

**SIMULASI *SETTING DIRECTIONAL OVERCURRENT RELAY*
(DOCR) MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

IBNU MAULANA SIDDIQ

5115102595

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
JAKARTA**

2015

ABSTRAK

IBNU MAULANA SIDDIQ, **SIMULASI *SETTING DIRECTIONAL OVERCURRENT RELAY (DOCR)* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK**. Skripsi. Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta 2015. Dosen Pembimbing Drs. Daryanto, M. T. dan Massus Subekti, S. Pd., M. T.

Koordinasi *directional overcurrent relay* pada sistem tenaga listrik dengan jaringan *loop* merupakan salah satu hal yang cukup rumit. Hal ini dikarenakan sebuah relay menjadi *primary relay* untuk relay yang lain, tetapi sekaligus menjadi *backup* untuk relay yang lain pula. Untuk itu digunakanlah teknik optimasi untuk menyelesaikan permasalahan ini.

Penelitian ini menggunakan algoritma genetik untuk mendapatkan koordinasi DOCR pada jaringan sistem IEEE 9 bus. Persamaan koordinasi relay disajikan dalam bentuk persamaan linier, dengan nilai *time dial setting* dan arus *pickup* relay sebagai besaran yang dioptimasi. Koordinasi yang optimal dicapai dengan meminimumkan nilai waktu operasi waktu operasi relay dengan tanpa melanggar batasan *coordination time interval* sebesar 0,2 s, antara *primary relay* dan *backup relay*.

Optimasi DOCR menggunakan algoritma genetik menghasilkan rata-rata nilai *function value* sebesar 13,206, dengan rata-rata jumlah generasi sebesar 459,07. Untuk nilai *function value* terkecil senilai 13,1502, sedangkan untuk nilai *function value* terbesar senilai 13,2295. Dan pada simulasi koordinasi DOCR, rata-rata akumulasi waktu operasi yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* sebesar 13,1638 s. Dengan akumulasi waktu operasi tercepat adalah sebesar 13,109 s, sedangkan yang terlambat sebesar 13,187 s. Selain itu juga didapatkan *setting relay* baru yang merupakan gabungan *setting relay* dengan waktu operasi tercepat pada setiap relay, yang menghasilkan akumulasi waktu operasi sebesar 13,039 s.

Koordinasi DOCR berbasis algoritma genetik, mampu memproteksi sistem dengan baik setiap gangguan hubung singkat tiga fasa pada setiap *fault bus* dengan sangat baik tanpa adanya satupun yang mengalami kegagalan atau *miss* koordinasi antara *primary relay* dengan *backup relay*.

Kata kunci: Koordinasi *Directional Overcurrent Relay*, Algoritma Genetik, IEEE 9 Bus.

ABSTRACT

IBNU MAULANA SIDDIQ, **SIMULATION OF DIRECTIONAL OVERCURRENT RELAY (DOCR) SETTING USING GENETIC ALGORITHM**. Thesis. Jakarta : Faculty of Engineering, State University of Jakarta , 2015. Drs. Daryanto, M. T. and Massus Subekti, S. Pd., M. T.

Coordination directional overcurrent relays in the power system with a network loop is one thing that is quite complicated. This is because a relay to be the primary relay to relay the others, but as well as a backup for the other relays as well. It is used for optimization techniques to solve this problem.

This study uses genetic algorithms to get the coordination DOCR on IEEE 9 bus system network. Relay coordination equation is presented in the form of a linear equation, the value of time dial setting and pickup current relay as the magnitude optimized. Optimal coordination is achieved by minimizing the value of operating time with the relay operating time without violating the restrictions coordination time interval of 0.2 s, between the primary and backup relay relay.

DOCR optimization using genetic algorithms produce an average value function value equal to 13.206, with an average number of generations of 459.07. For the function value the smallest value worth 13.1502, while the greatest value to the value function worth 13.2295. And the coordination DOCR simulation, the average accumulated operating time generated by the overall setting of the relay at 13.1638 s. With accumulated operating time is equal to 13.109 s fastest, while late at 13.187 s. It also obtained a new relay setting is a combination of setting relay with the fastest time in each relay operation, which resulted in accumulated operating time of 13.039 s.

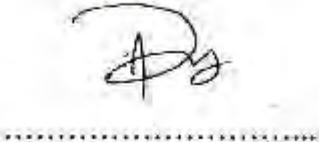
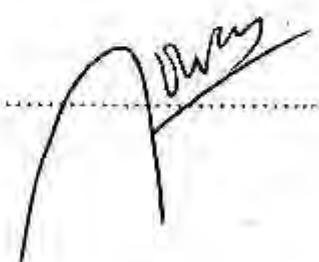
DOCR coordination based on genetic algorithms , is able to protect the system properly every three-phase short circuit fault on any bus very well without experiencing any failure or miss coordination between primary backup relay with relay.

Keywords : *Directional Overcurrent Relay Coordination, Genetic Algorithm, IEEE 9 Bus.*

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Daryanto, M. T. (Dosen Pembimbing 1)		28/12 2015
Massus Subekti, S. Pd., M. T. (Dosen Pembimbing 2)		21/12 2015

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Purwanto Gendroyono, M. T. (Ketua Penguji)		17 12 15
Muhammad Rifan, M. T. (Anggota Penguji)		21-12-2015
Mochammad Djaohar, M. Sc. (Anggota Penguji)		17/12/2015
Tanggal Lulus :		

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi negeri lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini,, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 28 Agustus 2015

Yang membuat pernyataan



Ibnu Maulana Siddiq
5115102595

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbal alamin, segala puji bagi Allah, pada akhirnya tugas akhir berupa skripsi dengan judul **“Simulasi *Setting Directional Overcurrent Relay (DOCR)* Menggunakan Algoritma Genetik”**, ini dapat penulis selesaikan.

Dalam merencanakan, menyusun dan menyelesaikan penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari dosen pembimbing. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Daryanto, M. T. dan bapak Massus Subekti, S. Pd., M. T., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua dan keluarga, yang telah memberikan dukungan, doa serta semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Sahabat-sahabat yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan yang telah kalian berikan

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, namun penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, 28 Agustus 2015

Ibnu Maulana Siddiq

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Perumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Kegunaan Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORITIS DAN KERANGKA BERPIKIR	
2.1. Kajian Teoritis	6
2.1.1. Jenis dan Analisa Gangguan Hubung Singkat	6
2.1.2. <i>Directional Overcurrent Relay (DOCR)</i>	11
2.1.2.1. Prinsip Kerja <i>Directional Overcurrent Relay</i>	12

2.1.2.2.	Karakteristik Proteksi <i>Inverse Time</i>	15
2.1.3.	Penyetelan <i>Directional Overcurrent Relay</i>	17
2.1.3.1.	Penyetelan <i>Pickup Setting</i>	17
2.1.3.2.	Penyetelan <i>Time Dial Setting</i>	19
2.1.4.	Koordinasi Relay Proteksi	20
2.1.4.1.	Konsep Koordinasi Relay	20
2.1.4.2.	<i>Primary Relay</i> dan <i>Backup Relay</i>	21
2.1.5.	Algoritma Genetik.....	24
2.1.5.1.	Pengertian Algoritma Genetik.....	24
2.1.5.2.	Seleksi	27
2.1.5.3.	<i>Crossover</i>	32
2.1.5.4.	Mutasi.....	33
2.1.6.	Pemodelan Sistem	34
2.1.7.	Simulasi Menggunakan ETAP 7.5.....	35
2.1.8.	Optimasi Menggunakan MATLAB r2013a	37
2.2.	Kerangka Berpikir	38

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.1.1.	Tempat Penelitian.....	39
3.1.2.	Waktu Penelitian	39
3.2.	Metode Penelitian.....	39
3.3.	Diagram Alir Penelitian	40
3.4.	Tahapan Penelitian	41
3.4.1.	Studi Literatur	41

3.4.2.	Pemodelan <i>Single Line Diagram</i>	41
3.4.3.	Penentuan Pasangan <i>Primary Relay dan Backup Relay</i>	46
3.4.4.	Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP 7.5	50
3.4.5.	Simulasi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Menggunakan ETAP 7.5.....	51
3.4.6.	Mendapatkan <i>Setting Relay</i> dengan Metode Algoritma Genetik Menggunakan MATLAB r2013a.....	53
3.4.7.	Simulasi Koordinasi DOCR Berbasis Algoritma Genetik Menggunakan ETAP 7.5.....	58

BAB IV PEMBAHASAN

4.1.	Model Sistem IEEE 9 Bus	60
4.2.	Pasangan <i>Primary Relay dan Backup Relay</i>	61
4.3.	Hasil Simulasi Aliran Daya.....	62
4.4.	Hasil Simulasi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	64
4.4.1.	<i>Fault Bus 4</i>	64
4.4.2.	<i>Fault Bus 5</i>	65
4.4.3.	<i>Fault Bus 6</i>	66
4.4.4.	<i>Fault Bus 7</i>	67
4.4.5.	<i>Fault Bus 8</i>	68
4.4.6.	<i>Fault Bus 9</i>	69
4.5.	Hasil Optimasi DOCR dengan Metode Algoritma Genetik.....	72
4.6.	Hasil Simulasi Koordinasi DOCR Berbasis Algoritma Genetik.....	75
4.6.1.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 4	75
4.6.2.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 5	78

4.6.3.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 6	81
4.6.4.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 7	84
4.6.5.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 8	87
4.6.6.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 9	90
4.7.	Analisis Hasil Simulasi Koordinasi DOCR Berbasis Algoritma Genetik.....	93
4.7.1.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 4	93
4.7.2.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 5	100
4.7.3.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 6	107
4.7.4.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 7	115
4.7.5.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 8	122
4.7.6.	<i>Fault Spot</i> pada Bus 9	129
4.7.7.	Waktu Operasi Keseluruhan Relay	136
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	Kesimpulan	141
5.2.	Saran.....	142
DAFTAR PUSTAKA		144
LAMPIRAN.....		147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Rangkaian generator tanpa beban 1 fasa ke tanah	6
Gambar 2.2.	Rangkaian urutan untuk hubung singkat 1 fasa ke tanah.....	7
Gambar 2.3.	Rangkaian generator tanpa beban 2 fasa	7
Gambar 2.4.	Rangkaian urutan untuk hubung singkat 2 fasa	8
Gambar 2.5.	Rangkaian generator tanpa beban 2 fasa ke tanah	8
Gambar 2.6.	Rangkaian urutan untuk hubung singkat 2 fasa ke tanah.....	9
Gambar 2.7.	Rangkaian generator tanpa beban 3 fasa	10
Gambar 2.8.	Rangkaian urutan untuk hubung singkat 3 fasa	10
Gambar 2.9.	Arah arus gangguan pada jaringan dengan dua generator	11
Gambar 2.10.	Prinsip <i>polarizing</i> DOCR	13
Gambar 2.11.	DOCR tipe induksi	14
Gambar 2.12.	Kurva Karakteristik Kerja I.D.M.T, V.I.T dan E.I.T	16
Gambar 2.13.	Koordinasi relay pada jaringan distribusi	21
Gambar 2.14.	Kategori zona proteksi dalam sistem tenaga listrik.....	22
Gambar 2.15.	Koordinasi relay proteksi	23
Gambar 2.16.	Diagram alir algoritma genetik	25
Gambar 2.17.	Roda roulette	28
Gambar 2.18.	Seleksi <i>stochastic uniform</i>	30
Gambar 2.19.	Cara Mempelajari Sistem	35
Gambar 3.1.	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	40
Gambar 3.2.	Single line diagram sistem IEEE 9 bus	42
Gambar 3.3.	Arah relay pada sistem	47

Gambar 3.4.	Relay keseluruhan sistem.....	49
Gambar 4.1.	Pemodelan sistem IEEE 9 bus dalam <i>software</i> ETAP.....	60
Gambar 4.2.	Pasangan <i>primary relay</i> dan <i>backup relay</i> dalam <i>software</i> ETAP	61
Gambar 4.3.	Hasil Simulasi Aliran Daya	62
Gambar 4.4.	Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 4.....	64
Gambar 4.5.	Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 5.....	65
Gambar 4.6.	Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 6.....	66
Gambar 4.7.	Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 7.....	67
Gambar 4.8.	Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 8.....	68
Gambar 4.9.	Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 9.....	69
Gambar 4.10.	<i>Time current curve</i> simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot</i> bus 4 <i>setting relay</i> pengujian 1	75
Gambar 4.11.	<i>Time current curve</i> simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot</i> bus 5 <i>setting relay</i> pengujian 1	78
Gambar 4.12.	<i>Time current curve</i> simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot</i> bus 6 <i>setting relay</i> pengujian 1	81
Gambar 4.13.	<i>Time current curve</i> simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot</i> bus 7 <i>setting relay</i> pengujian 1	84
Gambar 4.14.	<i>Time current curve</i> simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot</i> bus 8 <i>setting relay</i> pengujian 1	87
Gambar 4.15.	<i>Time current curve</i> simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot</i> bus 9 <i>setting relay</i> pengujian 1	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Tabel koefisien <i>inverse</i>	20
Tabel 2.2.	Tabel <i>coordination time interval</i>	23
Tabel 2.3.	Tabel seleksi roda roulette	28
Tabel 2.4.	Tabel seleksi turnamen.....	31
Tabel 2.5.	Contoh <i>crossover</i> 1 titik.....	32
Tabel 2.6.	Contoh <i>crossover</i> 2 titik.....	32
Tabel 2.7.	Contoh <i>scattered crossover</i>	33
Tabel 3.1.	Karakteristik generator pada sistem IEEE 9 bus.....	43
Tabel 3.2.	Data saluran sistem IEEE 9 bus	45
Tabel 3.3.	Data pembangkitan dan pembebanan sistem IEEE 9 bus	46
Tabel 3.4.	Parameter berubah dalam pengujian optimasi DOCR menggunakan algoritma genetik.....	58
Tabel 4.1.	Pasangan <i>primary relay</i> dan <i>backup relay</i>	62
Tabel 4.2.	Arus beban maksimum yang melewati relay	63
Tabel 4.3.	Arus gangguan hubung singkat yang melewati relay	70
Tabel 4.4.	Hasil optimasi DOCR menggunakan algoritma genetik.....	72
Tabel 4.5.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus</i> 4, untuk relay 7 dan relay 8	76
Tabel 4.6.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus</i> 4, untuk relay 9 dan relay 10	77
Tabel 4.7.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus</i> 5, untuk relay 1 dan relay 8	79

Tabel 4.8.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 5</i> , untuk relay 9 dan relay 11	80
Tabel 4.9.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 6</i> , untuk relay 2 dan relay 6	82
Tabel 4.10.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 6</i> , untuk relay 7 dan relay 10	83
Tabel 4.11.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 7</i> , untuk relay 1 dan relay 3	85
Tabel 4.12.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 7</i> , untuk relay 11 dan relay 12	86
Tabel 4.13.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 8</i> , untuk relay 3 dan relay 4	88
Tabel 4.14.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 8</i> , untuk relay 5 dan relay 12	89
Tabel 4.15.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 9</i> , untuk relay 2 dan relay 4	91
Tabel 4.16.	Hasil simulasi koordinasi DOCR pada <i>fault spot bus 9</i> , untuk relay 5 dan relay 6	92
Tabel 4.17.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 7 pada <i>fault spot bus 4</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	93
Tabel 4.18.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 9 pada <i>fault spot bus 4</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	95
Tabel 4.19.	Tabel 4.7 Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 8 pada <i>fault spot bus 4</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	96

Tabel 4.20.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 10 pada <i>fault spot bus 4</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	97
Tabel 4.21.	Selisih waktu operasi (t) antara <i>primary relay</i> dengan <i>backup relay</i> pada <i>fault spot bus 4</i>	99
Tabel 4.22.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 1 pada <i>fault spot bus 5</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	101
Tabel 4.23.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 8 pada <i>fault spot bus 5</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	102
Tabel 4.24.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 9 pada <i>fault spot bus 5</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	104
Tabel 4.25.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 11 pada <i>fault spot bus 5</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	105
Tabel 4.26.	Selisih waktu operasi (t) antara <i>primary relay</i> dengan <i>backup relay</i> pada <i>fault spot bus 5</i>	106
Tabel 4.27.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 2 pada <i>fault spot bus 6</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	108
Tabel 4.28.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 7 pada <i>fault spot bus 6</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	109
Tabel 4.29.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 10 pada <i>fault spot bus 6</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	111
Tabel 4.30.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 6 pada <i>fault spot bus 6</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	112
Tabel 4.31.	Selisih waktu operasi (t) antara <i>primary relay</i> dengan <i>backup relay</i> pada <i>fault spot bus 6</i>	114

Tabel 4.32.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 3 pada <i>fault spot bus 7</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	116
Tabel 4.33.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 1 pada <i>fault spot bus 7</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	117
Tabel 4.34.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 11 pada <i>fault spot bus 7</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	118
Tabel 4.35.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 12 pada <i>fault spot bus 7</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	119
Tabel 4.36.	Selisih waktu operasi (t) antara <i>primary relay</i> dengan <i>backup relay</i> pada <i>fault spot bus 7</i>	121
Tabel 4.37.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 5 pada <i>fault spot bus 8</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	123
Tabel 4.38.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 3 pada <i>fault spot bus 8</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	124
Tabel 4.39.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 12 pada <i>fault spot bus 8</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	125
Tabel 4.40.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 4 pada <i>fault spot bus 8</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	127
Tabel 4.41.	Selisih waktu operasi (t) antara <i>primary relay</i> dengan <i>backup relay</i> pada <i>fault spot bus 8</i>	128
Tabel 4.42.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 4 pada <i>fault spot bus 9</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	130
Tabel 4.43.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 2 pada <i>fault spot bus 9</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	131

Tabel 4.44.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 6 pada <i>fault spot bus 9</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	132
Tabel 4.45.	Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 5 pada <i>fault spot bus 9</i> berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)	134
Tabel 4.46.	Selisih waktu operasi (t) antara <i>primary relay</i> dengan <i>backup relay</i> pada <i>fault spot bus 9</i>	135
Tabel 4.47.	Akumulasi waktu operasi (t) keseluruhan relay hasil simulasi masing-masing <i>setting relay</i>	137
Tabel 4.48.	Rekapitulasi nilai arus <i>pickup</i> dan TDS masing-masing relay dari <i>setting relay</i> yang memiliki waktu operasi tercepat pada masing- masing kasus <i>fault spot</i>	139
Tabel 4.49.	Rekapitulasi waktu operasi (t) hasil simulasi koordinasi DOCR pada setiap <i>fault spot</i> menggunakan <i>setting relay</i> baru	140

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Load Flow Report</i>	148
Lampiran 2	<i>Short Circuit Report Fault Bus 4</i>	149
Lampiran 3	<i>Short Circuit Report Fault Bus 5</i>	150
Lampiran 4	<i>Short Circuit Report Fault Bus 6</i>	151
Lampiran 5	<i>Short Circuit Report Fault Bus 7</i>	152
Lampiran 6	<i>Short Circuit Report Fault Bus 8</i>	153
Lampiran 7	<i>Short Circuit Report Fault Bus 9</i>	154
Lampiran 8	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 1	155
Lampiran 9	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 2	156
Lampiran 10	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 3	157
Lampiran 11	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 4	158
Lampiran 12	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 5	159
Lampiran 13	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 6	160
Lampiran 14	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 7	161
Lampiran 15	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 8	162
Lampiran 16	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 9	163
Lampiran 17	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 10	164
Lampiran 18	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 11	165
Lampiran 19	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 12	166
Lampiran 20	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 13	167
Lampiran 21	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 14	168
Lampiran 22	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 15	169

Lampiran 23	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 16.....	170
Lampiran 24	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 17.....	171
Lampiran 25	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 18.....	172
Lampiran 26	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 19.....	173
Lampiran 27	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 20.....	174
Lampiran 28	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 21.....	175
Lampiran 29	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 22.....	176
Lampiran 30	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 23.....	177
Lampiran 31	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 24.....	178
Lampiran 32	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 25.....	179
Lampiran 33	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 26.....	180
Lampiran 34	Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 27.....	181

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada masa ini listrik merupakan sumber energi yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaannya hampir meliputi segala macam bidang, terutama dalam bidang industri. Tanpa suplai listrik yang memadai, industri besar maupun kecil tentu akan mengalami kesulitan dalam proses produksinya, oleh karena itulah listrik yang tersalurkan pada konsumen harus memiliki kualitas dan kontinuitas yang baik.

Namun pada sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan, baik gangguan yang disebabkan dari alam maupun gangguan yang disebabkan oleh kerusakan suatu peralatan, salah satunya adalah gangguan hubung singkat atau *overcurrent*. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Untuk melakukan proteksi terhadap gangguan hubung singkat pada sistem dengan jaringan berbentuk *loop*, maka diperlukan koordinasi *Directional Overcurrent Relay* (DOCR). DOCR merupakan salah satu jenis relay proteksi yang paling banyak digunakan pada sistem proteksi tenaga listrik.

Koordinasi peralatan proteksi adalah pemilihan selektifitas kinerja relay didalam sebuah sistem proteksi tenaga listrik, dimana relay diharuskan mampu membedakan kinerja operasinya dalam kondisi gangguan tertentu, sehingga relay tersebut mampu mengisolir zona yang terindikasi terganggu

dari zona normal serta meminimalisir dampak dari gangguan tersebut terhadap zona normal.

Masalah yang muncul pada performansi koordinasi DOCR ketika beroperasi pada sistem interkoneksi atau jaringan *loop* yaitu sulitnya untuk mendapatkan koordinasi relay yang optimal tetapi tetap memenuhi fundamental sistem proteksi tenaga listrik. Hal ini dikarenakan terdapat relay yang menjadi *primary relay*, tetapi sekaligus juga menjadi *backup relay*.

Untuk menyelesaikan permasalahan koordinasi DOCR pada sistem interkoneksi atau jaringan *loop*, berbagai metode dan teknik yang telah dilakukan diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu teknik *curve fitting*, teknik teori graf dan teknik optimasi. Algoritma genetik merupakan contoh dari beberapa teknik optimasi yang ada (Hussain, dkk, 2013: 4).

Algoritma genetik adalah teknik optimasi yang terinspirasi dari proses evolusi. Algoritma genetik memanfaatkan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses evolusi dalam prosesnya untuk mencari sebuah solusi. Pada algoritma genetika, untuk mencari solusi optimal maka individu akan mengalami evolusi dari generasi ke generasi dengan terjadinya variasi genetika dan seleksi alam.

