2010 detik. Rele 12 sebagai rele primer memiliki waktu operasi sebesar 0,3747 detik, sedangkan waktu operasi rele GI-15 sebagai rele *backup* sebesar 0,5757 detik. Partikel 31 sampai 40 adalah asumsi dari rele 12 dan partikel 41 sampai 50 adalah asumsi dari rele GI-15.



Gambar 4.69 Error pada CTI antara Rele 12 dan Rele GI-15



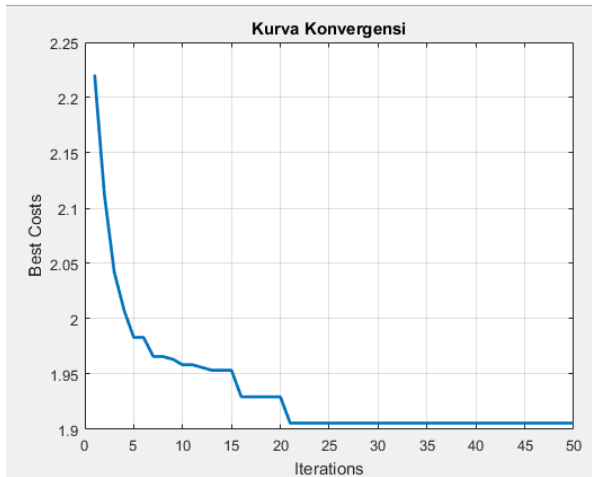
Gambar 4.70 Persebaran Akhir Partikel Relé 8 dan Relé 5

Setelah perhitungan oleh program selesai, hasil keseluruhan koordinasi rele tipikal 2 akan tampak seperti gambar 4.71. Seluruh perhitungan tipikal 1 konvergen pada iterasi ke 21 dengan nilai dari *objective function* sebesar 1,9057.

Relays Data Summary						
Relay	Voltage (kV)	Primary CT	Ip (A)	Tap	TDS	Curve Type
1	6.30	50	48.11	0.96	1.21	Extremely Inverse
2	6.30	600	962.22	1.60	0.85	Extremely Inverse
3	20.00	600	303.13	0.51	0.70	Extremely Inverse
4	20.00	600	606.27	1.01	1.51	Extremely Inverse
5	20.00	600	606.27	1.01	2.32	Extremely Inverse

Time Operation Analysis							
Relay Primer	Relay Backup	Iscmax Primer (A)	Iscmax Backup (A)	Top Primer (s)	Top Backup (s)	CTI (s)	
1	2	15580.00	12360.00	0.3003	0.5132	0.2129	
2	3	12760.00	3650.00	0.4813	0.4814	0.0001	
3	4	19770.00	16060.00	0.1737	0.3747	0.2010	
4	5	16160.00	16160.00	0.3747	0.5757	0.2010	
5	0	16160.00	0.00	0.5757	0.0000	0.0000	

Gambar 4.71 Hasil keseluruhan tipikal 2



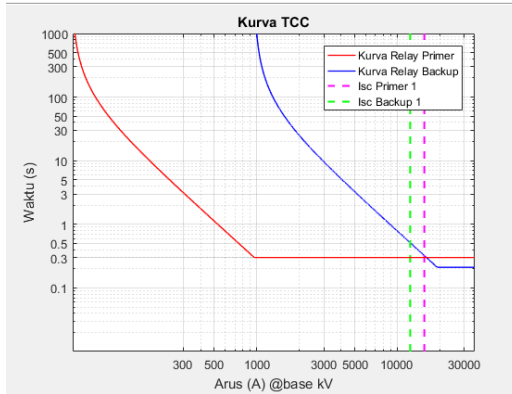
Gambar 4.72 Kurva Konvergensi Tipikal 2

4.4.3 Plot Kurva TCC Tipikal 1

Setelah didapat parameter TDS, kurva TCC bisa dibuat menggunakan *software* MATLAB.