Dengan latar belakang tersebut, pada penelitian ini akan menggunakan metode algoritma genetik untuk mendapatkan *setting* relay yang optimal dan waktu operasi keseluruhan relay yang minimum dan juga kinerja koordinasi DOCR berbasis algoritma genetik terhadap gangguan

hubung singkat tiga fasa pada simulasi koordinasi proteksi pada *software* ETAP 7.5.

Pada penelitian ini nilai *setting* relay yang akan dicari adalah nilai *time dial setting* dan arus *pickup* relay, sehingga diharapkan akan didapat nilai yang optimal, yang sesuai dengan *coordination time interval* antara *primary relay* dan *backup relay*, dengan waktu operasi keseluruhan relay yang minimum.

1.2. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana mendapatkan koordinasi DOCR yang memenuhi *coordination time interval* antara *primary relay* dan *backup relay* dan waktu operasi keseluruhan relay yang minimum dengan menggunakan metode algoritma genetik?
2. Bagaimana kinerja koordinasi DOCR berbasis algoritma genetik terhadap gangguan hubung singkat tiga fasa pada simulasi koordinasi proteksi pada *software* ETAP 7.5?

1.3. Pembatasan Masalah

Agar masalah yang dibahas menjadi jelas dan tidak banyak menyimpang dari topik yang akan dibahas, maka dalam penulisan penelitian ini pembahasan memiliki batasan-batasan antara lain :

1. Penelitian ini menggunakan sistem IEEE 9 bus sebagai obyek penelitian.
2. Menggunakan *software* ETAP 7.5 untuk melakukan simulasi dan analisis dan *Global Optimization Toolbox* yang terdapat pada *software* MATLAB R2013a untuk melakukan optimasi.
3. Gangguan yang disimulasikan berupa gangguan hubung singkat 3 fasa.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah : Bagaimanakah kinerja koordinasi DOCR berbasis algoritma genetik terhadap gangguan hubung singkat tiga fasa pada simulasi koordinasi proteksi pada *software* ETAP 7.5.

1.5. Tujuan Penelitian

Sejalan dengan masalah yang ada, maka tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan koordinasi DOCR yang memenuhi *coordination time interval* antara *primary relay* dan *backup relay* dan waktu operasi keseluruhan relay yang minimum dengan menggunakan metode algoritma genetik.
2. Mengetahui kinerja koordinasi DOCR berbasis algoritma genetik terhadap gangguan hubung singkat tiga fasa pada simulasi koordinasi proteksi pada *software* ETAP 7.5.

1.6. Kegunaan Penelitian

1. Untuk dunia keilmuan, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penggunaan metode algoritma genetik dalam melakukan optimasi terhadap permasalahan dalam sistem tenaga listrik.
2. Untuk dunia industri, penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi dalam melakukan perencanaan pemasangan DOCR pada sistem interkoneksi atau jaringan *loop* dalam dunia industri.

BAB II

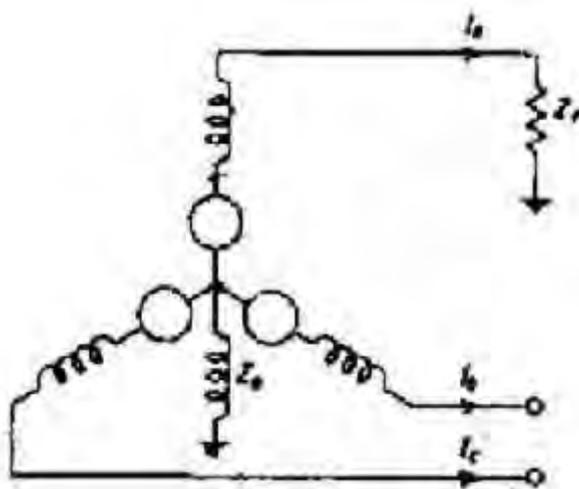
KAJIAN TEORITIS DAN KERANGKA BERPIKIR

2.1. Kajian Teoritis

2.1.1. Jenis dan Analisa Gangguan Hubung Singkat

Analisa gangguan dilakukan dengan memperhitungkan gangguan melalui impedansi gangguan (Z_f). Dengan meninjau suatu generator dengan semua terminalnya terbuka dan netralnya ditanahkan, maka akan didapatkan rangkaian urutan pada masing-masing gangguan. Khusus untuk gangguan hubung singkat 1 fasa dan 2 fasa ke tanah, dengan adanya Z_f pada netral generator yang ditanahkan, maka ditambahkan $3Z_f$ pada rangkaian urutan nolnya. Jenis gangguan hubung singkat yang penting untuk diketahui adalah¹ :

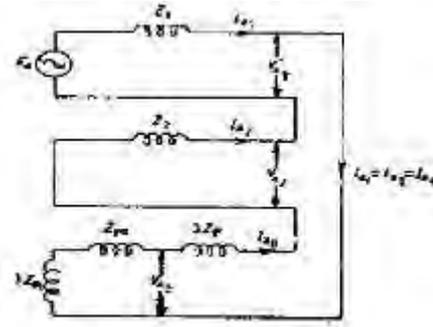
1. Hubung singkat 1 fasa ke tanah (L – G)



Gambar 2.1. Rangkaian generator tanpa beban 1 fasa ke tanah
Sumber : Wadhwa : 2009

¹ C. L. Wadhwa, *Electrical Power Systems*, (United States Of America : 2009), Hal 308.

Gambar 2.1. merupakan rangkaian generator tanpa beban dengan netral ditanahkan melalui impedansi Z_n dan gangguan terjadi pada fasa A ke tanah melalui impedansi Z_f .



Gambar 2.2. Rangkaian urutan untuk hubung singkat 1 fasa ke tanah

Sumber : Wadhwa : 2009

Gambar 2.2. diperoleh :

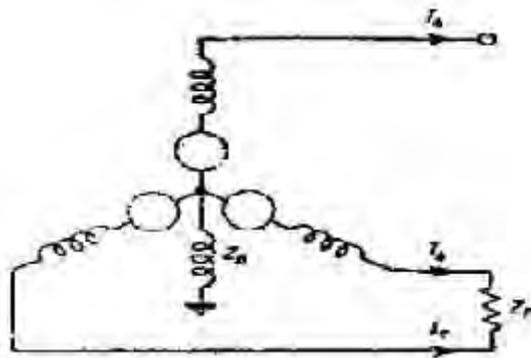
$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{1}{3} I_a = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n + 3Z_f}$$

$$V_{a1} = E_a - I_{a1} Z_1$$

$$V_{a2} = -I_{a2} Z_2$$

$$V_{a0} = -I_{a0} Z_{g0} + 3Z_n$$

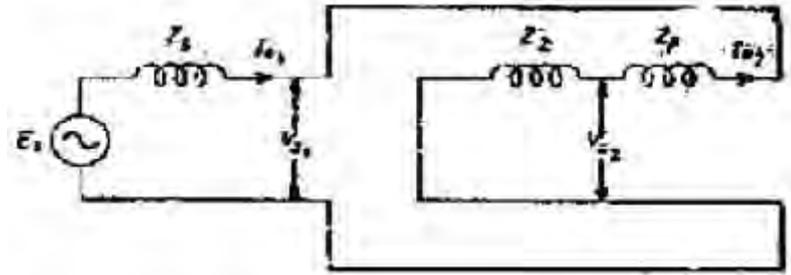
2. Hubung singkat fasa ke fasa (L – L)



Gambar 2.3. Rangkaian generator tanpa beban 2 fasa

Sumber : Wadhwa : 2009

Gambar 2.3. merupakan rangkaian generator tanpa beban dengan netral ditanahkan melalui impedansi Z_n dan gangguan terjadi antara fasa A dan fasa B melalui impedansi Z_f .



Sumber : Wadhwa : 2009

Gambar 2.4. Rangkaian urutan untuk hubung singkat 2 fasa

Dari gambar 2.4. diperoleh :

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

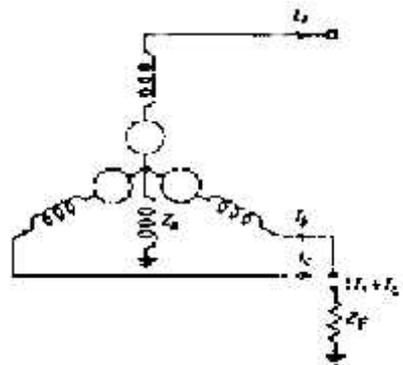
$$I_{a0} = 0$$

$$V_{a1} = E_a - I_{a1}Z_1$$

$$V_{a2} = -I_{a2}Z_2$$

$$V_{a0} = 0$$

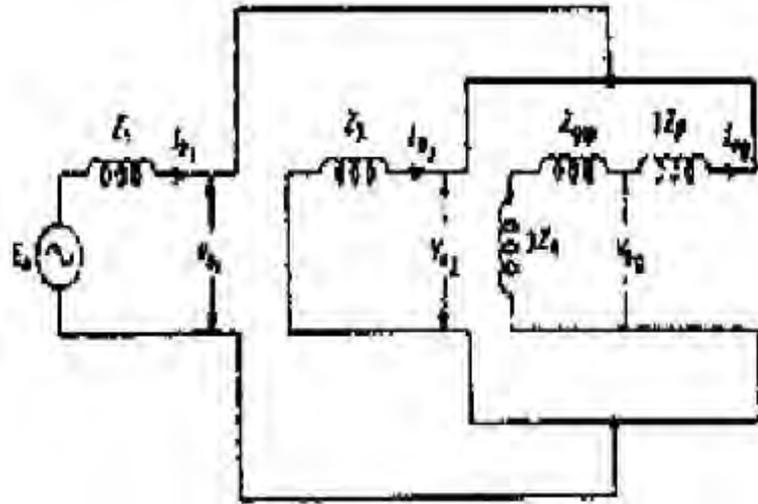
3. Hubung singkat fasa ke fasa ke tanah (L – L – G)



Gambar 2.5. Rangkaian generator tanpa beban 2 fasa ke tanah

Sumber : Wadhwa : 2009

Gambar 2.5. merupakan rangkaian generator tanpa beban dengan netral ditanahkan melalui impedansi Z_n dan gangguan terjadi antar fasa A dan fasa B ke tanah melalui impedansi Z_f .



Gambar 2.6. Rangkaian urutan untuk hubung singkat 2 fasa ke tanah

Sumber : Wadhwa : 2009

Dari gambar 2.6. diperoleh :

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_n + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_n + 3Z_f}}$$

$$I_{a2} = - \frac{E_a - I_{a1}Z_1}{Z_2}$$

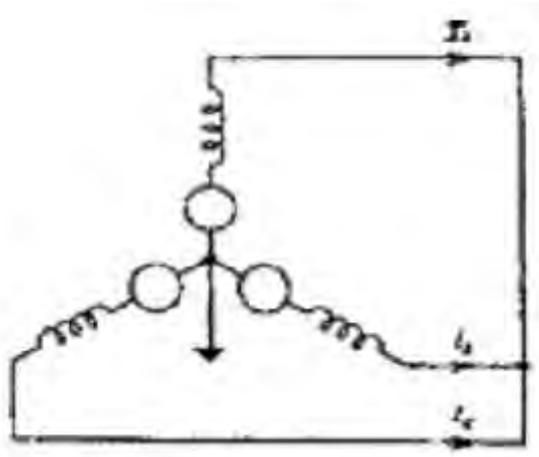
$$I_{a0} = - \frac{E_a - I_{a1}Z_1}{Z_0 + 3Z_n + 3Z_f}$$

$$V_{a1} = E_a - I_{a1}Z_1$$

$$V_{a2} = - I_{a2}Z_2$$

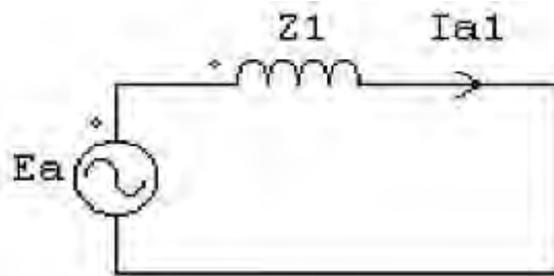
$$V_{a0} = - I_{a0}Z_0 + 3Z_n$$

4. Hubung singkat tiga fasa



Gambar 2.7. Rangkaian generator tanpa beban 3 fasa
Sumber : Wadhwa : 2009

Gambar 2.7. merupakan rangkaian generator tanpa beban dengan netral yang ditanahkan langsung dan terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa.



Sumber : Wadhwa : 2009
Gambar 2.8. Rangkaian urutan untuk hubung singkat 3 fasa

Dari gambar 2.8. diperoleh :

$$I_{a1} = - \frac{E_a}{Z_1}$$

$$I_{a2} = 0$$

$$I_{a0} = 0$$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} = 0$$

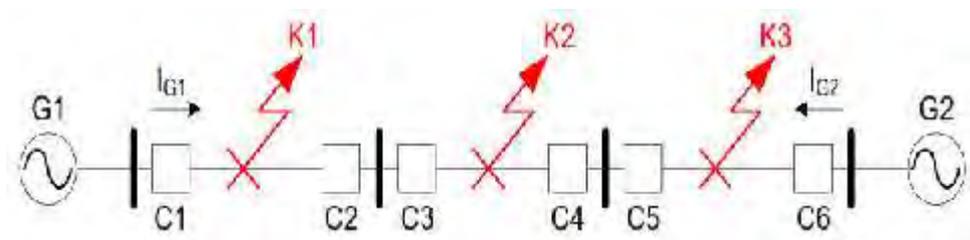
2.1.2. Directional Overcurrent Relay (DOCR)

Relay proteksi adalah salah satu fitur dari beberapa fitur desain sistem tenaga yang difokuskan untuk meminimalisir kerusakan pada peralatan dan gangguan pelayanan ketika gangguan kelistrikan terjadi. IEEE mendefinisikan relay proteksi sebagai relay yang berfungsi mendeteksi kondisi jaringan atau peralatan atau sistem tenaga yang terganggu atau berbahaya yang kemudian bertindak mengatur tindakan yang tepat pada sirkuit tersebut (IEEE 100 : 1996).

Directional overcurrent relay (DOCR) merupakan suatu relay arus lebih yang memiliki fungsi tambahan untuk membedakan arah ganggguan. Fungsi untuk mendeteksi arah gangguan ini sangat penting terutama untuk sistem proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi seperti berikut :

1. Saluran dengan sumber dari kedua ujungnya.
2. Saluran paralel.
3. Saluran *ring* atau cincin atau *loop*.

Ketika terjadi gangguan pada saluran-saluran tersebut di atas, maka arus gangguan akan mengalir menuju titik gangguan dari dua arah. Contoh penggunaan DOCR dapat dilihat pada gambar 2.9. :



Gambar 2.9. Arah arus gangguan pada jaringan dengan dua generator
Sumber : Davies : 1984

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa apabila terjadi gangguan pada K1 maka arus I_{G1} dan I_{G2} akan mengalir dari generator G1 dan G2. Akibatnya C1 dan C2 akan terbuka. Untuk menjaga supaya C3 jangan ikut terbuka, maka pengesetan waktu C3 harus lebih besar dari C2 atau dapat dituliskan $t_{C3} > t_{C2}$. Kondisi ini akan terjadi sebaliknya yaitu apabila terjadi gangguan pada K2 maka C3 dan C4 akan terbuka dan untuk menjaga supaya C2 tidak ikut terbuka maka $t_{C2} > t_{C3}$, begitu seterusnya untuk gangguan pada K3. Terlihat bahwa langkah ini tidak efisien karena diperlukan banyak pengesetan waktu terhadap peralatan tersebut.

Suatu langkah efisiensi dapat ditunjukkan dengan menggunakan DOCR, yaitu apabila gangguan terjadi pada K1, maka hanya C1 dan C2 yang terbuka dan seterusnya. DOCR ini bekerja tidak hanya berdasarkan besarnya arus gangguan saja tetapi juga arah dari arus gangguannya, di mana arah ini ditentukan oleh besarnya sudut fasa antara arus gangguan dan tegangan busbarnya.

2.1.2.1. Prinsip Kerja *Directional Overcurrent Relay*

DOCR adalah relay arus lebih yang memiliki fungsi tambahan mendeteksi arah gangguan. Semua fungsi yang ada pada relay arus lebih terdapat juga pada DOCR dengan tambahan fungsi setting arah. DOCR dalam ANSI/IEEE Standard dinamakan juga dengan elemen 67.

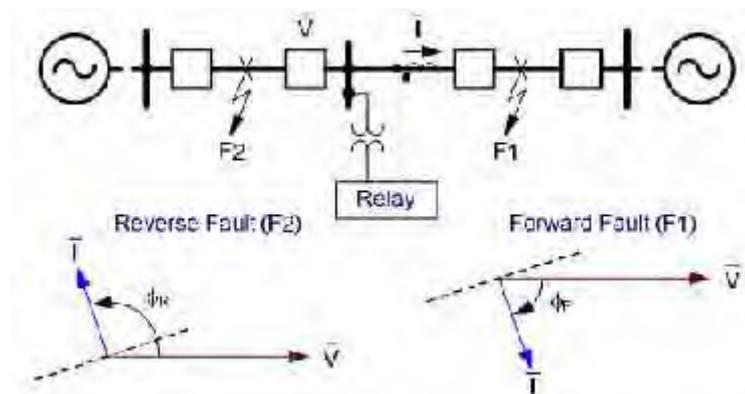
Relay arus lebih merupakan suatu relay proteksi yang bekerja jika arus yang melewati relay melebihi arus settingnya. Relay arus lebih berfungsi untuk mengamankan suatu elemen atau peralatan dari arus

gangguan yang sangat besar. Arus gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan peralatan akibat panas yang ditimbulkan oleh arus lebih. Selain itu, arus lebih juga dapat menyebabkan kerusakan elektromagnetis pada mesin-mesin listrik. Oleh karena itulah, maka arus gangguan berlebih ini harus segera diputus untuk mengamankan sistem.

DOCR akan bekerja jika kondisi berikut terpenuhi :

1. Arus yang lewat lebih besar dari arus setting (*pickup*).
2. Arah gangguan sesuai atau searah dengan arah pada setting relay.

Kedua kondisi di atas harus terpenuhi keduanya, tidak dapat berdiri sendiri. Misalnya jika arus yang melewati relay lebih besar dari arus setting, namun arah gangguan berlawanan dengan arah setting relay, maka relay tidak akan bekerja. Hal sebaliknya juga begitu, jika arah setting relay searah dengan arus gangguan, namun arus yang melewati relay masih di bawah setting arus, maka relay tidak akan bekerja. Secara garis besar, DOCR bekerja dengan prinsip seperti pada gambar 2.10. :

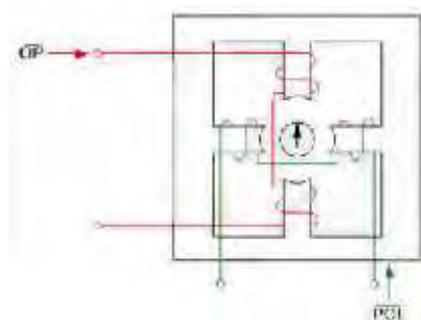


Gambar 2.10. Prinsip *polarizing* DOCR
Sumber : Zimmerman & Costello : 2010

Elemen arah didesain untuk memberikan respon terhadap sudut fasa antara kuantitas *polarizing* (fasa referensi) dan kuantitas operasi (fasa operasi). Pada gambar 2.12 fasa tegangan gangguan V adalah kuantitas *polarizing*, sedangkan fasa arus gangguan I adalah kuantitas operasi. Karena saluran merupakan komponen induktif, maka saat terjadi gangguan di F1 maka arus gangguan I akan tertinggal (lag) dari tegangan gangguan V sebesar ϕ . Jika gangguan terjadi di F2, maka arus gangguan I akan mendahului tegangan sebesar ϕ . Kuantitas *polarizing* ini bisa juga disebut dengan kuantitas referensi, yang nilai referensi ini haruslah suatu nilai yang stabil dan andal, tidak peduli di mana pun gangguan terjadi.

Mekanisme kerja DOCR tersebut seperti wattmeter, yang tergantung pada tegangan, arus dan sudut phase dari keduanya. Relay ini akan bekerja apabila torsi yang dibangkitkan adalah positif, dan sebaliknya relay tidak bekerja kalau torsinya negatif.

Jadi secara umum dapat dikatakan, DOCR akan bekerja untuk gangguan yang berada di depannya dan tidak bekerja untuk daerah gangguan di belakangnya. Secara skematik DOCR tipe induksi dapat dilihat pada gambar 2.11. :



Gambar 2.11. DOCR tipe induksi
Sumber : Zimmerman & Costello : 2010

Pada pusat relay terdapat inti magnetik yang bisa berputar dengan sebuah kontak dan pegas yang berfungsi untuk reset. Relay dirancang untuk tidak memiliki gerakan berputar atau tidak ada torsi yang terjadi saat fluks magnet dari kedua kumparan sefasa. Sehingga relay baru akan bekerja jika terjadi perbedaan fasa antara kuantitas referensi dan kuantitas operasi.

Elemen arah pada relay membutuhkan kuantitas referensi yang mendekati konstan terhadap arus yang melewati peralatan yang diproteksi. Untuk tujuan praktis, kebanyakan fasa tegangan sistem tidak berubah secara signifikan selama terjadi gangguan.