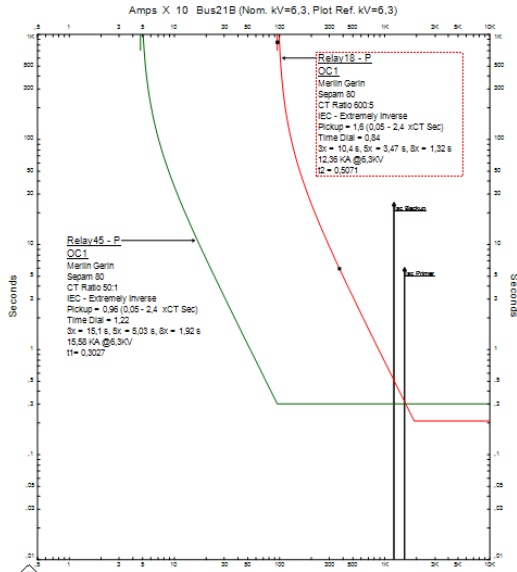
Rele 45 dan Rele 18

Gambar 4.73 menunjukkan kurva TCC rele 45 dan rele 18. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 45, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 18. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 45 sebesar 15,58 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 18 sebesar 10,85 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus TR10.



Gambar 4.73 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18

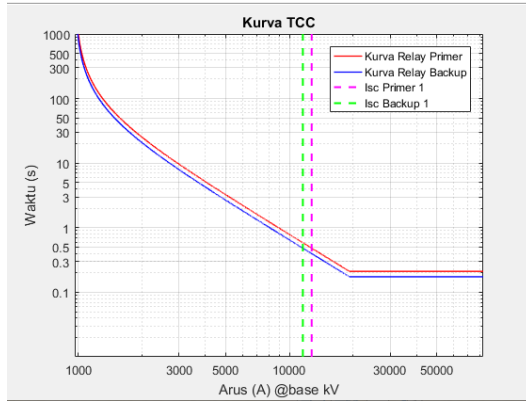
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.74. Pada kurva TCC rele 45 dan rele 18 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 45 sebesar 0,3027 detik dan rele 18 sebesar 0,5071. Waktu operasi dimulai pada sekitar 0,3 detik karena mempertimbangkan waktu kerja LVCB sebesar 0.3 detik di bawah rele dengan level tegangan yang berbeda.



Gambar 4.74 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18 Menggunakan ETAP

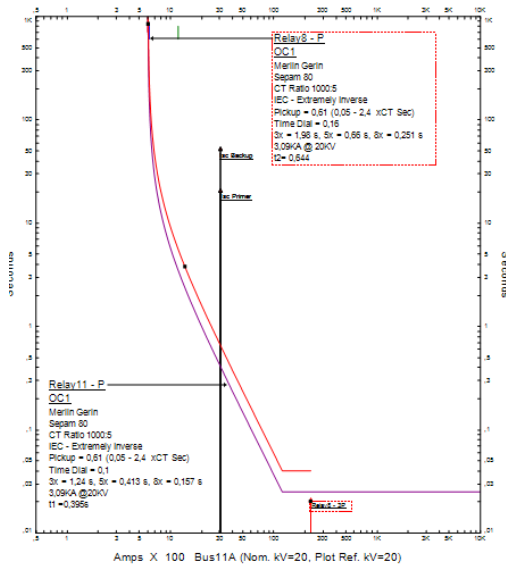
Rele 18 dan Rele 13

Gambar 4.75 menunjukkan kurva TCC rele 18 dan rele 13. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 18, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 13. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 18 sebesar 12,76 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 18 sebesar 3,56 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 21B 6,3 KV.



Gambar 4.75 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13

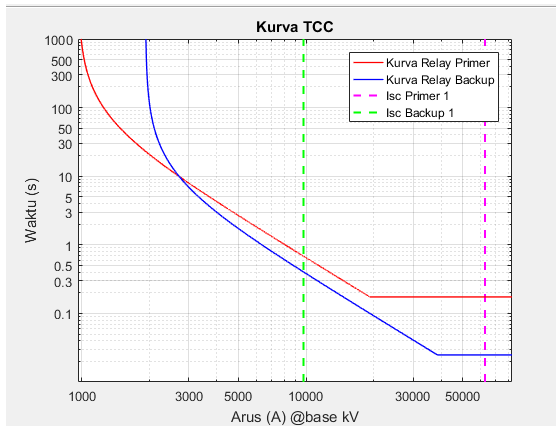
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.76. Pada kurva TCC rele 18 dan rele 13 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 18 sebesar 0,4756 detik dan rele 13 sebesar 0,4814.