2.1.2.2. Karakteristik Proteksi *Inverse Time*

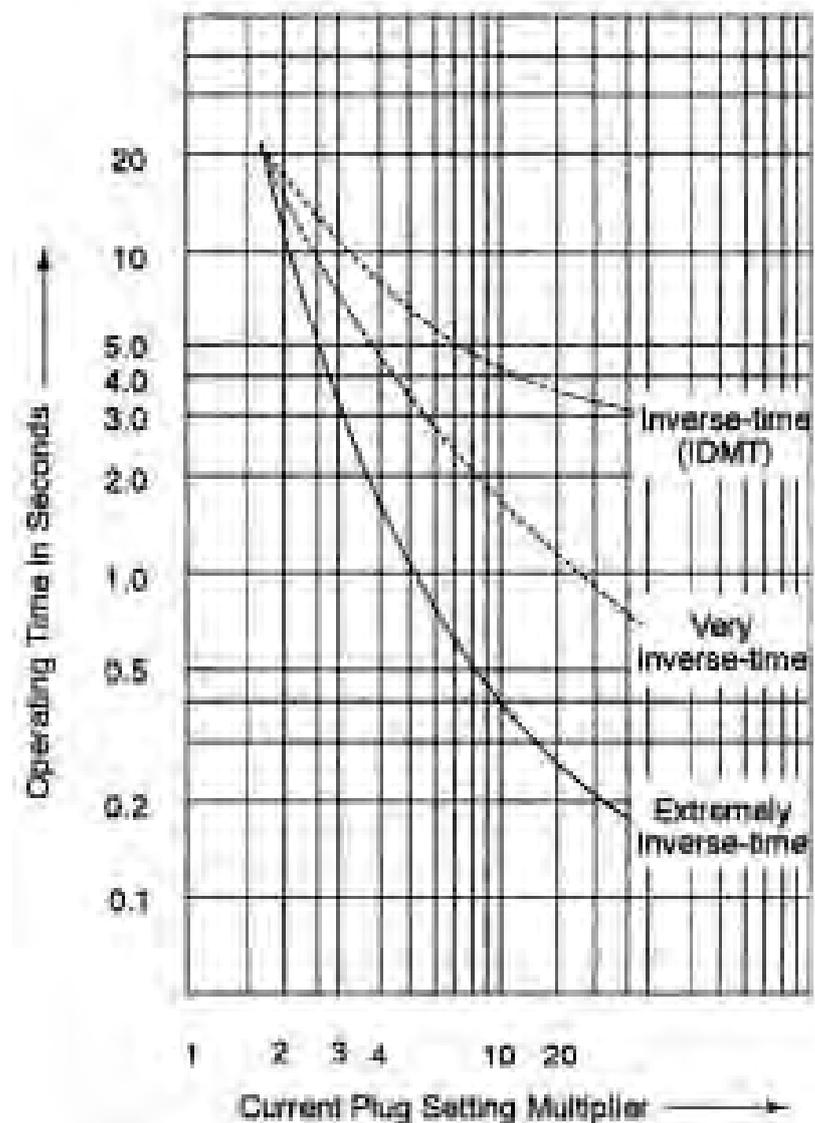
Karakteristik relay arus lebih dapat dibagi atas :

1. Relay sesaat (*instantaneous relay*).
2. Relay definite (*definite time relay*).
3. Relay inverse (*inverse time relay*).
4. Relay IDMT (*Inverse Definite Minimum Time Relay*).

Kinerja relay arus lebih biasanya dihubungkan dengan waktu tunda (*time delay*). Hubungan antara arus kerja relay dengan waktu tunda membentuk sebuah karakteristik kerja relay yang biasa disebut *time-current curve* (TCC). Salah satunya karakteristik proteksi *overcurrent relay* adalah relay arus lebih dengan waktu berbanding terbalik (*inverse time overcurrent relay*)².

² Juan M. Gers, Edward J. Holmes, *Protection of Electricity Distribution Network*, (United Kingdom : 2004), Hal 30.

Relay jenis ini bekerja dalam sebuah waktu yang secara proporsional berbanding terbalik dengan arus gangguannya, dengan kata lain, semakin besar arus gangguan yang terdeteksi oleh CTs waktu tunda dari relay jenis ini akan semakin cepat. Sebaliknya, ketika besar arus gangguan yang terdeteksi oleh CTs kecil maka waktu tunda kerja relay tersebut akan semakin lama.



Gambar 2.12. Kurva karakteristik kerja I.D.M.T, *very inverse-time* dan *extremely inverse-time*
 Sumber : Ram & Vishwakarma : 2007

Secara umum relay arus lebih dengan waktu berbanding terbalik (*Inverse Time Overcurrent Relay*) diklasifikasikan berdasarkan kurva karakteristik kerja relay tersebut, yang mana mengindikasikan kecepatan kerjanya. Berdasarkan hal tersebut maka relay jenis ini terbagi menjadi tiga golongan, yaitu, relay arus lebih dengan waktu berbanding terbalik-waktu tertentu (*inverse definite minimum -time overcurrent relay*), relay arus lebih dengan waktu sangat berbanding terbalik (*very inverse-time overcurrent relay*) dan relay arus lebih dengan waktu sangat berbanding terbalik sekali (*extremely inverse-time overcurrent relay*).

2.1.3. Penyetelan *Directional Overcurrent Relay*

Pada dasarnya penyetelan waktu kerja dari sebuah DOCR adalah ketika terjadi sebuah gangguan pada sistem tenaga listrik maka relay tersebut harus dapat dipastikan tertunda waktu kerjanya, sampai suatu proteksi yang terdekat dari gangguan tersebut bekerja terlebih dahulu.

Penyetelan DOCR harus memperhitungkan parameter-parameter yang akan digunakan untuk menentukan karakteristik arus/waktu dari elemen *time delay* tersebut. *Inverse time relay* dapat disetel dengan dua parameter, yaitu *pickup setting* dan *time dial setting* (TDS).

2.1.3.1. Penyetelan *Pickup Setting*

Pickup setting adalah arus *pickup* relay. Arus *pickup* relay digunakan sebagai batas untuk menentukan pendeteksian arus gangguan.

Pada dasarnya tujuan *setting* batas bawah DOCR adalah relay tidak boleh bekerja atau trip pada saat beban maksimum sedang terjadi atau semua motor yang berada di daerah operasinya sedang bekerja.

Karena DOCR tersebut dialiri oleh arus fasa, maka arus *setting* (I_p) harus lebih besar dari arus beban maksimum jaringan (I_{nominal}), dengan memperhatikan hal tersebut maka arus *setting* dan *pick-up setting*nya dapat dilihat sebagai berikut :

$$I_p = \text{OLF} \cdot I_{\text{nominal}}$$

$$\text{pickup setting} = \frac{I_p}{\text{CTR}}$$

Dimana I_p = arus *pickup* relay

OLF = *overload factor*

I_{nominal} = arus beban maksimum

CTR = rasio transformator arus

OLF adalah faktor overload yang nilainya tergantung pada peralatan (*apparatus*) yang akan diproteksinya dan CTR adalah CTs ratio.

Menurut *british standard* yang terdapat pada BS 142 : 1983, faktor *overload* (OLF) yang direkomendasikan untuk motor adalah sebesar 1,05. Untuk jaringan, transformator dan generator umumnya dengan rating 1,25 – 1,5.

Sedangkan untuk *setting* batas atas adalah relay tersebut diharapkan bekerja apabila mendeteksi adanya sebuah arus gangguan terutama gangguan hubung singkat.

2.1.3.2. Penyetelan *Time Dial Setting*

Time dial setting atau *Time multiplier setting* didefinisikan sebagai pemilihan waktu tunda sebelum relay bekerja. Dengan kata lain, seberapa pun besar arus gangguan yang terdeteksi oleh relay, entah itu bernilai sama atau lebih besar dari *pickup setting* relay maka relay akan mengirim sinyal trip ke *circuit breaker* ketika waktu tunda dari relay tersebut telah tercapai. Semakin kecil waktu tunda yang diberikan, maka waktu kerja (t) relay tersebut akan semakin cepat.

Untuk menentukan waktu operasi (t) dari sebuah DOCR dapat digunakan persamaan matematis yang mendefinisikan kurva karakteristik kerja dari relay *inverse*. BS 142 *standard* dan IEC 60225-3 mendefinisikan secara matematis waktu operasi dari sebuah relay *inverse* dengan persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{k_1}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{k_2} - 1} \cdot TDS$$

Dimana t = waktu operasi relay

k₁ & k₂ = konstanta lekukan kurva

I = arus gangguan

I_p = arus *pickup* relay

Rumusan t adalah waktu operasi dari sebuah relay dalam satuan sekon, TDS adalah *time dial setting*, I adalah nilai arus dalam ampere dan I_p adalah nilai arus *pick-up*.

Nilai konstanta k₁ dan k₂ merupakan nilai yang menentukan lekukan (*slope*) kurva karakteristik kerja relay tersebut. Nilai dan untuk

overcurrent relay dengan standard ANSI/IEEE dan IEC dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tabel koefisien *inverse*

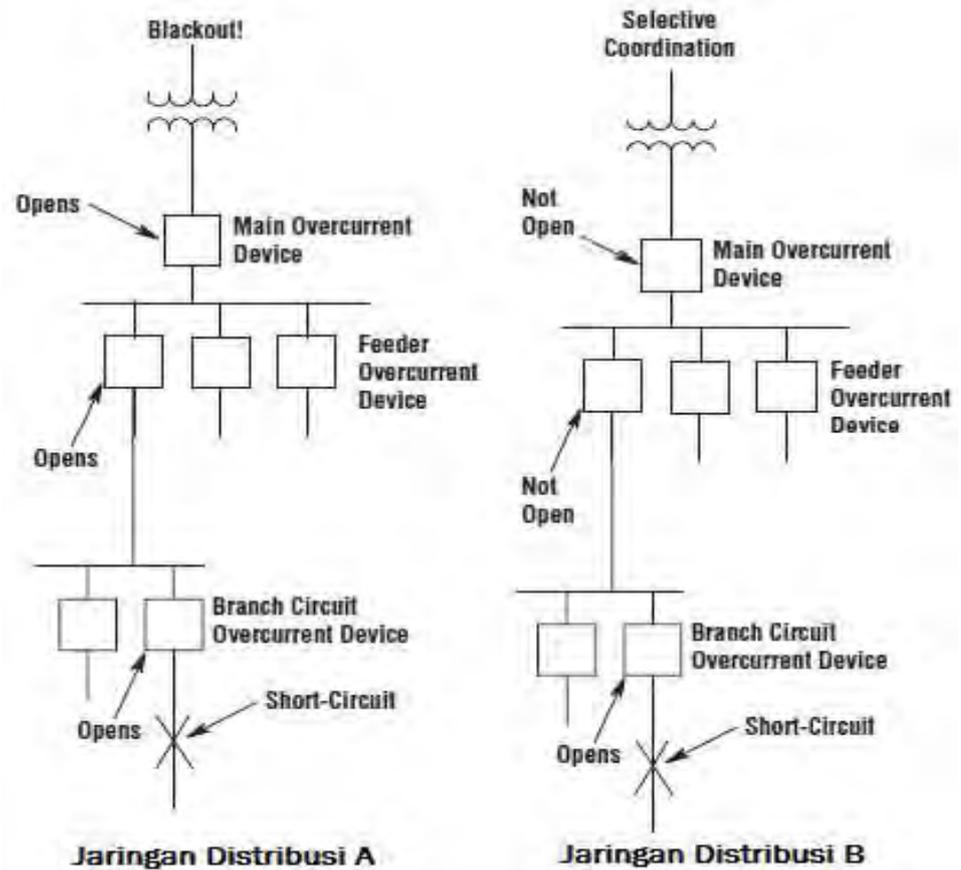
Tipe Kurva	k_1	k_2
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,5	1,00
<i>Extremely Inverse</i>	80	2,00

2.1.4. Koordinasi Relay Proteksi

2.1.4.1. Konsep Koordinasi Relay

Untuk merancang kinerja relay proteksi di dalam sistem tenaga listrik agar tidak trip secara bersamaan (*symphatetic trip*) dan trip ketika tidak terjadi gangguan (*no-nuissance trip*) maka diperlukan suatu koordinasi relay proteksi.

Koordinasi relay proteksi adalah pemilihan selektifitas kinerja relay di dalam sebuah sistem proteksi tenaga listrik, dimana relay diharuskan mampu membedakan kinerja operasinya dalam kondisi gangguan tertentu, sehingga relay tersebut mampu mengisolir zona yang terindikasi terganggu dari zona normal (*healthy zone*) serta meminimalisir dampak dari gangguan tersebut terhadap zona normal.



Gambar 2.13. Koordinasi relay pada jaringan distribusi (yang tidak selektif (A) dan yang selektif (B))

Sumber : Blackburn & Domin : 2007

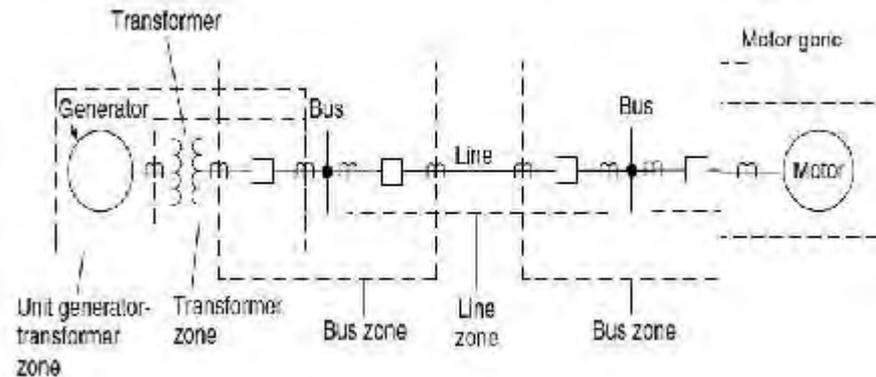
2.1.4.2. Primary Relay dan Backup Relay

Sistem tenaga listrik terbagi menjadi beberapa kategori zona proteksi berdasarkan peralatan (*equipment*) sistem tenaga itu sendiri dan *circuit breaker* yang dirancang untuk melindungi *equipment* tersebut. Terdapat lima kategori zona proteksi yang memungkinkan di dalam sistem tenaga listrik, yaitu :

1. Generator dan Generator-Transformator
2. Transformator
3. Bus

4. Jaringan (transmisi, subtransmisi, distribusi)

5. Peralatan (motor, beban statis, beban, dll)



Gambar 2.14. Kategori zona proteksi dalam sistem tenaga listrik
Sumber : Blackburn & Domin : 2007

Pada gambar 2.13. dapat dilihat bahwa sistem proteksi tiap zona harus dapat memproteksi zona yang selanjutnya (*overlap*) ketika proteksi utamanya (*primary protection*) gagal dalam mengamankan zona yang diproteksinya. Sehingga dapat dikatakan bahwa zona selanjutnya berfungsi sebagai proteksi cadangan (*back up protection*).

Urutan kerja dari *primary relay* dan *backup relay* inilah yang disebut dengan koordinasi proteksi, dimana waktu kerja atau operasi backup relay harus lebih besar dari waktu kerja primary relay ditambah koordinasi CTI. Dalam menentukan margin relay, yang menjadi pertimbangan adalah :

1. Waktu operasi relay.
2. Waktu kecepatan CB terbuka.
3. Safety margin (Error).



Gambar 2.15. Koordinasi relay proteksi
Sumber : Niyomphant, dkk : 2012

Dalam gambar 2.15., bila gangguan terjadi pada F, maka secara matematis dapat ditulis

$$tR_A - tR_B \geq CTI$$

Dimana tR_A = waktu operasi relay R_A

tR_B = waktu operasi relay R_B

CTI = *Coordination Time Interval*

Coordination time interval ini ditentukan :

1. Waktu yang dibutuhkan CB untuk memutuskan daya sepenuhnya.
2. Error yang disebabkan oleh trafo arus (CT) dan relay.
3. Overshoot dari relay.

Menurut standar dari IEEE, yang terdapat pada IEEE Std-242 tahun 2001. Berikut merupakan standar dari nilai *coordination time interval*.

Tabel 2.2. Tabel *coordination time interval*

Jenis Relay	CB Time (s)	Overshoot Time (s)	Error Time (s)	CTI (s)
Mekanik	0.10	0.15	0.15	0.40
Elektronik	0.08	0.02	0.10	0.20

2.1.5. Algoritma Genetik

2.1.5.1. Pengertian Algoritma Genetik

Algoritma ini ditemukan di University of Michigan, Amerika Serikat oleh John Holland melalui sebuah penelitian dan dipopulerkan oleh salah satu muridnya David Goldberg. Tujuannya awalnya adalah untuk membuat komputer dapat melakukan apa yang terdapat di alam. Tahapan algoritma genetika yang dikemukakan oleh Holland dapat direpresentasikan sebagai suatu tahapan berurutan sebagai suatu bentuk populasi dari kromosom buatan menjadi sebuah populasi baru³.

Algoritma genetika adalah suatu algoritma stokastik yang memodelkan proses evolusi dari spesies biologi melalui seleksi alam (Konar, 2005). Secara umum, populasi ini dibangkitkan secara random dan solusi yang adalah dibangkitkan sesudah tahapan konsekutif dari proses *crossover* dan mutasi. Setiap individu dari populasi memiliki nilai yang diasosiasikan ke dalam suatu nilai *fitness*, di dalam kaitannya untuk menyelesaikan suatu permasalahan⁴.

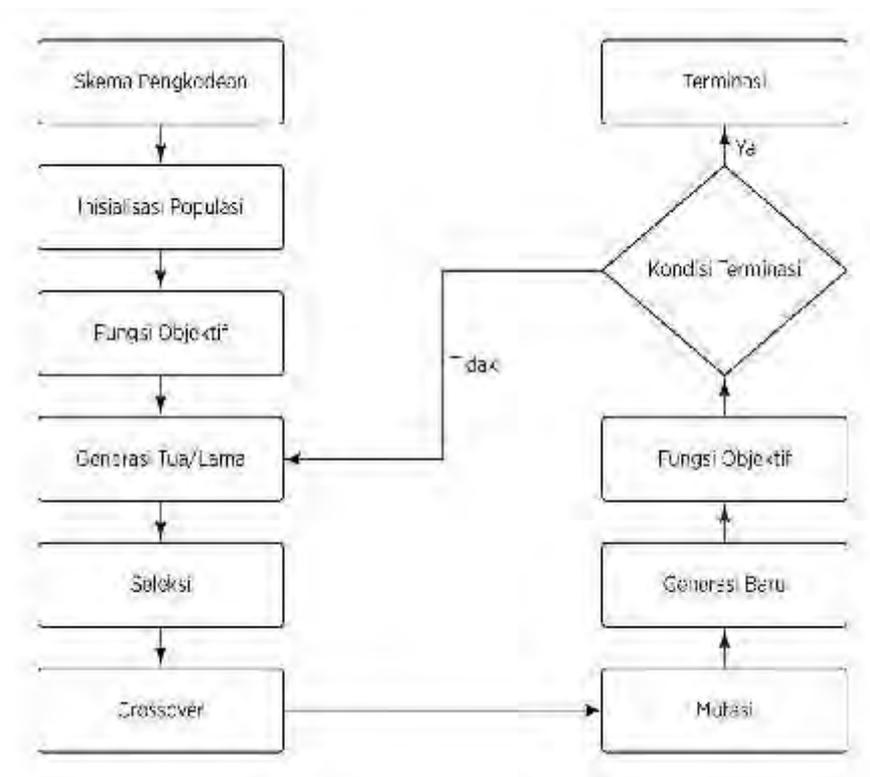
Algoritma genetika yang dikemukakan oleh John Holland menggunakan konsep kromosom yang digunakan untuk menyatakan alternatif solusi dari suatu permasalahan. Tiap kromosom terdiri dari deretan bit *string* yang berupa bit 0 atau 1 yang disebut sebagai gen. Setiap kromosom dapat mengalami pertukaran materi genetik antara kromosom.

³ Michael Negnevitsky, *Artificial Intelligence - A Guide to Intelligent Systems*, (Edinburg : 2005).

⁴ Juan R. Rabunal, Julian Dorado, *Artificial Neural Networks in Real – Life Applications*, (United States of America : 2006).

Sedangkan proses mutasi akan mengganti secara acak nilai gen di beberapa lokasi pada kromosom⁵.

Algoritma genetik memberikan suatu pilihan bagi penentuan nilai parameter dengan meniru cara reproduksi genetik, membentuk kromosom baru serta seleksi alam seperti yang terjadi pada makhluk hidup. Algoritma genetik secara umum dapat diilustrasikan dalam diagram pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Diagram alir algoritma genetik
Sumber : Ongko : 2015

Secara umum struktur dari suatu algoritma genetika dapat didefinisikan dengan langkah-langkah sebagai berikut: (Negnevitsky, 2005)

1. Membangkitkan populasi awal. Populasi awal dibangkitkan secara acak sehingga didapatkan solusi awal. Populasi itu sendiri terdiri

⁵ Mielanie Mitchel, *An Introduction to Genetic Algorithm*, (Massachusetts : 1999).

atas sejumlah kromosom yang merepresentasikan solusi yang diinginkan.

2. Menghitung nilai fungsi objektif. Pada tiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang dinamakan fitness. Nilai *fitness* suatu kromosom menggambarkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Nilai *fitness* ditentukan oleh nilai fungsi objektif. Fungsi objektif tersebut menunjukkan hasil penjumlahan jarak pada tiap kromosom. Semakin tinggi nilai *fitness* akan semakin besar kemungkinan kromosom tersebut terpilih ke generasi berikutnya. Jadi nilai fungsi objektif berbanding terbalik dengan nilai *fitness*, semakin kecil nilai fungsi objektif semakin besar nilai *fitness*-nya.
3. Evaluasi solusi. Proses ini akan mengevaluasi setiap populasi dengan menghitung nilai *fitness* setiap kromosom dan mengevaluasinya sampai terpenuhi kriteria berhenti. Bila kriteria berhenti belum terpenuhi maka akan dilanjutkan dengan proses perkawinan. Beberapa kriteria berhenti sering digunakan antara lain: berhenti pada generasi tertentu, berhenti setelah beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai *fitness* tertinggi tidak berubah, berhenti pada n generasi yang tidak didapatkan nilai *fitness* yang lebih tinggi.
4. Proses *crossover*. Menentukan nilai PC (*probability crossover*) dan kemudian menentukan pasangan kromosom yang akan terlibat

di dalam proses *crossover* berdasarkan nilai PC yang dibangkitkan tersebut dengan menggunakan salah satu metode *crossover*.

5. Proses Mutasi. Menentukan nilai *mutation rate*, dan kemudian berdasarkan nilai bilangan random yang dibangkitkan akan dapat ditentukan gen-gen yang terlibat di dalam proses mutasi tersebut.

2.1.5.2. Seleksi

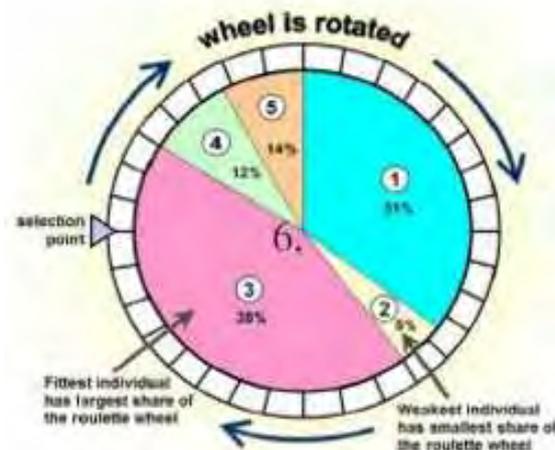
Seleksi bertujuan memberikan kesempatan reproduksi yang lebih besar bagi anggota populasi yang paling fit. Langkah pertama dalam seleksi ini adalah pencarian nilai *fitness*. Masing-masing individu dalam suatu wadah seleksi akan menerima probabilitas reproduksi yang tergantung pada nilai objektif dirinya sendiri terhadap nilai objektif dari semua individu dalam wadah seleksi tersebut. Nilai *fitness* inilah yang nantinya akan digunakan pada tahap seleksi berikutnya⁶.

Terdapat beberapa metode untuk memilih kromosom yang sering digunakan antara lain adalah seleksi roda roulette (*roulette wheel selection*), seleksi *stochastic uniform* dan seleksi turnamen (*tournament selection*).

1. Seleksi roda roulette (*Roulette wheel selection*)

Metode ini diperkenalkan oleh John Holland. Operator ini memilih individu berdasarkan kumulatif probabilitas nilai fitness individu dalam satu populasi. Metode yang digunakan adalah seperti memutar roda roulette atau dikenal juga dengan nama seleksi proporsional.

⁶ Sri Kusumadewi, *Artificial Intelligence : Teknik dan Aplikasinya*, (Yogyakarta : 2003), Hal 79.



Gambar 2.17 Roda roulette
Sumber : <http://www.edc.ncl.ac.uk>

Sesuai dengan namanya, metode ini menirukan permainan *roulette wheel* dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda roulette secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Kromosom yang memiliki nilai *fitness* lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom yang bernilai *fitness* rendah.

Tabel 2.3. Tabel seleksi roda roulette

Individu	<i>Fitness</i>	Total	Jumlah kumulatif	Probabilitas seleksi
1	6.84	31%	6.84	0.31
2	1.10	5%	7.94	0.36
3	8.38	38%	16.32	0.74
4	2.65	12%	18.96	0.86
5	3.09	14%	22.05	1.00
Total	22.05	100%		

Setiap individu mempunyai segmen yang besarnya sesuai dengan *fitness* masing-masing. Semakin baik *fitness* suatu individu maka semakin besar pula segmen yang dimiliki individu tersebut. Roda roulette diputar sebanyak N (jumlah populasi) dan setiap akhir pemutaran dipilih individu pada bagian roda yang ditunjuk oleh jarum penunjuk (*selection point*).

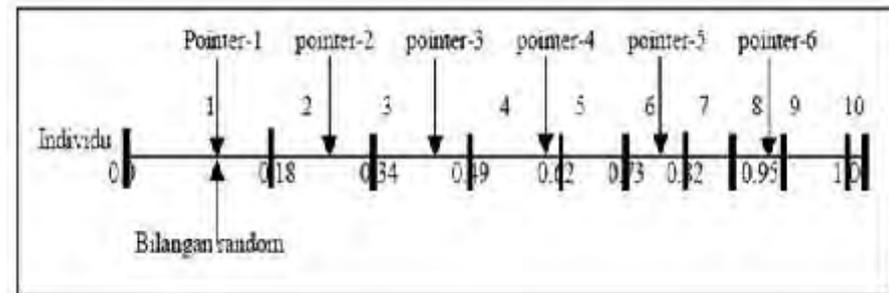
Pemilihan dilakukan secara acak dengan membangkitkan bilangan random. Jika probabilitas seleksi individu ke- i $<$ bilangan *random*, maka individu ke- i terpilih sebagai orang tua. Misalnya bilangan random pertama yang muncul adalah 0.20 dan yang kedua adalah 0.5, maka individu yang terpilih adalah individu yang ke-1 dan ke-3 karena $0.20 < 0.31$ dan $0.5 < 0.74$. Orang tua ke-1 = individu ke-1. Orang tua ke-2 = individu ke-3.

2. Seleksi *stochastic uniform*

Metode seleksi *stochastic uniform* memiliki nilai bias nol dan penyebaran yang minimum. Pada metode ini, individu-individu dipetakan dalam suatu segmen garis secara berurutan sedemikian hingga tiap-tiap segmen individu memiliki ukuran yang sama dengan ukuran *fitness*-nya seperti halnya pada seleksi roda roulette, dan diberikan sejumlah penunjuk sebanyak individu yang diseleksi di garis tersebut. Andaikan N adalah jumlah individu, dan posisi penunjuk pertama diberikan secara acak pada range $[1, 1/N]$.

Apabila ada 6 individu yang akan diseleksi, maka jarak antar pointer adalah $1/6=0.167$ (gambar 2.17), sehingga misalkan

bilangan random yang dibangkitkan pada range $[0, 0.167]$ adalah 0,1 maka hasil yang diperoleh setelah seleksi adalah:



Gambar 2.18. Seleksi *stochastic uniform*
Sumber : Pencheva, dkk : 2009

3. Seleksi turnamen (*Tournament selection*)

Seleksi turnamen bekerja dengan cara memilih beberapa t jumlah individu secara acak dari populasi dan mengcopy individu terbaik dari grup ini ke dalam populasi, dan ulangi sebanyak N kali. Seringkali dalam turnamen yang dipegang hanya antara dua individu turnamen biner saja, tetapi umumnya memungkinkan untuk memegang sembarang ukuran kelompok t yang disebut dengan ukuran turnamen.

Metode seleksi turnamen ini mula-mula ditetapkan suatu nilai t untuk individu-individu yang dipilih secara random dari suatu populasi. Individu-individu yang terbaik dalam kelompok ini akan dipilih sebagai induk. Parameter yang digunakan pada metode ini adalah ukuran t yang bernilai antara 2 sampai N (jumlah individu dalam suatu populasi).

Misalnya dalam populasi terdapat 8 kromosom dengan nilai fitness masing dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Tabel seleksi turnamen

Individu	Nilai <i>fitness</i>
K1	34
K2	25
K3	4
K4	32
K5	11
K6	15
K7	25
K8	45

Langkah-langkah seleksi sebagai berikut:

- Dipilih t sebanyak 2 yang disimbolkan dengan variabel a dan b .
- Random nilai 1 sampai 8 yang di assign kedalam variabel a . Dari hasil random tersebut misalnya diperoleh $a = 7$.
- Random nilai 1 sampai $8-1$ yang di assign kedalam variabel a . Untuk menghindari pemilihan pada individu yang sama maka nilai random dibatasi $8-1$. Dari hasil random tersebut misalnya diperoleh $b = 5$.
- Karena $(a > b)$ dan nilai *fitness* ($k_7 > k_5$) maka parrent yang terpilih adalah individu ke-7 dengan nilai *fitness* 25.

2.1.5.3. Crossover

Crossover (perkawinan silang) memiliki tujuan untuk menambah keanekaragaman *string* dalam populasi dengan penyilangan antar *string* yang diperoleh dari sebelumnya. Beberapa jenis *crossover* tersebut adalah:

1. *Crossover* 1 Titik

Pada *crossover* dilakukan dengan memisahkan suatu *string* menjadi dua bagian dan selanjutnya salah satu bagian dipertukarkan dengan salah satu bagian dari *string* yang lain yang telah dipisahkan dengan cara yang sama. Proses yang demikian dinamakan operator *crossover* satu titik seperti diperlihatkan pada tabel 2.5:

Tabel 2.5. Contoh *crossover* 1 titik

Kromosom orangtua 1	11001011
Kromosom orangtua2	11011111
Kromosom keturunan	11001111

2. *Crossover* 2 Titik

Proses *crossover* ini dilakukan dengan memilih dua titik *crossover*. Kromosom keturunan kemudian dibentuk dengan barisan bit dari awal kromosom sampai titik *crossover* pertama disalin dari orangtua pertama, bagian dari titik *crossover* pertama dan kedua disalin dari orangtua kedua, kemudian selebihnya disalin dari orangtua pertama lagi.

Tabel 2.6. Contoh *crossover* 2 titik

Kromosom orangtua 1	11001011
Kromosom orangtua2	11011111
Kromosom keturunan	11001111

3. *Scattered Crossover*

Pada *scattered crossover*, digunakan sebuah vektor bit acak yang berukuran sama dengan kromosom. Di dalam proses untuk menghasilkan kromosom keturunan, akan dipilih bit-bit dalam *mask* vektor bit acak. Jika yang terpilih adalah bit 0, berarti kromosom keturunan diperoleh dari kromosom orangtua 1 dan jika yang terpilih adalah bit 1 berarti kromosom keturunan diperoleh dari kromosom orangtua 2.

Tabel 2.7. Contoh *scattered crossover*

Kromosom orangtua 1	11001011
Kromosom orangtua2	11011111
Kromosom <i>mask</i>	01010101
Kromosom keturunan	11011111

2.1.5.4. Mutasi

Mutasi merupakan proses mengubah nilai dari satu atau beberapa gen dalam suatu kromosom. Operasi *crossover* yang dilakukan pada kromosom dengan tujuan untuk memperoleh kromosom-kromosom baru sebagai kandidat solusi pada generasi mendatang dengan *fitness* yang lebih baik, dan lama kelamaan menuju solusi optimum yang diinginkan. Akan tetapi, untuk mencapai hal ini, penekanan selektif juga memegang peranan yang penting. Jika dalam proses pemilihan kromosom-kromosom cenderung pada kromosom yang memiliki *fitness* yang tinggi saja, konvergensi prematur, yaitu mencapai solusi yang optimal lokal sangat mudah terjadi.

Untuk menghindari konvergensi premature tersebut dan tetap menjaga perbedaan (*diversity*) kromosom-kromosom dalam populasi, selain melakukan penekanan selektif yang lebih efisien, operator mutasi juga dapat digunakan. Proses mutasi dalam sistem biologi berlangsung dengan mengubah isi *allele* gen pada suatu *locus* dengan *allele* yang lain. Proses mutasi ini bersifat acak sehingga tidak selalu menjamin bahwa setelah proses mutasi akan diperoleh kromosom dengan *fitness* yang lebih baik.

2.1.6. Pemodelan Sistem

Sistem adalah kumpulan obyek yang saling berinteraksi dan bekerja sama untuk mencapai tujuan logis dalam suatu lingkungan yang kompleks. Obyek yang menjadi komponen dari sistem dapat berupa obyek terkecil dan bisa juga berupa sub-sistem atau sistem yang lebih kecil lagi.

Mengamati sistem bukan hanya mendefinisikan komponen-komponen pendukung sistem, tetapi lebih dari itu harus pula mengetahui perilaku dan variabel-variabel yang ada di dalamnya. Paling tidak analisis terhadap sistem harus dapat membuat konsepsi tentang sistem itu. Ada beberapa cara untuk dapat merancang, menganalisis dan mengoperasikan suatu sistem. Salah satunya adalah dengan melakukan pemodelan, membuat model dari sistem tersebut.

Model adalah alat yang sangat berguna untuk menganalisis maupun merancang sistem. Sebagai alat komunikasi yang sangat efisien, model dapat menunjukkan bagaimana suatu operasi bekerja dan mampu merangsang untuk berpikir bagaimana meningkatkan atau memperbaikinya.

Model didefinisikan sebagai suatu deskripsi logis tentang bagaimana sistem bekerja atau komponen-komponen berinteraksi.

Dengan membuat model dari suatu sistem maka diharapkan dapat lebih mudah untuk melakukan analisis. Hal ini merupakan prinsip pemodelan, yaitu bahwa pemodelan bertujuan untuk mempermudah analisis dan pengembangannya.

Melakukan pemodelan adalah suatu cara untuk mempelajari sistem dan model itu sendiri dan juga bermacam-macam perbedaan perilakunya.

Gambar 2.19 ini adalah gambaran dari aneka cara mempelajari sistem.



Sumber : Law and Kelton : 1991
Gambar 2.19 Cara Mempelajari Sistem

2.1.7. Simulasi Menggunakan ETAP 7.5

Dalam perancangan dan analisa sebuah sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi riil sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (Electric Transient and Analysis Program) Power Station 7.5 merupakan salah satu software aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik.

Program analisis aliran beban pada program ETAP dapat menghitung tegangan rel, percabangan, faktor daya, arus dan aliran daya yang melalui sistem tenaga listrik. Program ini memperbolehkan untuk sumber tenaga ayun (swing), pengaturan tegangan dan tanpa pengaturan tegangan dengan banyak generator dan peralatan. Program ini dapat digunakan pada sistem tenaga dengan jaringan radial dan ring/loop. Metode yang berbeda dapat dipilih untuk mendapatkan efisiensi perhitungan yang terbaik.

ETAP PowerStation menyediakan tiga metode perhitungan aliran beban : Newton – Rhapson, Fast – Decoupled, dan Accelerated Gauss – Seidel. Ketiganya memiliki karakteristik konvergensi yang berbeda, dan terkadang salah satunya lebih baik dibandingkan yang lain. Metode yang akan digunakan dapat dipilih dari ketiganya, tergantung konfigurasi sistem, pembangkitan, kondisi pembebanan, dan tegangan awal rel.

Setiap proyek atau plant yang akan dianalisa harus memodelkan peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Beberapa analisa yang dapat dilakukan di ETAP 7.5 adalah perhitungan arus gangguan hubung singkat dan koordinasi relay proteksi. Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dilakukan pada mode short circuit calculation sedangkan untuk koordinasi relay proteksi dapat dilakukan pada mode STAR protective device coordination.

2.1.8. Optimasi Menggunakan MATLAB R2013a

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan interface untuk koleksi rutin-rutin numerik dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan assembler (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB).

MATLAB telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi built-in untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga berisi *toolbox* yang berisi fungsifungsi tambahan untuk aplikasi khusus. MATLAB bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada *library* ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu.

Pada penelitian ini optimasi akan dilakukan menggunakan *Global Optimization Toolbox* yang terdapat program MATLAB r2013a, dengan menuliskan parameter, fungsi serta batasan yang akan dioptimasi kedalam MATLAB files atau *m-files*.

2.2. Kerangka Berpikir

Masalah yang ada pada performansi koordinasi DOCR ketika beroperasi pada sistem interkoneksi *multi-loop* adalah sulitnya untuk mendapatkan koordinasi relay yang memenuhi fundamental sistem proteksi tenaga listrik.

Tujuan dari koordinasi sistem proteksi adalah mendapatkan waktu operasi relay yang minimum dan mempertahankan nilai dari *coordination time interval* antara *primary relay* dengan *backup relay*. Namun sangat sulit mendapatkan waktu semimum mungkin atas waktu operasi tiap relay dengan menggunakan perhitungan konvensional. Untuk itu digunakanlah metode optimasi. Algoritma genetik merupakan contoh dari beberapa teknik optimasi yang ada.

Metode algoritma genetik digunakan untuk mengoptimasi nilai *time dial setting* dan arus *pickup*, sehingga didapatkan nilai yang optimal dari masing-masing relay, dan juga waktu operasi (t) keseluruhan relay yang minimum dengan tetap mempertahankan nilai dari *coordination time interval* antara *primary relay* dengan *backup relay*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berjudul “Simulasi Koordinasi *Directional Overcurrent Relay* Berbasis Algoritma Genetik Pada Sistem IEEE 9 Bus”. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei dan Juni 2015. Penelitian ini dilakukan di laboratorium penggunaan komputer dalam sistem tenaga listrik, Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.

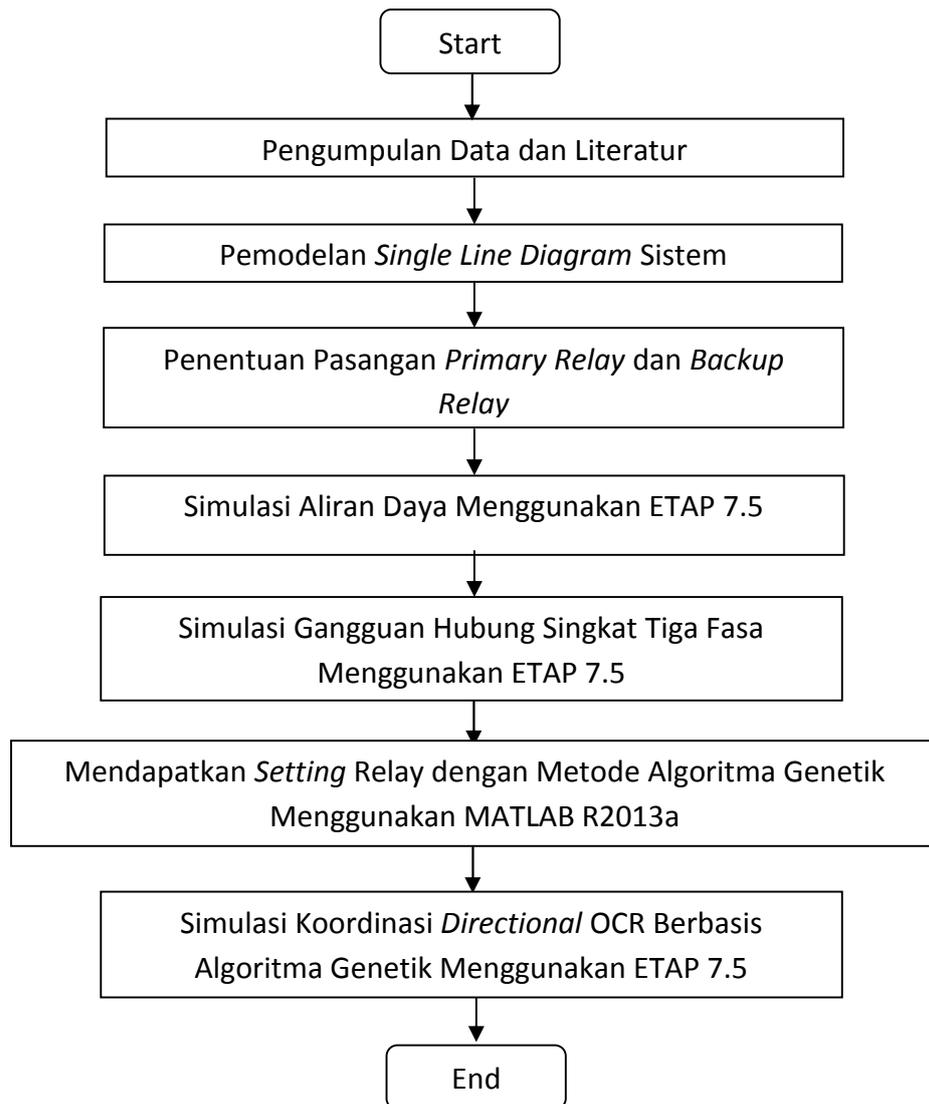
3.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian simulasi numerik. Penelitian Simulasi adalah suatu prosedur pengimitasian sebuah model atau objek. Imitasi dalam rangka penelitian, penyelidikan ataupun pengujian bersifat terbatas dan terfokus pada suatu aktivitas atau operasi tertentu. Penelitian simulasi bertujuan untuk mencari gambaran melalui sebuah sistem berskala kecil sederhana atau model dimana di dalam model tersebut akan dilakukan manipulasi atau kontrol untuk melihat pengaruhnya. Simulasi dilakukan untuk mencari nilai parameter yang dibutuhkan untuk mendapatkan *setting directional overcurrent relay* pada sistem IEEE 9 bus.

Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai *time dial setting* dan arus *pickup* dari relay sehingga didapatkan koordinasi yang memenuhi

coordination time interval antara *primary relay* dan *backup relay* dan waktu operasi relay yang minimum adalah metode algoritma genetik.

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.4. Tahapan Penelitian

3.4.1. Studi Literatur

Tahap pertama yang dilakukan adalah pengumpulan literatur yang berhubungan dengan topik penelitian. Literatur-literatur yang digunakan berasal dari jurnal, prosiding dan buku teks serta beberapa user manual peralatan.

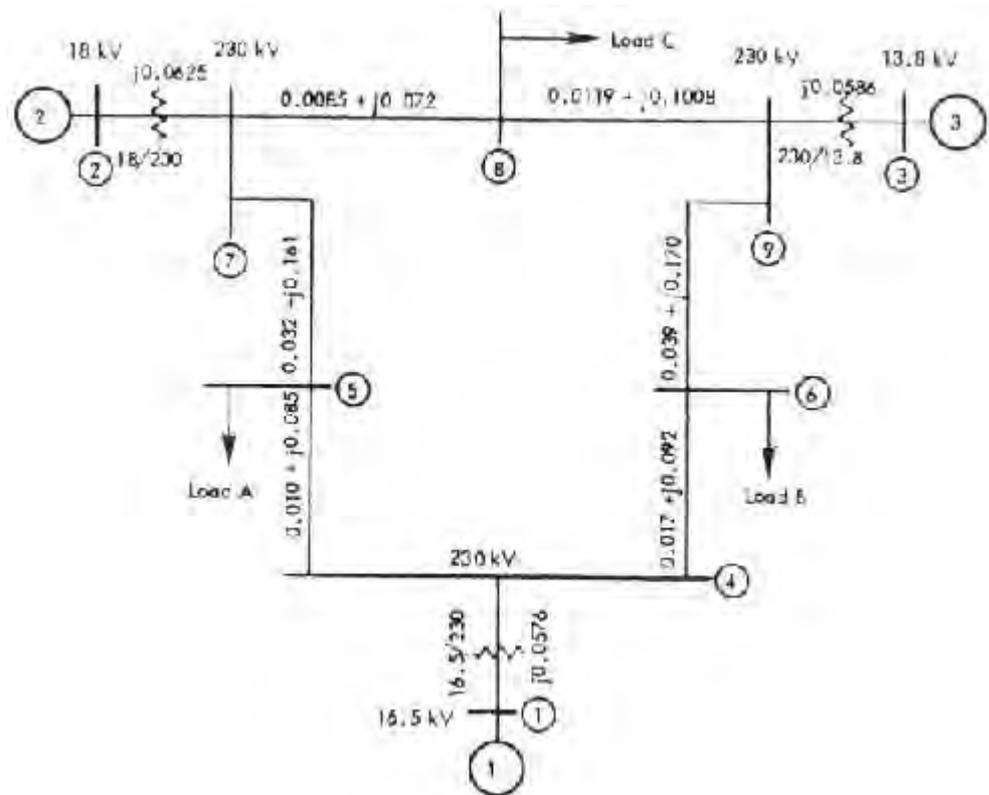
3.4.2. Pemodelan *Single Line Diagram*

Setelah mendapatkan data-data dan literatur yang menunjang, dilakukan pemodelan dalam bentuk simulasi menggunakan *software* ETAP 7.5. Sistem IEEE 9 bus dimodelkan dalam bentuk *single line diagram* pada *software* ETAP 7.5.