Gambar 4.76 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13 Menggunakan ETAP

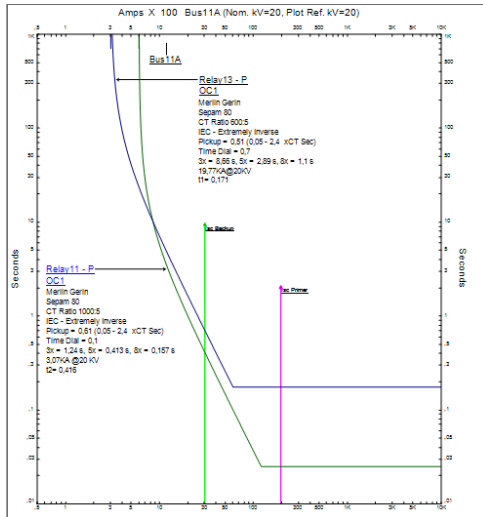
Rele 13 dan Rele 11

Gambar 4.77 menunjukkan kurva TCC rele 13 dan rele 11. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 13, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 11. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 13 sebesar 19,77 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 11 sebesar 3,07 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus TR2 20 KV.



Gambar 4.77 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 11

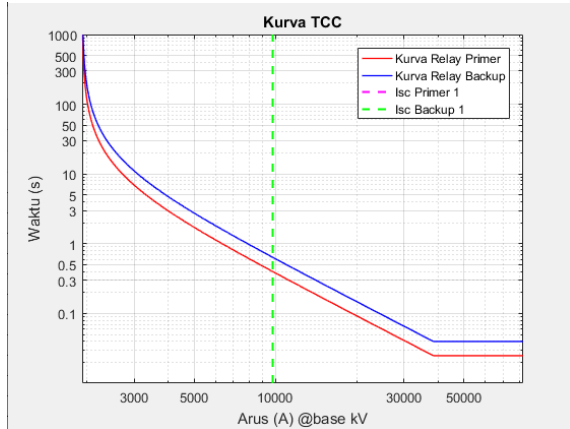
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.78. Pada kurva TCC rele 13 dan rele 11 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 13 sebesar 0,1737 detik dan rele 11 sebesar 0,4018 detik.



Gambar 4.78 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 11 Menggunakan ETAP

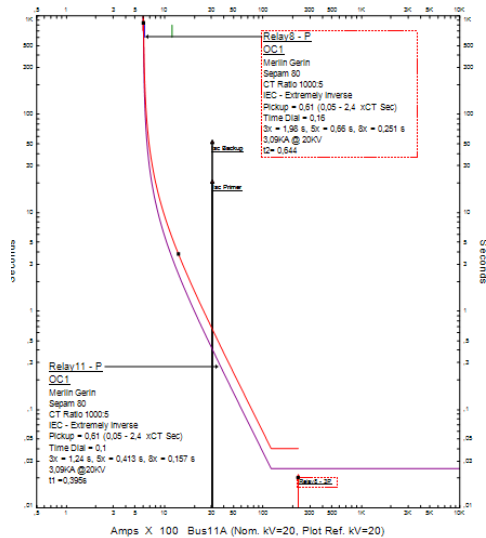
Rele 11 dan Rele 8

Gambar 4.79 menunjukkan kurva TCC rele 11 dan rele 8. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 11, sedangkan kurva berwarna biru merupakan kurva milik rele 8. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 11 sebesar 3,08 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 8 sebesar 3,07 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 11A 20 KV.