Sistem IEEE 9 bus merupakan sebuah sistem dari Western South Coordinating Council (WSCC) atau sekarang telah berubah menjadi Western Electricity Coordinating Council, sistem ini merupakan sistem yang menghubungkan sistem kelistrikan Amerika Utara bagian selatan, oleh karena itu sistem ini juga biasa disebut WSCC 9 bus *system*.

Kemudian dalam bukunya, *Power System Control and Stability*, Anderson dan Fouad menggunakan sistem ini sebagai objek penelitian studi dinamika sistem tenaga listrik. Hingga akhirnya sistem ini banyak digunakan sebagai objek penelitian dikarenakan sistem ini dianggap cukup mampu untuk dapat menggambarkan sejumlah konsep dan hasil dari studi dinamika sistem tenaga.

Sistem ini merupakan sistem yang terdiri dari 3 buah generator, 9 bus, 6 buah jalur transmisi dan 3 buah beban. Sistem ini merupakan model klasik sistem *multi machine* yang memang biasa digunakan untuk mempelajari dinamika sistem tenaga.



Gambar 3.2. Single line diagram sistem IEEE 9 bus
Sumber : Anderson & Fouad : 2008

Sumber data sistem IEEE 9 bus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari buku *Power System Control and Stability* yang ditulis oleh P. M. Anderson dan A. A. Fouad dan juga jurnal dengan judul *Transient Stability Improvement by using PSS and Increasing Inertia of Synchronous Machine* yang ditulis oleh P. Khalko dan A. K. Singh.

Pada sistem ini terdapat 3 generator dengan 2 generator yaitu generator 2 dan generator 3 berfungsi sebagai *voltage control*. Pada generator ini parameter yang diketahui adalah daya aktif (P) dan *magnitude* tegangan ($|V|$), dengan P ditentukan dan $|V|$ dijaga konstan dengan injeksi daya reaktif.

1 generator lain yaitu generator 1 berfungsi sebagai *swing generator*. Generator ini digunakan sebagai referensi dimana parameter yang diketahui adalah *magnitude* tegangan ($|V|$) dan sudut fasa tegangan (δ). *Swing generator* diperlukan pada sistem karena nilai P dan Q untuk setiap bus tidak dapat ditentukan terlebih dahulu.

Berikut merupakan karakteristik generator yang terpasang pada sistem IEEE 9 bus :

Tabel 3.1. Karakteristik generator pada sistem IEEE 9 bus

Generator	1	2	3
<i>Rated MVA</i>	247.5	192	128
kV	16.5	18	13.8
<i>Power Factor</i>	1.00	0.85	0.85
<i>Generator Type</i>	<i>Hydro</i>	<i>Turbo</i>	<i>Turbo</i>
<i>Rotor Type</i>	<i>Silent-Pole</i>	<i>Round-Rotor</i>	<i>Round-Rotor</i>
<i>Poles</i>	40	2	2
RPM	180	3600	3600
δ_0	8.96	6	5.89
δ_0	0	0.535	0.6
H	23.64	6.40	3.01

Pada sistem IEEE 9 bus nilai MVA base yang digunakan adalah sebesar 100 MVA dan nilai nominal kV sebesar 230 kV. Parameter bus lain yang ditentukan nilainya adalah Z_{base} . Berikut adalah persamaan untuk menentukan Z_{base} pada sistem :

$$Z_{base} = \frac{kV_{base}^2}{MVA_{base}}$$

Nilai impedansi saluran atau Z pada sistem dinyatakan dalam satuan Ohm (Ω). Untuk mempermudah perhitungan nilai Z diubah dalam bentuk per unit (p.u) dengan persamaan berikut :

$$Z_{p.u} = \frac{Z_{Ohm}}{Z_{base}}$$

Parameter lain yang diperlukan adalah nilai admitansi jaringan (Y). Jika admitansi jaringan ditulis dengan bentuk cartesian maka bagian riil dari admitansi adalah konduktansi (G) dan bagian imajiner adalah susceptansi (B). Nilai konduktansi dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2}$$

Sedangkan nilai B atau susceptansi dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$B = \frac{-X}{R^2 + X^2}$$

Dan untuk mencari nilai admitansi dalam bentuk polar maka digunakan persamaan :

$$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2}$$

Berikut merupakan data saluran yang terdapat pada sistem IEEE 9 bus, yang terdiri dari impedansi dan admitansi saluran :

Tabel 3.2. Data saluran sistem IEEE 9 bus

No. Bus		Impedansi		Admitansi	
Dari	Ke	R	X	G	B
1	4	0	0.1184	0	-8.4459
2	7	0	0.1823	0	-5.4855
3	9	0	0.2399	0	-4.1684
4	5	0.0100	0.0850	1.3652	-11.6041
4	6	0.0170	0.0920	1.9422	-10.5107
5	7	0.0085	0.0720	1.6171	-13.6980
6	9	0.0119	0.1008	1.1551	-9.7843
7	8	0.0320	0.1610	1.1876	-5.9751
8	9	0.0390	0.1700	1.2820	-5.5882

Parameter terakhir yang diperlukan adalah besar pembangkitan dan beban, baik itu daya aktif dan juga daya reaktif. Berikut adalah data pembangkitan dan pembebanan bus pada sistem IEEE 9 bus yang terdiri dari data tegangan bus, pembangkitan yang dilakukan, dan permintaan beban (*loading*).

Tabel 3.3. Data pembangkitan dan pembebanan pada sistem IEEE 9 bus

No. bus	Bus Type	V (V)	P _G (MW)	Q _G (MVAR)	P _L (MW)	Q _L (MVAR)	Q _{max} (MVAR)	Q _{min} (MVAR)
1	3	1.040	0	0	0	0	0	0
2	2	1.025	163	0	0	0	130	-100
3	2	1.025	85	0	0	0	50	-70
4	1	1.000	0	0	0	0	-	-
5	1	1.000	0	0	90	30	-	-
6	1	1.000	0	0	125	50	-	-
7	1	1.000	0	0	0	0	-	-
8	1	1.000	0	0	100	35	-	-
9	1	1.000	0	0	0	0	-	-

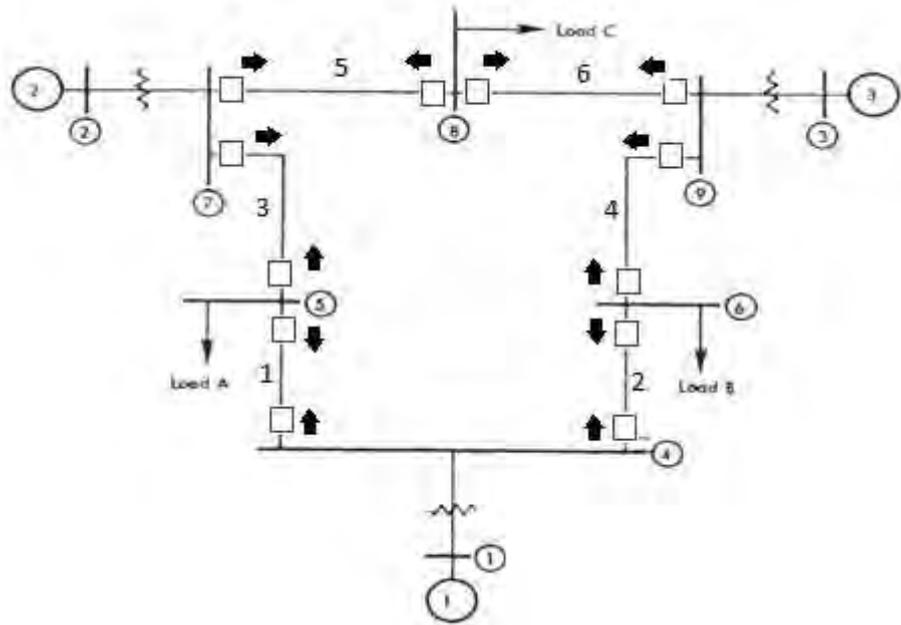
3.4.3. Penentuan Pasangan *Primary Relay* dan *Backup Relay*

Perhitungan *time dial setting* yang optimal pada sistem tenaga dengan jaringan *loop* bukanlah tugas yang mudah. Hal ini dikarenakan setiap relay berperan sebagai *primary relay* untuk sekelompok *backup relay*, namun juga sekaligus menjadi sebagai *backup relay* untuk kelompok relay lain.

Pada penelitian ini digunakan metode matriks *augmented incidence* untuk menentukan pasangan *primary relay* dan *backup relay* untuk semua kemungkinan terjadi suatu gangguan. Metode matriks ini didapat dari referensi jurnal dengan judul “*Linear programming for directional overcurrent relay coordination in interconnected power systems with constraint relaxation*”.

Metode digunakan untuk mendapatkan pasangan *primary relay* dan *backup relay* untuk semua kemungkinan terjadinya suatu gangguan. Langkah-langkah penentuan pasangan *primary relay* dan *backup relay* adalah sebagai berikut :

1. Gambarkan arah setiap relay seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Arah relay pada sistem

2. Buat sebuah matriks dengan dimensi $n \times e$. Dengan n adalah jumlah dari bus dan e adalah jumlah dari jalur transmisi. Maka jumlah kolom dari matriks ini sama dengan jumlah jalur transmisi, dan jumlah baris sama dengan jumlah bus.
3. Elemen dari matriks A diberi nilai -1 jika aliran memasuki node dan elemen dari matriks A diberi nilai $+1$ jika aliran meninggalkan node.

Setelah menyelesaikan langkah 1 sampai dengan langkah 3 maka matriks A pada sistem dalam penelitian ini merupakan matriks dengan dimensi 6x6 sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

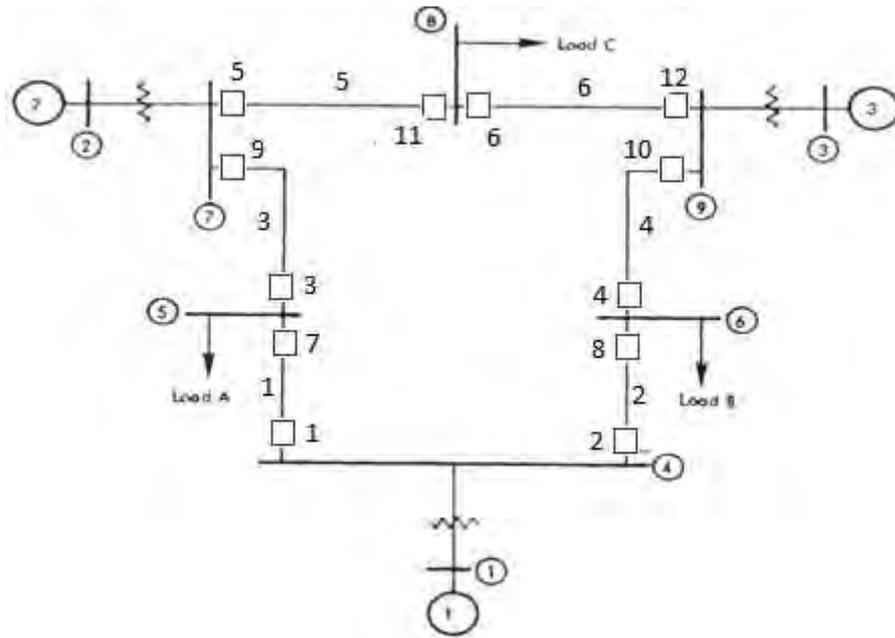
Untuk mendapatkan matriks dari keseluruhan sistem dibuat matriks yang diperbesar dengan mengalikan setiap elemen node dari matriks A dengan -1 pada kolom $e + 1$ hingga $2e$.

Sehingga didapat matriks dari keseluruhan sistem pada penelitian ini adalah matriks dengan dimensi 6x12 sebagai berikut :

$$A_s = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Pasangan *primary relay* dan *backup relay* dapat ditentukan dari matriks keseluruhan sistem (A_s) dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Setiap elemen dari kolom yang bernilai positif (1) merupakan representasi dari relay pada sistem. Sebagai contoh pada kolom 1 elemen positif terdapat pada baris 1, maka relay 1 merupakan relay yang terdapat diantara bus 1 dan line 1. Relay dalam keseluruhan sistem pada penelitian ini terdapat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Relay keseluruhan sistem

2. Ambil elemen negatif pada setiap kolom. Dalam hal ini elemen negatif pada kolom 1 terdapat pada baris 2.
3. Cari elemen positif yang terdapat pada baris dimana elemen negatif tersebut didapat. Elemen positif yang terdapat pada baris 2 terdapat pada kolom 3 dan 7.
4. Relay tersebut menjadi backup untuk relay dimana elemen positif ditemukan, kecuali untuk relay yang terdapat dalam satu jalur transmisi. Karena relay 1 berada pada satu jalur transmisi dengan relay 7, maka relay 1 akan menjadi *backup relay* untuk relay 3.
5. Kemudian ulangi langkah 1-4 untuk keseluruhan kolom.

3.4.4. Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP 7.5

Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat. Tujuan dilakukan simulasi ini adalah untuk mengetahui besar dan arah arus nominal dalam sistem serta untuk mengetahui besar arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada sistem kelistrikan tersebut sehingga arus *pickup* (I_p) dan Rasio I/I_p dapat ditentukan.

Persamaan aliran daya merupakan persamaan aljabar non-linear, sehingga tidak mempunyai solusi eksak. Persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan metode iterasi dari beberapa metode numerik. Harga konvergensi pada proses iterasi ditentukan oleh besarnya indeks presisi antara 0.01 hingga 0.00001 atau sesuai dengan yang dikehendaki. Jumlah iterasi menentukan besarnya presisi yang dikehendaki, semakin presisi semakin banyak jumlah iterasi yang harus dilakukan. Pada penelitian ini simulasi aliran daya dilakukan menggunakan *software* ETAP dengan menggunakan Metode Newton-Raphson.

Simulasi aliran daya dilakukan selain untuk mengetahui arah aliran daya pada sistem juga untuk mengetahui besar arus nominal yang melewati tiap bus dalam keadaan beban maksimum (*full load ampere*). Dalam menentukan setting untuk relay arus lebih sangat penting untuk mengetahui besarnya arus beban maksimum yang melewati tiap relay. Relay arus lebih tidak boleh trip/bekerja pada kondisi beban maksimum. Untuk itu maka nilai arus *pick up* pada relay diset lebih besar dari arus beban maksimum.

3.4.5. Simulasi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Menggunakan ETAP 7.5

Simulasi arus hubung singkat tiga fasa ini dilakukan pada pada *software* ETAP dalam mode *Short-Circuit Analysis*. Simulasi dilakukan dengan perhitungan impedansi tiap-tiap elemen listrik. Impedansi yang dihitung merupakan impedansi dari sumber arus hubung singkat ke titik gangguan. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perhitungan arus hubung singkat adalah sumber dari hubung singkat yaitu generator, motor sinkron, dan motor induksi. Trafo bukan merupakan sumber dari arus hubung singkat ketika terjadi gangguan, namun hanya menyalurkan arus yang melewatinya apabila bebannya motor.

Langkah-langkah perhitungan arus hubung singkat adalah sebagai berikut :

1. Penentuan spesifikasi peralatan yang ada
2. Penentuan impedansi masing-masing peralatan dalam satuan per unit
3. Perhitungan impedansi hubung singkat dari sumber-sumber yang menyumbangkan arus hubung singkat
4. Penentuan titik gangguan hubung singkat dengan tempat yang spesifik terhadap kemungkinan terjadinya hubung singkat. Penentuan titik gangguan ini menentukan alat proteksi yang akan diterapkan dan kapasitasnya.

5. Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat yang terjadi selama 30 *cycle* digunakan untuk menganalisa unjuk kerja relay arus lebih waktu terbalik (*inverse*).

Bus sumber menghasilkan arus hubung singkat yang besar apabila motor induksi memiliki daya yang besar pula, tetapi nilainya lebih besar daripada arus hubung singkat yang terjadi dengan waktu gangguan 30 *cycle*. Pengaruh adanya kontribusi arus motor induksi saat terjadinya gangguan hubung singkat hanya terjadi pada periode subperalihan hubung singkat generator atau 0.5 *cycle*.

Berdasarkan IEEE Standard 242 – 2001, hal-hal berikut harus diperhatikan ketika melakukan studi koordinasi relay:

1. Arus maksimum dan minimum yang melewati relay saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa dan tiga fasa momentary (*first cycle*).
2. Arus maksimum dan minimum yang melewati relay saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa interrupting duty (1.5 – 8 *cycles*)
3. Arus maksimum dan minimum yang melewati relay saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa 30 *cycle*

Arus gangguan *momentary* digunakan untuk menentukan nilai maksimum dan minimum bagi peralatan yang bekerja langsung (*direct trip*), misalnya *instantaneous relay* dan fuse. Arus gangguan 30 *cycle* digunakan untuk menentukan nilai arus pick up bagi relay dengan persamaan sebagai berikut :

$I_{pickup} = 1.25-1.5$ arus beban maksimum

Persamaan di atas merupakan persamaan untuk menentukan arus *pickup* bagi relay yang digunakan sebagai proteksi feeder atau saluran. Untuk relay jenis lain, misalnya relay yang ditujukan untuk proteksi transformator atau motor induksi, maka digunakan persamaan lain sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh ANSI/IEEE.

Dalam simulasi gangguan hubung singkat, akan dilakukan simulasi pada titik gangguan pada bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8 dan bus 9. Untuk menentukan arus *pickup*, cukup melihat berapa besar arus gangguan minimum yang melewati relay. Hal ini agar relay bekerja pada kondisi gangguan minimum. Arus gangguan 30 *cycle* digunakan untuk mempertimbangkan arus *pickup* pada rele waktu terbalik (*inverse*).

3.4.6. Mendapatkan *Setting* DOCR dengan Metode Algoritma Genetik Menggunakan MATLAB R2013a

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *time dial setting* dan arus *pickup* pada relay yang memenuhi *coordination time interval* antara *primary relay* dengan *backup relay* dengan waktu operasi keseluruhan relay yang minimum.

Studi ini dilakukan dengan menuliskan fungsi yang akan dioptimasi kedalam program *m-files* dalam software MATLAB. Kemudian fungsi akan dioptimasi menggunakan *Global Optimization Toolbox* yang terdapat pada *software* MATLAB.

Karena pada penelitian ini optimasi dilakukan dengan menggunakan *Global Optimization Toolbox* yang terdapat pada *software* MATLAB r2013a. Maka langkah-langkah yang dilakukan dalam proses optimasi ini adalah sebagai berikut.

1. Merumuskan fungsi objektif yang akan dioptimasi.

Dalam optimasi koordinasi DOCR ini, setting relay diharapkan mendapatkan waktu operasi yang minimum dengan tetap mempertahankan koordinasi interval antara *primary relay* dan *backup relay*.

Dalam penelitian ini fungsi tujuan yang akan diminimumkan adalah jumlah waktu operasi (t) keseluruhan relay baik ketika berfungsi sebagai *primary relay* maupun ketika berfungsi sebagai *backup relay*, hal ini dikarenakan ketika relay berfungsi sebagai *primary relay* akan memiliki waktu operasi (t) yang berbeda ketika relay tersebut berfungsi sebagai *backup relay*. Oleh karena itu fungsi tujuan yang digunakan dalam penelitian ini dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{Min Obj} = \sum_{i=1}^{N_{\text{primary}}} T_{\text{primary}}^i + \sum_{j=1}^{N_{\text{backup}}} T_{\text{backup}}^j$$

Dengan :

$$T_{\text{primary}}(i) = \frac{0.14 \text{ TDS}(i)}{\frac{\text{Ipr}(i)}{\text{PS}(i) \text{ Inominal}(i)} - 1}^{0.02}$$

$$T_{\text{backup}}(j) = \frac{0.14 \text{ TDS}(j)}{\frac{\text{Ibc}(j)}{\text{PS}(j) \text{ Inominal}(j)} - 1}^{0.02}$$

I_{pr} adalah nilai arus gangguan *primary*, ketika relay bertindak sebagai *primary relay* yang didapat dari simulasi hubung singkat yang terdapat pada tabel 4.3.

I_{bc} adalah nilai arus gangguan *backup*, ketika *relay bertindak sebagai backup relay* yang didapat dari simulasi hubung singkat yang terdapat pada tabel 4.3.

Inominal adalah arus beban maksimum yang didapat dari simulasi aliran daya yang terdapat pada tabel 4.2.

TDS (*time dial setting*) dan PS (*plug setting*) adalah nilai yang akan di optimasi.

2. Merumuskan fungsi pembatas dari fungsi objektif yang akan dioptimasi.

Persamaan fungsi objektif akan diminimumkan dengan melakukan optimasi pada nilai TDS dan PS, dengan tetap memenuhi fundamental sistem proteksi tenaga listrik, dimana :

$$T_{backup} - T_{primary} \geq CTI$$

T_{backup} adalah waktu operasi *backup relay*.

$T_{primary}$ adalah waktu operasi *primary relay*.

CTI adalah *coordination time interval*.

Karena relay TSJ62 yang digunakan pada konfigurasi sistem dalam penelitian ini merupakan relay berbasis elektronik maka nilai CTI atau *Coordination Time Interval* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0.2.

Dan juga batasan lain yang digunakan adalah batas bawah (*lower bound*) dan batas atas (*upper bound*) untuk nilai TDS adalah sesuai dengan jenis masing-masing relay, dan pada penelitian ini relay TSJ62 memiliki batasan nilai TDS dengan *range* :

$$0.05 \quad TDS \quad 3.2$$

Sedangkan batas bawah dan batas atas untuk nilai PS adalah sesuai dengan British Standard (BS 142 : 1983) yaitu sebesar :

$$1.25 \quad PS \quad 1.5$$

Sedangkan nilai arus *pickup* pada *setting* relay akan didapatkan melalui persamaan :

$$I_{pickup} = \frac{PS \text{ Inominal}}{\text{rasio CT}}$$

3. Menentukan parameter optimasi.

Pada penelitian ini untuk mendapatkan *setting relay*, yaitu nilai *Plug Setting* dan nilai *Time Dial Setting*, yang memenuhi *coordination time interval* antara *primary relay* dan *backup relay* dan waktu operasi keseluruhan relay yang minimum maka dilakukan pengujian. Untuk mendapatkan *setting relay* yang optimal menggunakan metode algoritma genetik, maka pengujian akan dilakukan menjadi beberapa bagian. Pembagian tersebut terkait pencarian parameter yang optimal dari metode algoritma genetik. Parameter tersebut terbagi menjadi dua bagian yaitu, parameter tetap dan parameter berubah.

Parameter tetap adalah parameter yang tidak diubah dan nilainya tetap disetiap pengujian. Hal ini dilakukan agar proses optimasi menghasilkan solusi/*setting relay* yang benar-benar sesuai dengan fungsi pembatasnya, dalam hal ini adalah koordinasi CTI antara *primary relay* dengan *backup relay*.

Sedangkan parameter berubah adalah parameter yang nilainya diubah dengan skala tertentu pada setiap pengujian. Pada pengujian ini, terdapat 3 parameter berubah dengan 3 kombinasi nilai/metode pada masing-masing parameter berubah tersebut, sehingga total pengujian untuk masing-masing metode dilakukan sebanyak 27 kali.

Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan menggunakan *Global Optimization Toolbox* yang terdapat program MATLAB r2013a, dengan menuliskan parameter, fungsi serta fungsi pembatas yang akan dioptimasi kedalam MATLAB files atau *m-files*.

Pengujian optimasi dengan metode algoritma genetik ini dilakukan dengan menggunakan parameter berubah meliputi jumlah populasi, jenis metode *crossover* dan juga seleksi. Berikut merupakan *flowchart* optimasi algoritma genetik.

Berikut merupakan parameter berubah pada pengujian optimasi menggunakan algoritma genetik yang ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Parameter berubah dalam pengujian optimasi DOCR menggunakan algoritma genetik

No.	Parameter	Nilai/Metode
1	Populasi	a. 50 b. 100 c. 150
2	<i>Crossover</i>	a. <i>Single point</i> b. <i>Two point</i> c. <i>Scattered</i>
3	Seleksi	a. <i>Roulette wheel</i> b. <i>Tournament</i> c. <i>Stochastic uniform</i>

Pada pengujian optimasi menggunakan metode algoritma genetik ini, jumlah iterasi atau dalam metode algoritma genetik disebut dengan generasi, adalah tidak terbatas, tetapi proses optimasi akan berhenti jika dalam 50 generasi nilai PS dan TDS tidak mengalami perbaikan, maka nilai yang didapat pada pengujian itu dianggap sudah merupakan nilai terbaik yang bisa didapatkan oleh kombinasi parameter pada pengujian tersebut.

3.4.7. Simulasi Koordinasi DOCR Berbasis Algoritma Genetik Menggunakan ETAP 7.5

Dari pengujian optimasi algoritma genetik yang dilakukan, masing-masing pengujian akan menghasilkan *setting relay* yang terdiri dari nilai PS dan nilai TDS atau *time dial setting*, dimana nilai PS digunakan untuk mencari nilai arus *pickup*. Nilai arus *pickup* dan nilai TDS inilah yang

merupakan *setting relay* yang akan diuji kembali dalam simulasi koordinasi DOCR. Terdapat total 27 pengujian dalam optimasi menggunakan algoritma genetik, sehingga keseluruhan akan terdapat 27 *setting relay* berbeda.

Pada sub-bab ini akan dilakukan pengujian dalam bentuk simulasi, pengujian simulasi ini dilakukan untuk mengetahui respon koordinasi dari *setting relay* yang dihasilkan dalam optimasi menggunakan algoritma genetik. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan apakah *setting relay* hasil pengujian optimasi menggunakan metode algoritma genetik telah benar-benar memenuhi *coordination time interval* antara *primary relay* dan *backup relay*. Pengujian simulasi juga dilakukan untuk mendapatkan waktu operasi (t) keseluruhan relay hasil simulasi. Pengujian simulasi koordinasi DOCR ini akan dilakukan pada mode *STAR protective device coordination* yang terdapat dalam program ETAP 7.5.

Simulasi akan dilakukan pada kondisi sistem saat mengalami gangguan tiga fasa yang mengakibatkan *directional overcurrent relay* bekerja. Hal tersebut karena simulasi ini bertujuan untuk melihat respon waktu operasi DOCR ketika terjadi gangguan yang besar. Gangguan tiga fasa disimulasikan pada 6 titik gangguan (*fault spot*), yaitu pada bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8 dan bus 9.

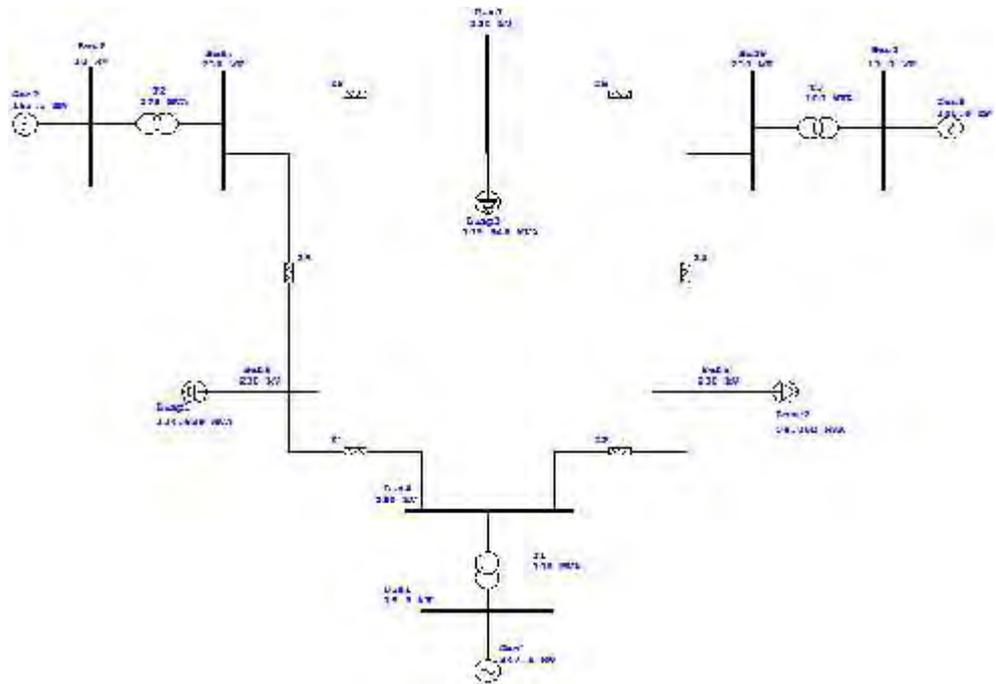
Agar lebih memudahkan dalam membedakan masing-masing *setting relay*, maka dalam pengujian simulasi koordinasi DOCR ini, ke-27 *setting relay* tersebut akan dilabeli atau diberi nama sesuai dengan nomor urut dalam pengujian optimasi menggunakan metode algoritma genetik.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Model Sistem IEEE 9 Bus

Data parameter sistem yang terdapat pada sub-bab 3.4.2 merupakan data yang akan digunakan untuk pemodelan sistem yang dilakukan menggunakan *software* ETAP, pada penelitian ini menggunakan *software* ETAP 7.5. Kemudian akan dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat tiga untuk mendapatkan parameter yang akan digunakan dalam koordinasi *directional over current relay*. Nilai dari *setting directional over current relay* didapatkan dengan menggunakan metode algoritma genetik dalam *Global Optimization Toolbox* yang terdapat dalam *software* MATLAB, pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB r2013a.



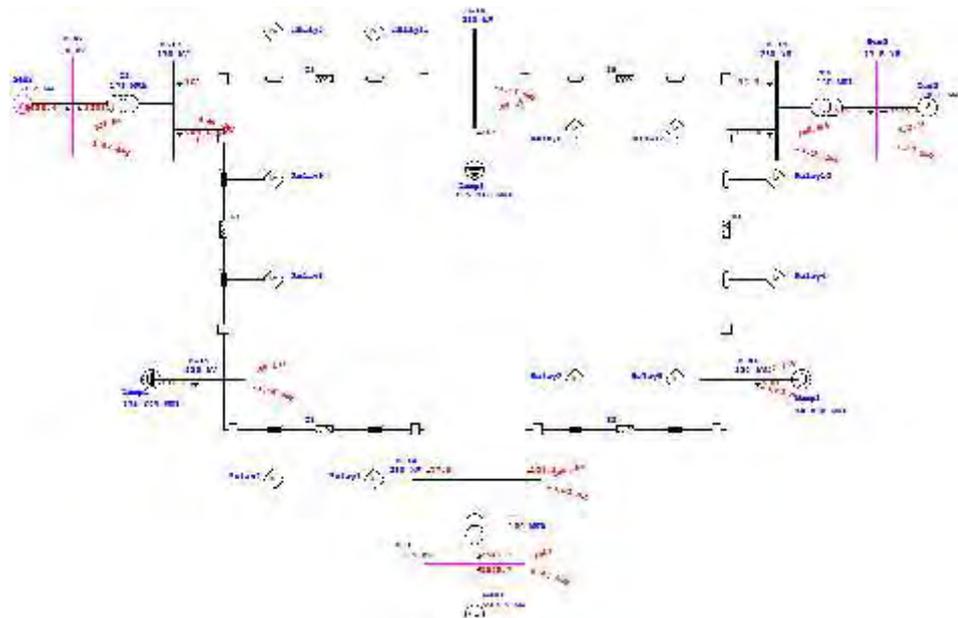
Gambar 4.1. Pemodelan sistem IEEE 9 bus dalam *software* ETAP

Tabel 4.1. Pasangan *primary relay* dan *backup relay*

<i>Fault Spot</i>	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>
Bus 4	Relay 7	Relay 9
	Relay 8	Relay 10
Bus 5	Relay 1	Relay 8
	Relay 9	Relay 11
Bus 6	Relay 2	Relay 7
	Relay 10	Relay 6
Bus 7	Relay 3	Relay 1
	Relay 11	Relay 12
Bus 8	Relay 5	Relay 3
	Relay 12	Relay 4
Bus 9	Relay 4	Relay 2
	Relay 6	Relay 5

4.3. Hasil Simulasi Aliran Daya

Berikut merupakan hasil simulasi aliran daya yang dilakukan pada *software ETAP* dalam mode *Loadflow Analysis* :



Gambar 4.3. Hasil simulasi aliran daya

Dari hasil simulasi dapat dikatakan bahwa sistem dalam keadaan yang stabil. Meskipun pada bus 1, bus 2 dan bus 3 terlihat bus berwarna merah muda, hal ini berarti tegangan pada bus tersebut sedikit mengalami *overvoltage*, hal ini sudah sesuai dengan parameter yang didapat dari data sumber. Tetapi dalam hal ini tegangan pada bus tersebut masih dalam keadaan batas yang wajar, yaitu dibawah 105%.

Berikut merupakan tabel yang menunjukkan besar arus beban maksimum yang melewati tiap relay :

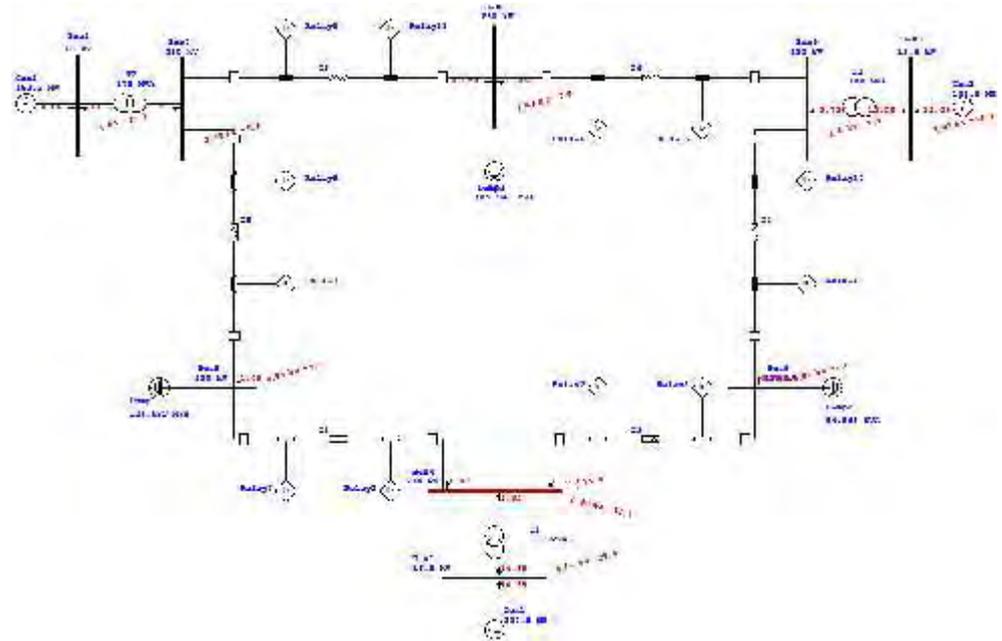
Tabel 4.2. Arus beban maksimum yang melewati relay

No. Bus		No. Relay	Inominal (A)
Dari	Ke		
Bus 1	Bus 4	-	2545.7
Bus 2	Bus 7	-	5238.4
Bus 3	Bus 9	-	3575.6
Bus 4	Bus 5	Relay 1	77.8
		Relay 7	
Bus 4	Bus 6	Relay 2	108.2
		Relay 8	
Bus 7	Bus 5	Relay 3	249.6
		Relay 9	
Bus 9	Bus 6	Relay 4	119.8
		Relay 10	
Bus 7	Bus 8	Relay 5	161.0
		Relay 11	
Bus 9	Bus 8	Relay 6	96.9
		Relay 12	

Hasil dari simulasi aliran daya ini, yaitu nilai Inominal merupakan nilai yang digunakan dalam optimasi dengan menggunakan metode algoritma genetik yang terdapat pada sub-bab 3.46.

4.4. Hasil Simulasi Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

4.4.1. Fault Bus 4

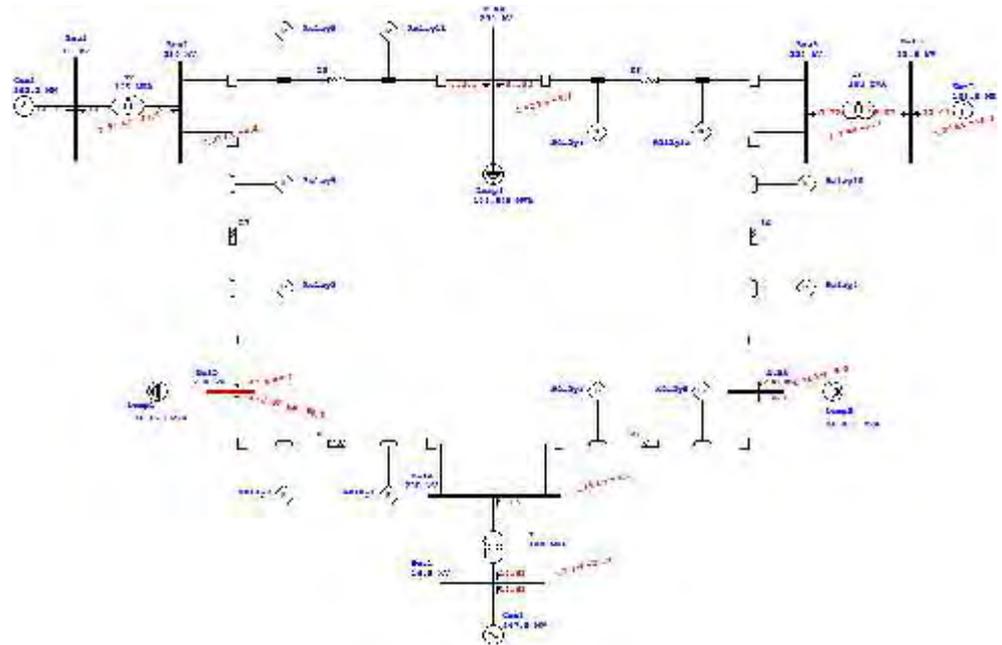


Gambar 4.4. Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 4

Dari gambar 4.4. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, arus gangguan mengalir dari dua arah, yaitu bus 7 atau generator 2 dan juga bus 9 atau generator 3.

Dari gambar 4.4. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 1090 A pada relay 7 dan relay 9, sedangkan pada relay 8 dan 10 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 783 A.

4.4.2. Fault Bus 5

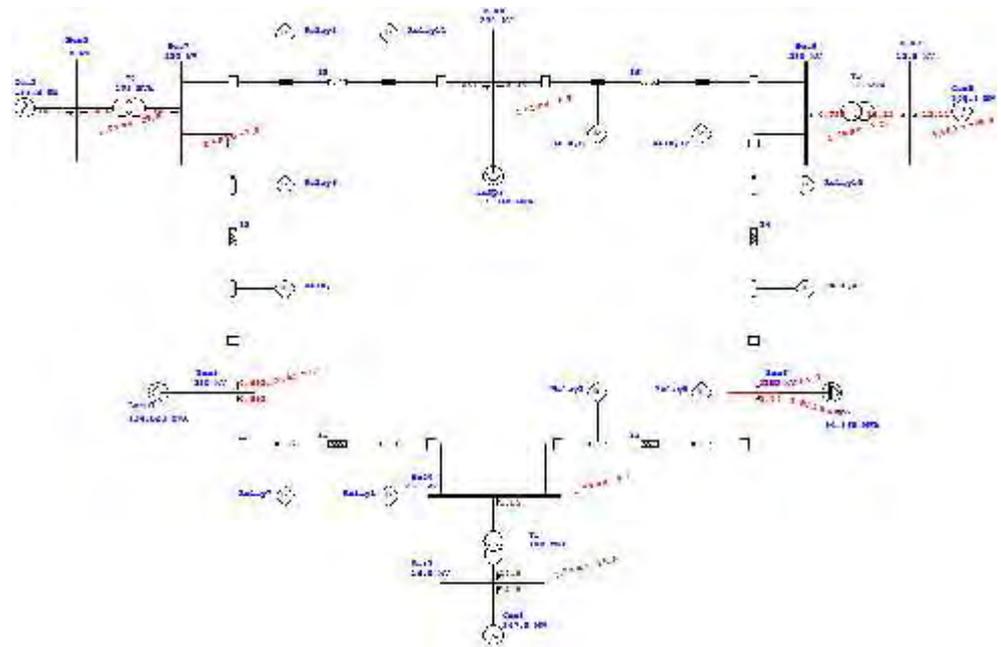


Gambar 4.5. Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 5

Dari gambar 4.5. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 5, arus gangguan mengalir dari tiga arah, yaitu bus 4 atau generator 1, bus 7 atau generator 2 dan juga bus 9 atau generator 2.

Dari gambar 4.5. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 5, pada relay 1 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1470 A dan pada relay 9 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 1453 A, sedangkan pada relay 8 dan 11 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 masing-masing sebesar 421 A dan 303 A.

4.4.3. Fault Bus 6

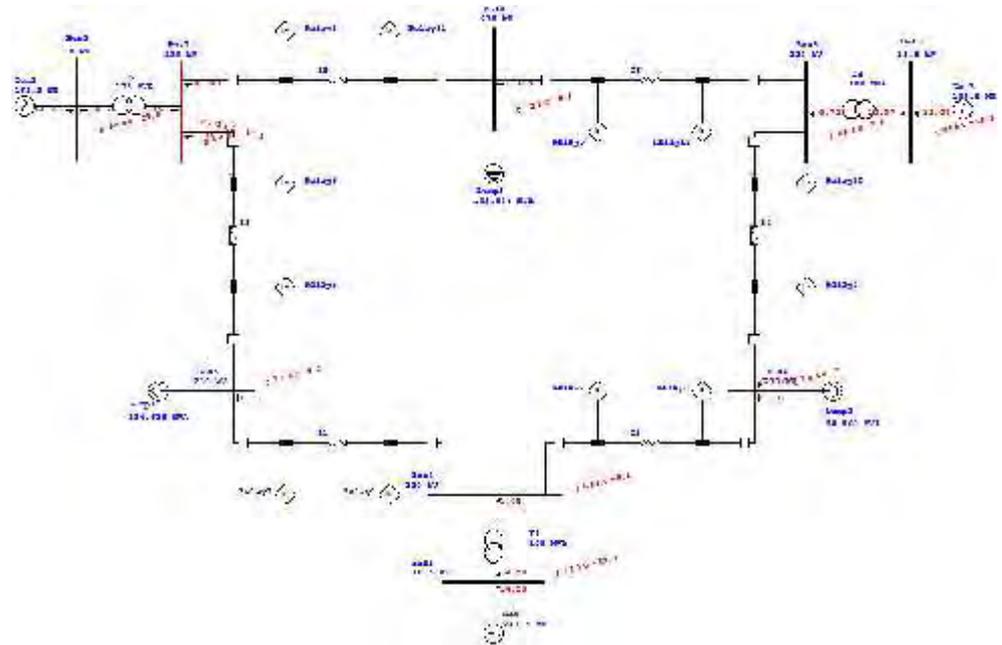


Gambar 4.6. Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 6

Dari gambar 4.6. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, arus gangguan mengalir dari tiga arah, yaitu bus 4 atau generator 1, bus 7 atau generator 2 dan juga bus 9 atau generator 2.

Dari gambar 4.6. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, pada relay 2 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1739 A dan pada relay 10 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 1177 A, sedangkan pada relay 7 dan 6 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 masing-masing sebesar 692 A dan 451 A.