Gambar 4.79 Kurva TCC Rele 11 dan Rele 8

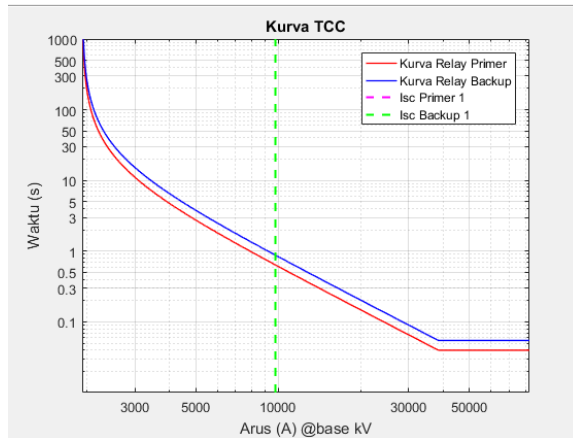
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.80. Pada kurva TCC rele 11 dan rele 8 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 11 sebesar 0,3991 detik dan rele 8 sebesar 0,6385 detik.



Gambar 4.80 Kurva TCC Rele 11 dan Rele 8 Menggunakan ETAP

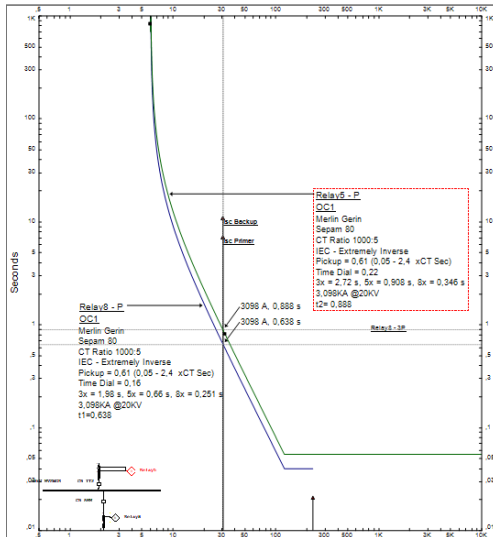
Rele 8 dan Rele 5

Gambar 4.81 menunjukkan kurva TCC rele 8 dan rele 5. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 8, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 5. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 8 sebesar 3,08 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 8 sebesar 3,08 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 11A 20 KV.



Gambar 4.81 Kurva TCC Rele 8 dan Rele 5

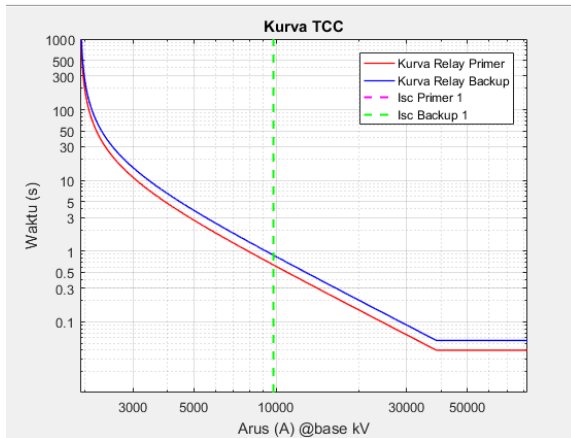
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.82. Pada kurva TCC rele 8 dan rele 5 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti sama menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 8 sebesar 0,6385 detik dan rele 5 sebesar 0,8780 detik.



Gambar 4.82 Kurva TCC Rele 8 dan Rele 5 Menggunakan ETAP

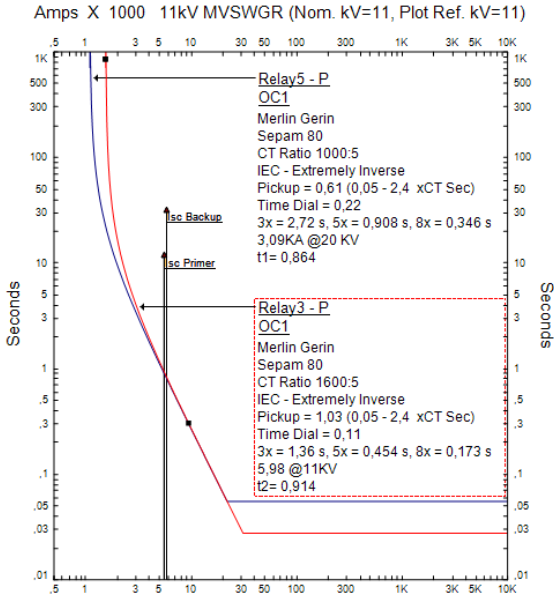
Rele 5 dan Rele 3

Gambar 4.83 menunjukkan kurva TCC rele 5 dan rele 3. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 5, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 3. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 5 sebesar 3,09 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 3 sebesar 5,92 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 20KV MVSGWR.



Gambar 4.83 Kurva TCC Rele 5 dan Rele 3

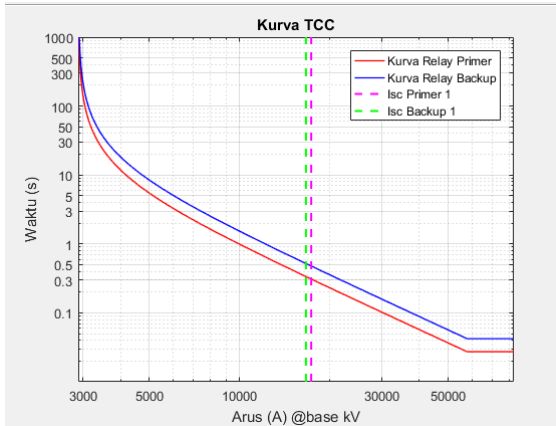
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.84. Pada kurva TCC rele 5 dan rele 3 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 5 sebesar 0,8721 detik dan rele 3 sebesar 0,9218 detik.



Gambar 4.84 Kurva TCC Rele 5 dan Rele 3 Menggunakan ETAP

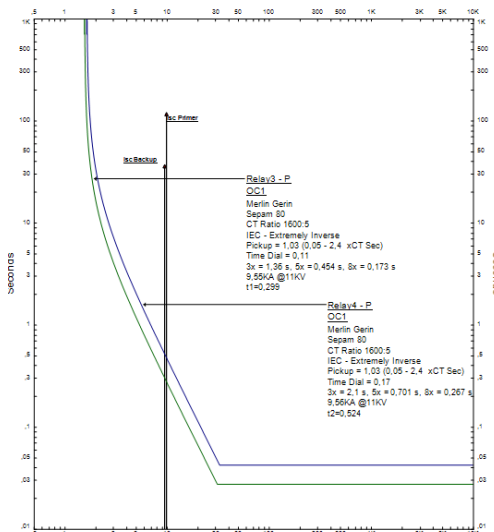
Rele 3 dan Rele 4

Gambar 4.85 menunjukkan kurva TCC rele 3 dan rele 4. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 3, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 4. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 3 sebesar 9,95 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 4 sebesar 9,56 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 11KV MVSWGWR.



Gambar 4.85 Kurva TCC Rele 3 dan Rele 4

Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.86. Pada kurva TCC rele 3 dan rele 4 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 3 sebesar 0,3094 detik dan rele 4 sebesar 0,5192 detik.



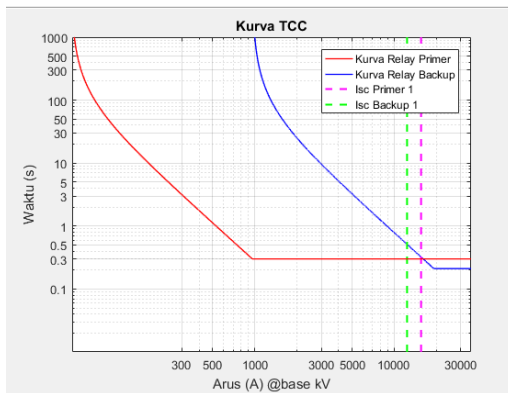
Gambar 4.86 Kurva TCC Rele 3 dan Rele 4

4.4.4 Plot Kurva TCC Tipikal 2

Setelah didapat parameter TDS, kurva TCC bisa dibuat menggunakan *software* MATLAB.