4.4.4. Fault Bus 7

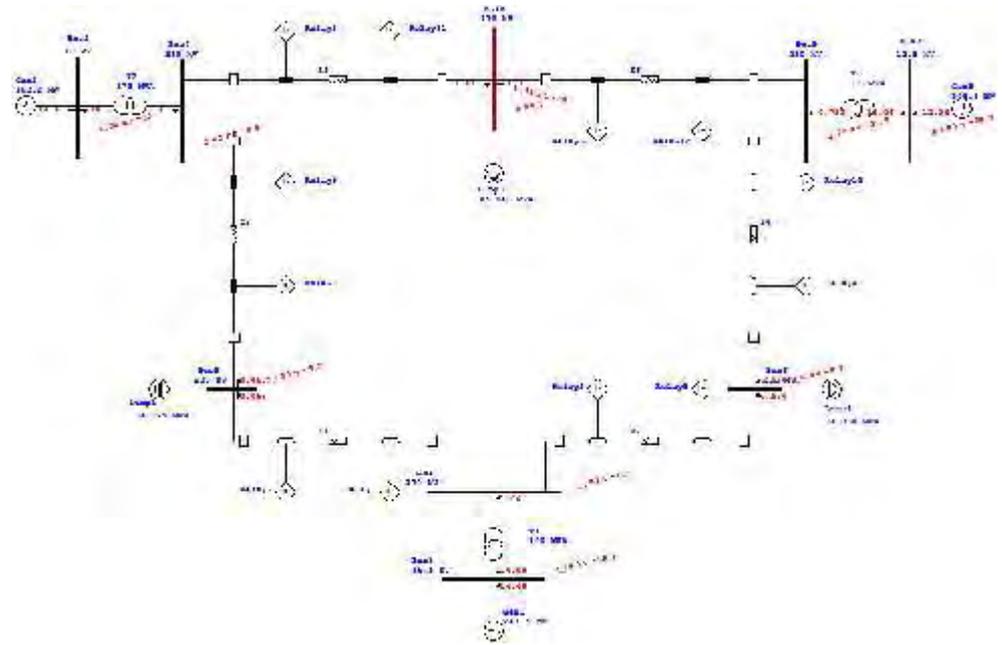


Gambar 4.7. Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 7

Dari gambar 4.7. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, arus gangguan mengalir dari dua arah, yaitu bus 7 atau generator 2 dan juga bus 9 atau generator 3.

Dari gambar 4.7. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, pada relay 3 dan relay 1 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1162 A, sedangkan pada relay 11 dan 12 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 609 A.

4.4.5. Fault Bus 8

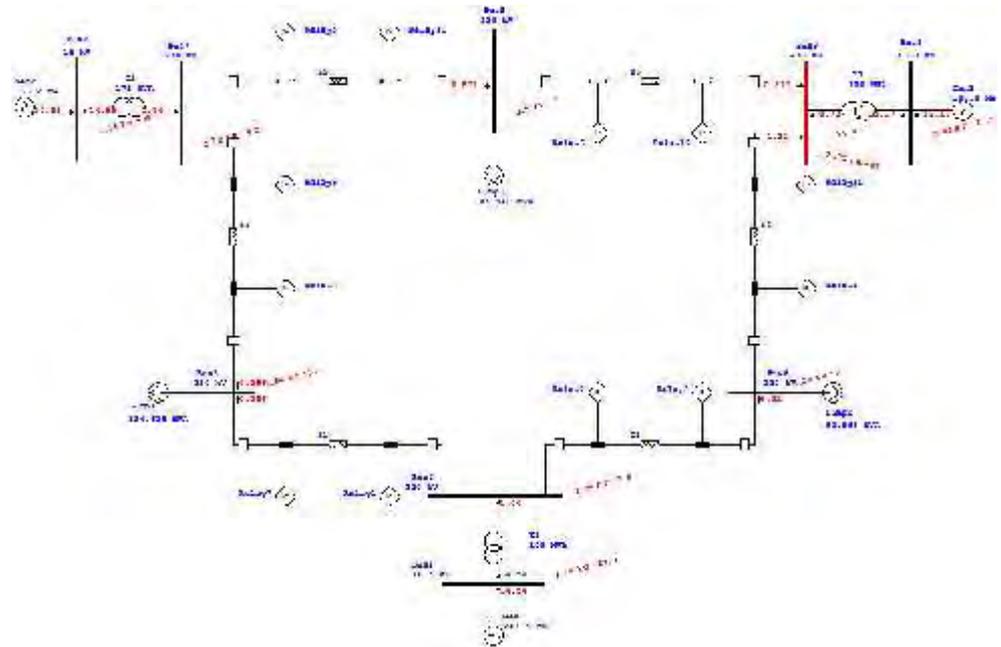


Gambar 4.8. Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 8

Dari gambar 4.8. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, arus gangguan mengalir dari tiga arah, yaitu bus 4 atau generator 1, bus 7 atau generator 2 dan juga bus 9 atau generator 2.

Dari gambar 4.8 juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, pada relay 5 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 1609 A dan pada relay 12 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 1297 A, sedangkan pada relay 3 dan 4 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 masing-masing sebesar 466A dan 574 A.

4.4.6. Fault Bus 9



Gambar 4.9. Simulasi hubung singkat tiga fasa pada bus 9

Dari gambar 4.9. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, arus gangguan mengalir dari dua arah, yaitu bus 7 atau generator 2 dan juga bus 9 atau generator 3.

Dari gambar 4.9. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, pada relay 4 dan relay 2 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1308 A, sedangkan pada relay 6 dan 5 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 877 A.

Dari enam simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa yang telah dilakukan pada bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8 dan bus 9 dapat dilihat bahwa pada setiap kasus *fault bus*, ketika terjadi gangguan hubung singkat arus gangguan mengalir tidak hanya dari satu arah, tetapi arus gangguan mengalir dari dua atau tiga arah yang berbeda, inilah yang menyebabkan sulitnya untuk mendapatkan koordinasi DOCR yang memenuhi koordinasi antara *primary relay* dengan *backup relay* dalam setiap kasus *fault bus* menjadi sulit untuk dilakukan. Karena setiap relay tidak hanya menjadi *primary relay* pada suatu kasus *fault bus*, tetapi juga akan bertindak sebagai *backup* untuk relay lain pada suatu kasus *fault bus* yang lain.

Tabel dibawah berikut merupakan rekapitulasi besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang melewati tiap relay untuk setiap gangguan :

Tabel 4.3. Arus gangguan hubung singkat yang melewati relay

<i>Fault bus</i>	<i>Primary relay</i>	<i>Iprimary (A)</i>	<i>Backup relay</i>	<i>Ibackup (A)</i>
Bus 4	Relay 7	1090	Relay 9	1090
	Relay 8	783	Relay 10	783
Bus 5	Relay 1	1470	Relay 8	421
	Relay 9	1453	Relay 11	303
Bus 6	Relay 2	1739	Relay 7	692
	Relay 10	1177	Relay 6	451
Bus 7	Relay 3	1162	Relay 1	1162
	Relay 11	609	Relay 12	609
Bus 8	Relay 5	1609	Relay 3	466
	Relay 12	1297	Relay 4	574
Bus 9	Relay 4	1308	Relay 2	1308
	Relay 6	877	Relay 5	877

Hasil dari simulasi hubung singkat ini, yaitu nilai $I_{primary}$ dan I_{backup} merupakan nilai yang digunakan dalam optimasi dengan menggunakan metode algoritma genetik yang terdapat pada sub-bab 3.46

Pada penelitian ini sistem menggunakan trafo arus untuk proteksi dengan rasio 40/1. Lalu kelas *error* CT yang digunakan adalah 2,5 VA Class 5P20, yaitu rating beban sebesar 2,5 VA dengan error tidak melebihi 5% sampai batas akurasi rating arusnya.

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa, besar arus gangguan 30 *cycle* terbesar yang mungkin melewati relay adalah 1739 A. Dari nilai ini, maka kita mendapatkan nilai arus sekunder pada CT sebesar $1739/40 = 43.475$ A. Nilai ini masih jauh dari batas akurasi CT yang digunakan, yaitu 20 kali rating arus CT = $20 \times 5 = 100$ A. Sehingga CT dengan rasio ini akurat untuk digunakan. CT ini memiliki batas akurasi sampai $20 \times 5 = 100$ A pada rangkaian sekundernya dan batas akurasi pada rangkaiannya primernya adalah $100 \times (40/1) = 4000$ A.

Pada penelitian ini nilai arus pickup juga akan didapatkan pada *range* antara 1,25 – 1,5 x arus nominal. Maka nilai arus *pickup* terbesar yang mungkin adalah $(1,5 \times 249,6)/40 = 9,36$ A. Hal ini masih dalam batas *range* arus *pickup* untuk relay yang digunakan yaitu sebesar 0.5 – 10 A.

4.5. Hasil Optimasi *Setting Relay DOCR* Menggunakan Algoritma Genetik

Berikut merupakan hasil optimasi *setting relay DOCR* menggunakan algoritma genetik.

Tabel 4.4. Hasil optimasi *setting relay DOCR* menggunakan algoritma genetik

Nomor	Parameter	<i>Best function value</i>	Jumlah generasi
	Pop./Cross./Select.		
1	50/SP/RW	13.2137	728
2	50/SP/T	13.2223	95
3	50/SP/SU	13.2133	760
4	50/TP/RW	13.2063	566
5	50/TP/T	13.2078	98
6	50/TP/SU	13.2023	294
7	50/Sc/RW	13.1502	958
8	50/Sc/T	13.2241	99
9	50/Sc/SU	13.2076	616
10	100/SP/RW	13.2180	210
11	100/SP/T	13.1900	130
12	100/SP/SU	13.2106	305
13	100/TP/RW	13.2107	399
14	100/TP/T	13.2133	96
15	100/TP/SU	13.2095	553
16	100/Sc/RW	13.2051	583
17	100/Sc/T	13.2295	91
18	100/Sc/SU	13.1948	752
19	150/SP/RW	13.2119	778
20	150/SP/T	13.2269	80
21	150/SP/SU	13.2126	586
22	150/TP/RW	13.2099	401
23	150/TP/T	13.2249	79
24	150/TP/SU	13.2107	895
25	150/Sc/RW	13.1521	729
26	150/Sc/T	13.2158	164
27	150/Sc/SU	13.1677	1350
Rata-rata		13.2060	459.07

Dari tabel 4.4. dapat dilihat bahwa optimasi menggunakan metode algoritma genetik menghasilkan rata-rata nilai *function value* senilai 13,2060, dengan rata-rata jumlah generasi adalah sebesar 459,07.

Sedangkan untuk nilai *function value* terkecil yang didapatkan senilai 13,1502, yang didapatkan pada optimasi nomor 7 dengan kombinasi parameter berubah adalah, jumlah populasi 50, metode *crossover scattered* dan metode seleksi adalah *roulette wheel*.

Untuk nilai *function value* terbesar yang didapatkan adalah senilai 13,2295, yang didapatkan pada optimasi nomor 17 dengan kombinasi parameter berubah adalah jumlah populasi 100, metode *crossover scattered* dan metode seleksi adalah *tournament*.

Dari ke-27 optimasi menggunakan algoritma genetik tersebut, masing-masing menghasilkan nilai PS dan nilai TDS atau *time dial setting*, dimana nilai PS digunakan untuk mencari nilai arus *pickup*. Nilai arus *pickup* dan nilai TDS inilah yang merupakan *setting relay* yang akan diuji kembali dalam simulasi koordinasi DOCR. Sehingga keseluruhan terdapat 27 *setting relay* yang berbeda.

Berikutnya ke-27 *setting relay* tersebut akan dilakukan pengujian dalam bentuk simulasi koordinasi DOCR. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui respon koordinasi dari *setting relay* yang dihasilkan melalui optimasi dengan menggunakan metode algoritma genetik. Hal ini dilakukan untuk membuktikan apakah *setting relay* yang didapatkan melalui optimasi menggunakan algoritma genetik tersebut telah benar-benar memenuhi *coordination time interval* antara *primary relay* dan *backup relay*. Simulasi

juga dilakukan untuk mendapatkan waktu operasi (t) keseluruhan relay hasil simulasi. Simulasi koordinasi DOCR ini akan dilakukan pada mode *STAR protective device coordination* yang terdapat dalam program ETAP 7.5.

Agar lebih memudahkan dalam membedakan masing-masing *setting relay*, maka dalam melakukan simulasi koordinasi DOCR, ke-27 *setting relay* tersebut akan dilabeli atau diberi nama sesuai dengan nomor urut dalam *Setting Relay* menggunakan metode algoritma genetik seperti yang terdapat dalam tabel 4.4.

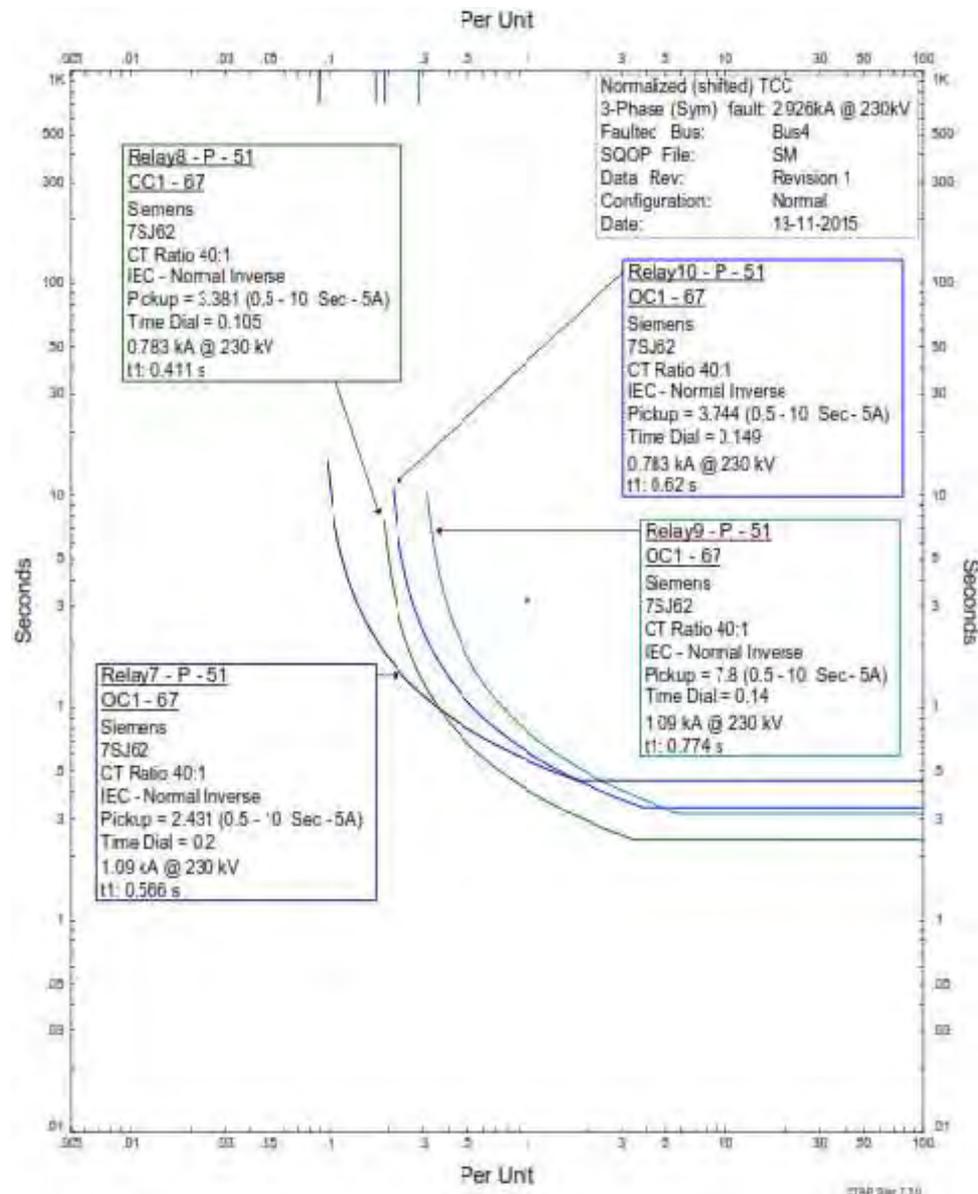
Sehingga *setting relay 1* adalah *setting relay* yang dihasilkan dari optimasi nomor 1, yaitu optimasi dengan kombinasi parameter berubah adalah, jumlah populasi 50, metode *crossover single point* dan metode seleksi adalah *roulette wheel*.

Setting Relay 2 adalah *setting relay* yang dihasilkan dari optimasi nomor 2, yaitu optimasi dengan kombinasi parameter berubah adalah, jumlah populasi 50, metode *crossover single point* dan metode seleksi adalah *tournament*.

Terakhir adalah *setting relay 27*, yaitu *setting relay* yang dihasilkan dari optimasi nomor 27, yaitu optimasi dengan kombinasi parameter berubah adalah, jumlah populasi 150, metode *crossover scattered* dan metode seleksi adalah *stochastic uniform*.

4.6. Hasil Simulasi Koordinasi DOCR Berbasis Algoritma Genetik

4.6.1. Fault Spot pada Bus 4



Gambar 4.10. Time current curve simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot* bus 4 dengan *setting relay 1*

Pada pemodelan yang digunakan dalam konfigurasi sistem proteksi yang digunakan dalam simulasi ini, seluruh relay yang digunakan adalah relay SIEMENS 7SJ62, dengan CT *ratio* 40:1 dan kurva yang digunakan adalah IEC *normal inverse*.

Dari gambar 4.10. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, pada relay 7 mengalir arus gangguan sebesar 1,09 kA, sedangkan pada relay 8 mengalir arus gangguan sebesar 0,783 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 7 dan relay 8.

Tabel 4.5. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 4*, untuk relay 7 dan relay 8

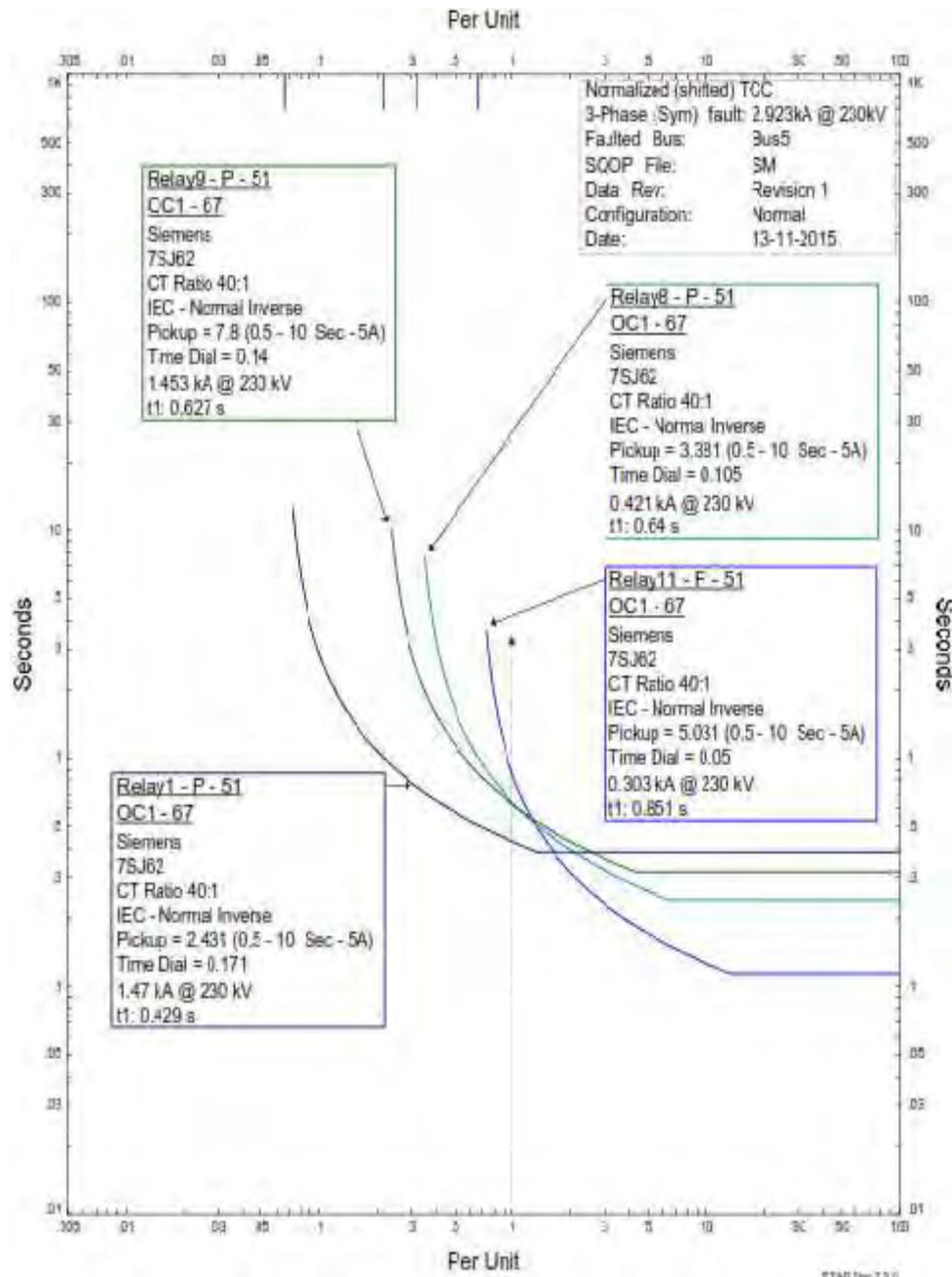
Setting Relay	Relay 7			Relay 8		
	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
Setting Relay 1	2.431	0.2	0.566	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 2	2.431	0.201	0.568	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 3	2.431	0.201	0.568	3.382	0.105	0.411
Setting Relay 4	2.431	0.201	0.568	3.384	0.104	0.408
Setting Relay 5	2.431	0.201	0.568	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 6	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 7	2.431	0.2	0.566	3.675	0.097	0.399
Setting Relay 8	2.431	0.201	0.568	3.382	0.105	0.411
Setting Relay 9	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 10	2.431	0.201	0.568	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 11	2.431	0.2	0.566	3.382	0.105	0.411
Setting Relay 12	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 13	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 14	2.431	0.2	0.566	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 15	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 16	2.432	0.2	0.566	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 17	2.431	0.201	0.568	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 18	2.431	0.2	0.565	3.452	0.103	0.408
Setting Relay 19	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 20	2.431	0.201	0.568	3.382	0.105	0.411
Setting Relay 21	2.431	0.201	0.568	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 22	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 23	2.431	0.201	0.568	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 24	2.431	0.2	0.565	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 25	2.431	0.198	0.56	3.381	0.105	0.411
Setting Relay 26	2.431	0.201	0.568	3.382	0.105	0.411
Setting Relay 27	2.431	0.199	0.563	3.401	0.104	0.409

Dari gambar 4.10. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, pada relay 9 mengalir arus gangguan sebesar 1,09 kA, sedangkan pada relay 10 mengalir arus gangguan sebesar 0,783 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 9 dan relay 10.