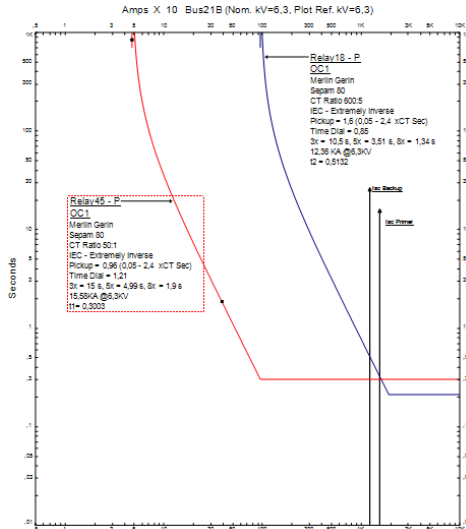
Rele 45 dan Rele 18

Gambar 4.87 menunjukkan kurva TCC rele 45 dan rele 18. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 45, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 18. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 45 sebesar 15,58 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 18 sebesar 10,85 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus TR10.



Gambar 4.87 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18

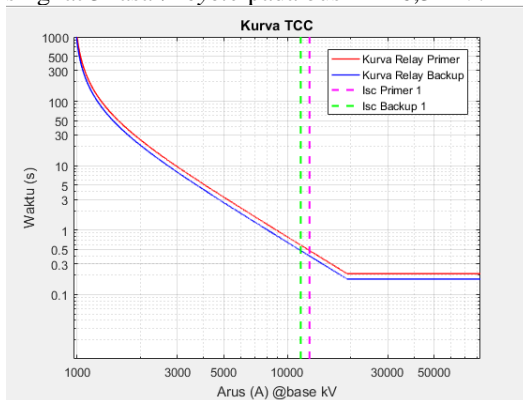
Perhitungan TDS juga diuji dengan *software* ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.88. Pada kurva TCC rele 45 dan rele 18 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 45 sebesar 0,3003 detik dan rele 18 sebesar 0,5132 detik. Waktu operasi dimulai pada sekitar 0,3 detik karena mempertimbangkan waktu kerja LVCB sebesar 0.3 detik di bawah rele dengan level tegangan yang berbeda.



Gambar 4.88 Kurva TCC Rele 45 dan Rele 18 Menggunakan ETAP

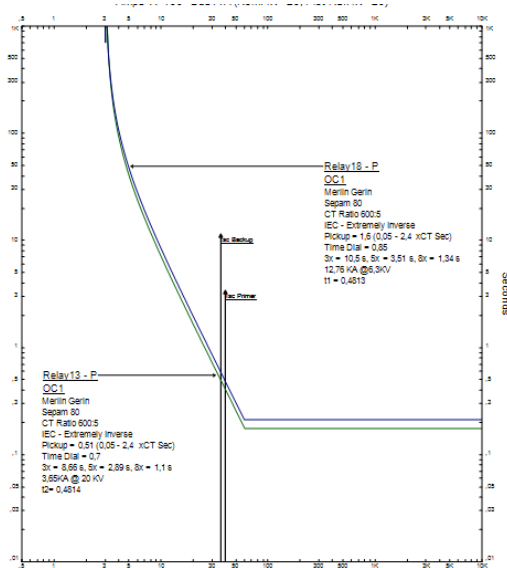
Rele 18 dan Rele 13

Gambar 4.89 menunjukkan kurva TCC rele 18 dan rele 13. Kurva berwarna merah merupakan kurva rele 18, sedangkan kurva berwarna biru merupakan rele 13. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 18 sebesar 12,76 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 13 sebesar 3,56 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 21B 6,3 KV.



Gambar 4.89 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13

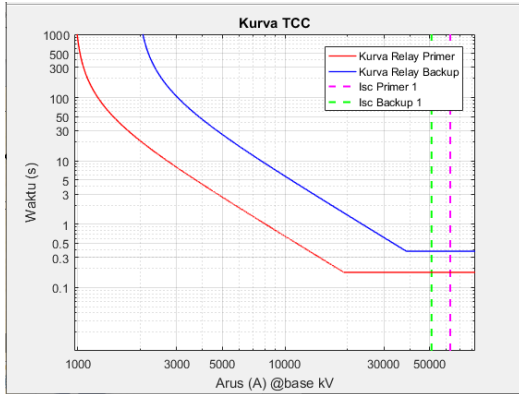
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.90. Pada kurva TCC rele 18 dan rele 13 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 18 sebesar 0,4813 detik dan rele 13 sebesar 0,4814.



Gambar 4.90 Kurva TCC Rele 18 dan Rele 13 Menggunakan ETAP

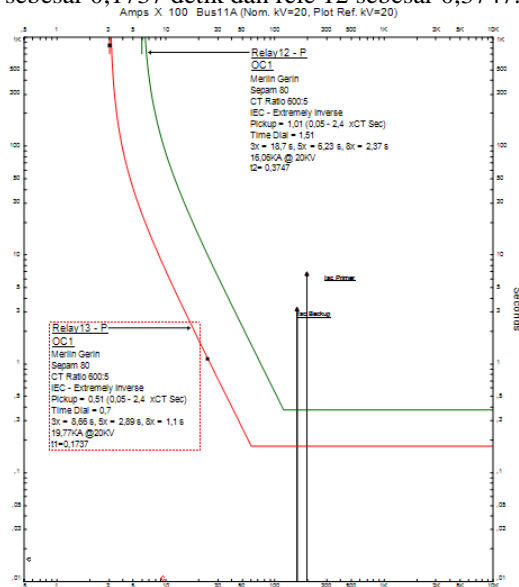
Rele 13 dan Rele 12

Gambar 4.91 menunjukkan kurva TCC rele 13 dan rele 12. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 13, sedangkan kurva berwarna biru milik rele 12. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 13 sebesar 19,77 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele 12 sebesar 16,06 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus TR2 20 KV.



Gambar 4.91 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 12

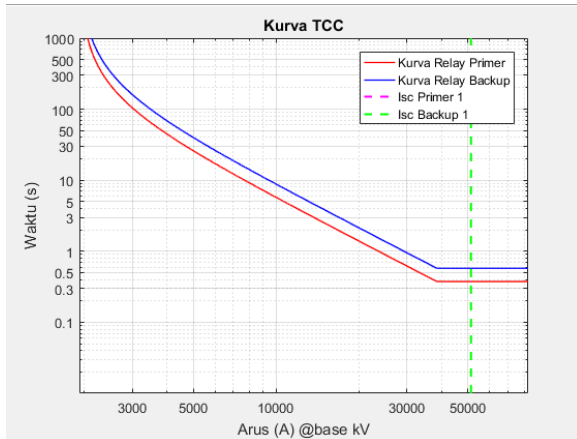
Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.92. Pada kurva TCC rele 13 dan rele 12 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 13 sebesar 0,1737 detik dan rele 12 sebesar 0,3747.



Gambar 4.92 Kurva TCC Rele 13 dan Rele 12 Menggunakan ETAP

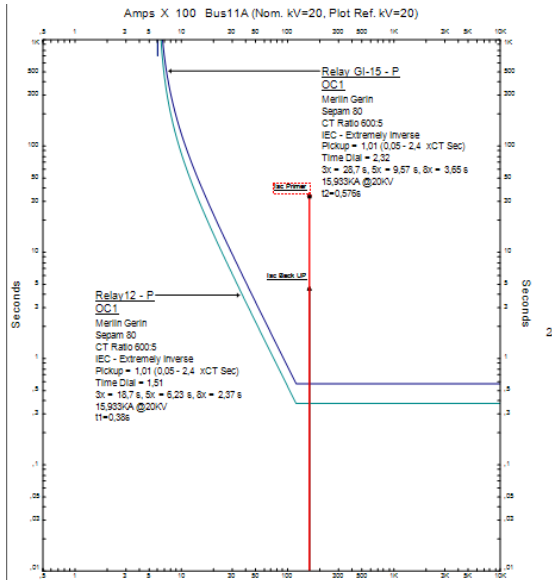
Rele 12 dan Rele GI-15

Gambar 4.93 menunjukkan kurva TCC rele 12 dan rele GI-15. Kurva berwarna merah merupakan kurva milik rele 12, sedangkan kurva berwarna biru milik rele GI-15. Garis berwarna ungu adalah arus yang dirasakan rele 12 sebesar 16,160 KA dan garis berwarna hijau adalah arus yang dirasakan rele GI-15 sebesar 16,16 KA ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 11A 20 KV.



Gambar 4.93 Kurva TCC Rele 12 dan GI-15

Perhitungan TDS juga diuji dengan software ETAP, maka didapat hasil kurva TCC pada gambar 4.94. Pada kurva TCC rele 12 dan rele GI-15 menggunakan ETAP, hasil perhitungan TDS terbukti benar menghasilkan setting rele yang aman dengan waktu operasi rele 12 sebesar 0,3747 detik dan rele GI-15 sebesar 0,5757 detik.



Gambar 4.94 Kurva TCC Rele 12 dan Rele GI-15 Menggunakan ETAP

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis simulasi perhitungan TDS menggunakan algoritma *modified particle swarm optimization* pada *single line diagram* PT Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 dengan pertimbangan tegangan rendah bawah trafo, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. MPSO dapat menentukan TDS rele pada *single line diagram* PT Petrokimia Gresik Pabrik Amurea 2 dengan pertimbangan tegangan rendah bawah trafo
2. Nilai *Objective function* tipikal 1 diperoleh sebesar 3,6904 dan tipikal 2 sebesar 1,9057
3. Hasil TDS dari perhitungan menggunakan MPSO relatif sama dan aman dengan pembuktian oleh *software* ETAP
4. Nilai target CTI relatif sama dengan hasil perhitungan menggunakan MPSO
5. Secara keseluruhan, perhitungan TDS tipikal 1 dan tipikal 2 mulai konvergen pada iterasi ke 21.

5.2 Saran

Setelah menyusun Tugas Akhir ini, penulis menemukan beberapa saran guna pengembangan topik sejenis kedepannya yaitu:

1. Jika diperlukan, rele instan bisa ikut dipertimbangkan.
2. Metode algoritma bisa secara otomatis/memberi rekomendasi jenis kurva *invers time*.
3. Beberapa faktor lain perlu dipertimbangkan seperti *motor starting*, *damage curve*, *inrush current* pada perhitungan TDS

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan 2016," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2017.
- [2] J. L. Blackburn and T. J. Domin, *Protective Relaying Principles and Applications* 3ed, New York: CRC Press, 2006.
- [3] Wahyudi, *Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*, Surabaya: Teknik Elektro ITS, 2004.
- [4] M. A. Jauhari, *Koordinasi Proteksi Arus Lebih Adaptif Pada Sistem Distribusi Ring dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Artificial Neural Network*, Surabaya: Teknik Elektro ITS, 2017.
- [5] J. D. Glover, S. M. Sarma dan T. J. Overbye, *Power System Analysis and Design* 5ed, Stamford: Cengage Learning, 2012.
- [6] X. Zhao, "An Enhanced Particle Swarm Optimization Algorithm with Passive Congregation," in, , .," *International Conference on Machine Vision and Human-machine Interface*, 2010.

BIODATA PENULIS



Iqdamil Jihad, lahir di Sorong, Papua Barat pada tanggal 21 Juni 1995. Penulis merupakan lulusan dari SDN 1 Kramat Nganjuk, SMPN 2 Nganjuk dan SMAN 2 Nganjuk. Penulis melanjutkan studinya di Teknik Elektro ITS dan memilih bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan baik kegiatan akademik maupun non akademik seperti pernah menjadi Staff dan Sekertaris Departemen Pengabdian Masyarakat selama masing-masing 1 tahun, juga pernah sebagai ekskutor dan konseptor di bidang pendidikan

komunitas sosial Gerakan Melukis Harpan selama 1 tahun serta menjadi asisten di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) selama 1 tahun. zihad.al@gmail.com.