Tabel 4.6. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 4*, untuk relay 9 dan relay 10

Setting Relay	Relay 9			Relay 10		
	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
Setting Relay 1	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 2	7.801	0.14	0.774	3.78	0.148	0.62
Setting Relay 3	7.8	0.14	0.774	3.757	0.149	0.622
Setting Relay 4	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 5	7.801	0.14	0.774	3.745	0.149	0.62
Setting Relay 6	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 7	7.8	0.14	0.774	3.744	0.146	0.608
Setting Relay 8	7.955	0.138	0.775	3.75	0.149	0.621
Setting Relay 9	7.8	0.14	0.774	3.747	0.149	0.62
Setting Relay 10	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 11	8.053	0.136	0.772	3.781	0.148	0.62
Setting Relay 12	7.8	0.14	0.774	3.8	0.148	0.622
Setting Relay 13	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 14	7.801	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 15	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 16	7.8	0.14	0.774	3.784	0.148	0.62
Setting Relay 17	7.8	0.14	0.774	3.747	0.149	0.621
Setting Relay 18	7.8	0.14	0.774	3.744	0.148	0.616
Setting Relay 19	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 20	7.801	0.14	0.774	3.769	0.148	0.619
Setting Relay 21	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 22	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 23	7.8	0.141	0.779	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 24	7.8	0.14	0.774	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 25	7.8	0.139	0.768	3.744	0.149	0.62
Setting Relay 26	7.8	0.14	0.774	3.745	0.149	0.62
Setting Relay 27	7.8	0.14	0.774	3.796	0.147	0.617

4.6.2. Fault Spot pada Bus 5



Gambar 4.11. Time current curve simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot* bus 5 dengan *setting* relay 1

Pada pemodelan yang digunakan dalam konfigurasi sistem proteksi yang digunakan dalam simulasi ini, seluruh relay yang digunakan adalah relay SIEMENS 7SJ62, dengan CT *ratio* 40:1 dan kurva yang digunakan adalah IEC *normal inverse*.

Dari gambar 4.11. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 5, pada relay 1 mengalir arus gangguan sebesar 1,47 kA, sedangkan pada relay 8 mengalir arus gangguan sebesar 0,421 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 1 dan relay 8.

Tabel 4.7. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 5*, untuk relay 1 dan relay 8

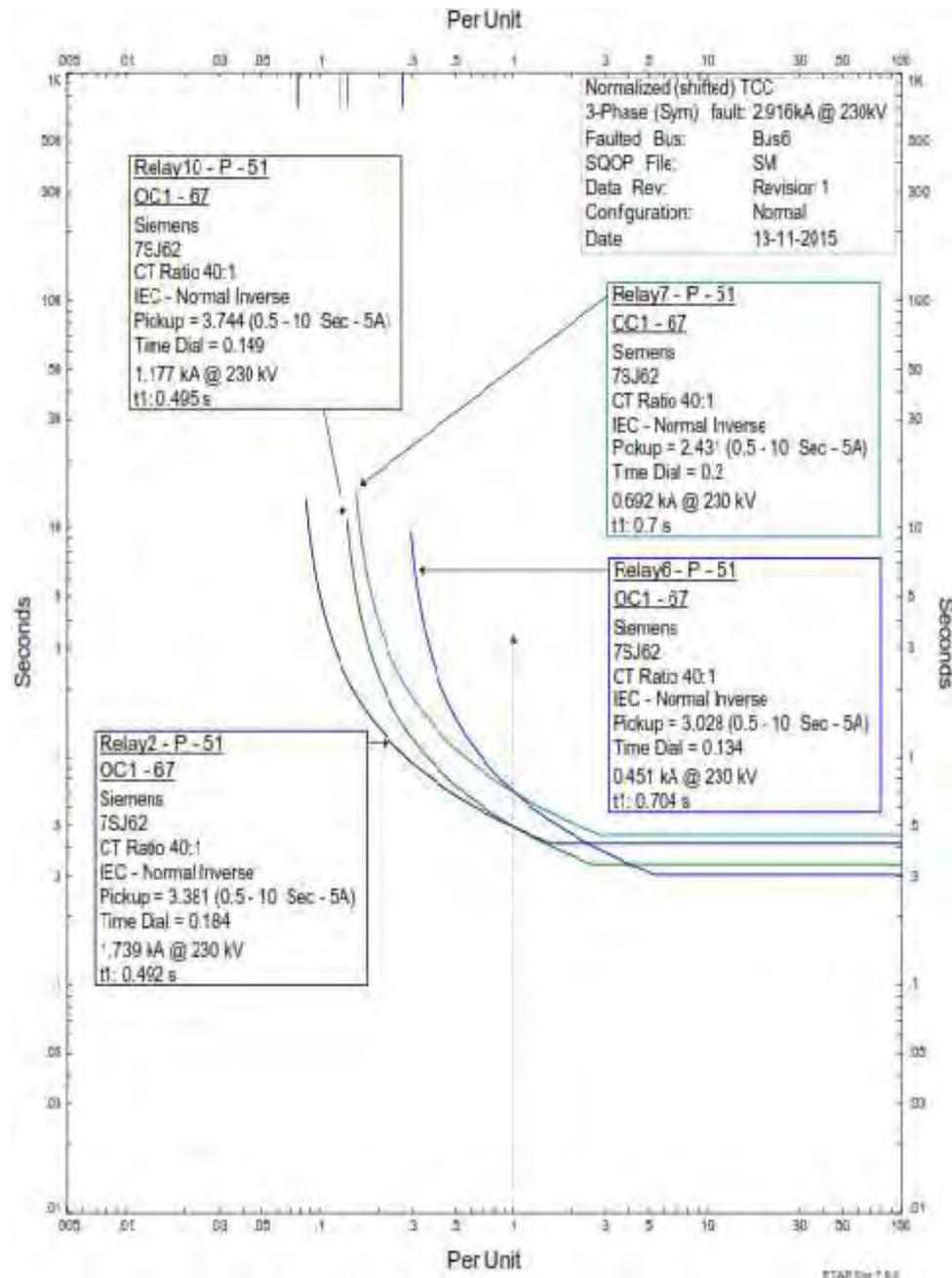
Setting Relay	Relay 1			Relay 8		
	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
Setting Relay 1	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 2	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 3	2.431	0.171	0.429	3.382	0.105	0.64
Setting Relay 4	2.594	0.167	0.429	3.384	0.104	0.634
Setting Relay 5	2.504	0.169	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 6	2.582	0.167	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 7	2.528	0.168	0.428	3.675	0.097	0.638
Setting Relay 8	2.431	0.171	0.429	3.382	0.105	0.64
Setting Relay 9	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 10	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 11	2.431	0.171	0.429	3.382	0.105	0.64
Setting Relay 12	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 13	2.439	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 14	2.433	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 15	2.509	0.169	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 16	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 17	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 18	2.431	0.171	0.429	3.452	0.103	0.639
Setting Relay 19	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 20	2.431	0.171	0.429	3.382	0.105	0.64
Setting Relay 21	2.435	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 22	2.478	0.17	0.43	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 23	2.442	0.171	0.43	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 24	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 25	2.431	0.171	0.429	3.381	0.105	0.64
Setting Relay 26	2.496	0.169	0.428	3.382	0.105	0.64
Setting Relay 27	2.431	0.171	0.429	3.401	0.104	0.637

Dari gambar 4.11. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 5, pada relay 9 mengalir arus gangguan sebesar 1,453 kA, sedangkan pada relay 11 mengalir arus gangguan sebesar 0,303 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 9 dan relay 11.

Tabel 4.8. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 5*, untuk relay 9 dan relay 11

<i>Setting Relay</i>	Relay 9			Relay 11		
	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
<i>Setting Relay 1</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 2</i>	7.801	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 3</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 4</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 5</i>	7.801	0.14	0.627	5.032	0.05	0.851
<i>Setting Relay 6</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 7</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 8</i>	7.955	0.138	0.626	5.032	0.05	0.851
<i>Setting Relay 9</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 10</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 11</i>	8.053	0.136	0.622	5.032	0.05	0.851
<i>Setting Relay 12</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 13</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 14</i>	7.801	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 15</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 16</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 17</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 18</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 19</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 20</i>	7.801	0.14	0.627	5.032	0.05	0.851
<i>Setting Relay 21</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 22</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 23</i>	7.8	0.141	0.632	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 24</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 25</i>	7.8	0.139	0.623	5.031	0.05	0.851
<i>Setting Relay 26</i>	7.8	0.14	0.627	5.032	0.05	0.851
<i>Setting Relay 27</i>	7.8	0.14	0.627	5.031	0.05	0.851

4.6.3. Fault Spot pada Bus 6



Gambar 4.12. Time current curve simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot* bus 6 dengan *setting* relay 1

Pada pemodelan yang digunakan dalam konfigurasi sistem proteksi yang digunakan dalam simulasi ini, seluruh relay yang digunakan adalah relay SIEMENS 7SJ62, dengan CT *ratio* 40:1 dan kurva yang digunakan adalah IEC *normal inverse*.

Dari gambar 4.12. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, pada relay 2 mengalir arus gangguan sebesar 1,739 kA, sedangkan pada relay 6 mengalir arus gangguan sebesar 0,451 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 2 dan relay 6.

Tabel 4.9. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 6*, untuk relay 2 dan relay 6

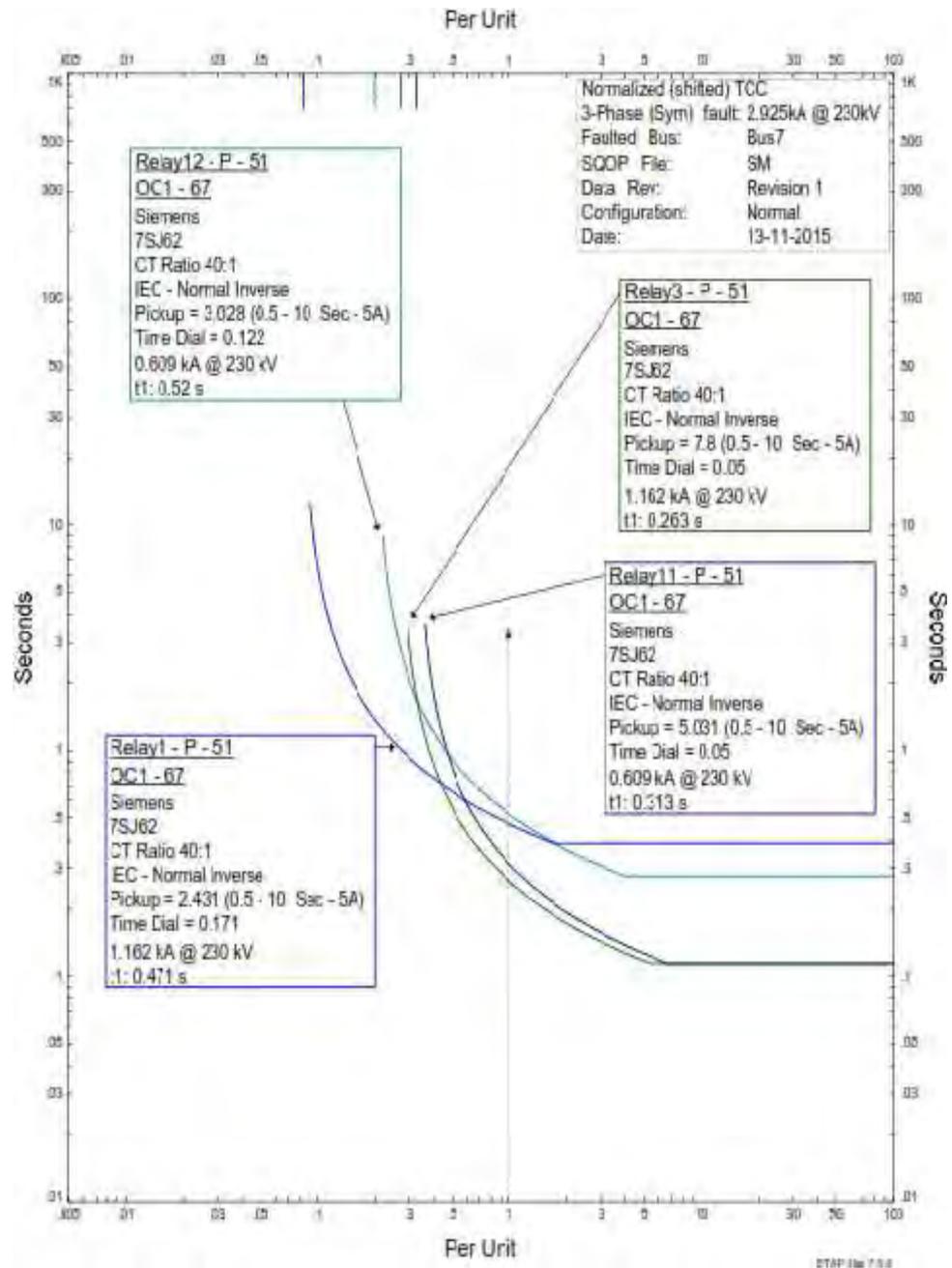
<i>Setting Relay</i>	Relay 2			Relay 6		
	<i>I Pickup</i> (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	<i>I Pickup</i> (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
<i>Setting Relay 1</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 2</i>	3.382	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 3</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 4</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 5</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 6</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 7</i>	3.381	0.184	0.492	3.031	0.132	0.694
<i>Setting Relay 8</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 9</i>	3.496	0.181	0.49	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 10</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 11</i>	3.381	0.183	0.489	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 12</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 13</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 14</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 15</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 16</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 17</i>	3.409	0.184	0.493	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 18</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 19</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 20</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 21</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 22</i>	3.382	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 23</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 24</i>	3.381	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 25</i>	3.381	0.181	0.484	3.057	0.133	0.704
<i>Setting Relay 26</i>	3.382	0.184	0.492	3.028	0.134	0.704
<i>Setting Relay 27</i>	3.381	0.182	0.486	3.093	0.132	0.705

Dari gambar 4.12. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, pada relay 7 mengalir arus gangguan sebesar 0,692 kA, sedangkan pada relay 10 mengalir arus gangguan sebesar 1,177 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 7 dan relay 10.

Tabel 4.10. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 6*, untuk relay 7 dan relay 10

Setting Relay	Relay 7			Relay 10		
	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
Setting Relay 1	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 2	2.431	0.201	0.703	3.78	0.148	0.494
Setting Relay 3	2.431	0.201	0.703	3.757	0.149	0.496
Setting Relay 4	2.431	0.201	0.703	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 5	2.431	0.201	0.703	3.745	0.149	0.496
Setting Relay 6	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 7	2.431	0.2	0.7	3.744	0.146	0.485
Setting Relay 8	2.431	0.201	0.703	3.75	0.149	0.496
Setting Relay 9	2.431	0.2	0.7	3.747	0.149	0.496
Setting Relay 10	2.431	0.201	0.703	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 11	2.431	0.2	0.7	3.781	0.148	0.495
Setting Relay 12	2.431	0.2	0.7	3.8	0.148	0.496
Setting Relay 13	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 14	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 15	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 16	2.432	0.2	0.7	3.784	0.148	0.495
Setting Relay 17	2.431	0.201	0.703	3.747	0.149	0.496
Setting Relay 18	2.431	0.2	0.7	3.744	0.148	0.492
Setting Relay 19	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 20	2.431	0.201	0.703	3.769	0.148	0.494
Setting Relay 21	2.431	0.201	0.703	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 22	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 23	2.431	0.201	0.703	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 24	2.431	0.2	0.7	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 25	2.431	0.198	0.693	3.744	0.149	0.495
Setting Relay 26	2.431	0.201	0.703	3.745	0.149	0.496
Setting Relay 27	2.431	0.199	0.696	3.796	0.147	0.492

4.6.4. Fault Spot pada Bus 7



Gambar 4.13. Time current curve simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot* bus 7 dengan *setting* relay 1

Pada pemodelan yang digunakan dalam konfigurasi sistem proteksi yang digunakan dalam simulasi ini, seluruh relay yang digunakan adalah relay SIEMENS 7SJ62, dengan CT *ratio* 40:1 dan kurva yang digunakan adalah IEC *normal inverse*.

Dari gambar 4.13. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, pada relay 1 dan relay 3 mengalir arus gangguan sebesar 1,162 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 1 dan relay 3.

Tabel 4.11. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 7*, untuk relay 1 dan relay 3

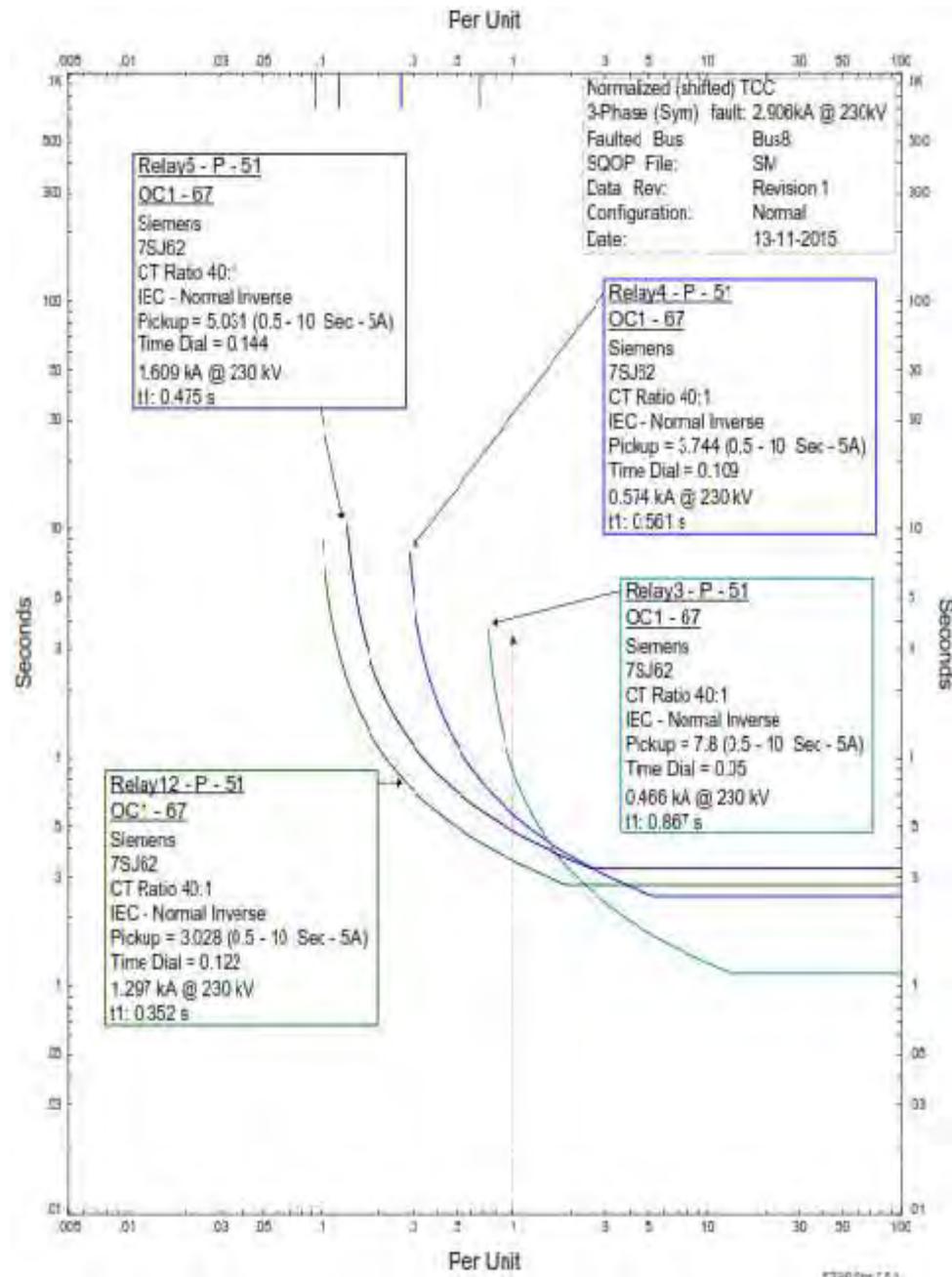
Setting Relay	Relay 1			Relay 3		
	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
Setting Relay 1	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 2	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 3	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 4	2.594	0.167	0.472	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 5	2.504	0.169	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 6	2.582	0.167	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 7	2.528	0.168	0.47	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 8	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 9	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 10	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 11	2.431	0.171	0.471	7.801	0.05	0.263
Setting Relay 12	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 13	2.439	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 14	2.433	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 15	2.509	0.169	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 16	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 17	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 18	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 19	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 20	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 21	2.435	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 22	2.478	0.17	0.472	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 23	2.442	0.171	0.472	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 24	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 25	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263
Setting Relay 26	2.496	0.169	0.47	7.801	0.05	0.263
Setting Relay 27	2.431	0.171	0.471	7.8	0.05	0.263

Dari gambar 4.13. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, pada relay 11 dan relay 12 mengalir arus gangguan sebesar 0.609 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 1 dan relay 3.

Tabel 4.12. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 7*, untuk relay 11 dan relay 12

<i>Setting Relay</i>	Relay 11			Relay 12		
	<i>I Pickup</i> (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	<i>I Pickup</i> (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
<i>Setting Relay 1</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 2</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 3</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 4</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 5</i>	5.032	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 6</i>	5.031	0.05	0.313	3.076	0.121	0.521
<i>Setting Relay 7</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 8</i>	5.032	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 9</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 10</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 11</i>	5.032	0.05	0.313	3.215	0.117	0.518
<i>Setting Relay 12</i>	5.031	0.05	0.313	3.029	0.122	0.52
<i>Setting Relay 13</i>	5.031	0.05	0.313	3.036	0.122	0.521
<i>Setting Relay 14</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 15</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 16</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 17</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 18</i>	5.031	0.05	0.313	3.048	0.122	0.522
<i>Setting Relay 19</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 20</i>	5.032	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 21</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 22</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 23</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 24</i>	5.031	0.05	0.313	3.033	0.122	0.521
<i>Setting Relay 25</i>	5.031	0.05	0.313	3.029	0.122	0.52
<i>Setting Relay 26</i>	5.032	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52
<i>Setting Relay 27</i>	5.031	0.05	0.313	3.028	0.122	0.52

4.6.5. Fault Spot pada Bus 8



Gambar 4.14. Time current curve simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot* bus 8 dengan *setting relay 1*

Pada pemodelan yang digunakan dalam konfigurasi sistem proteksi yang digunakan dalam simulasi ini, seluruh relay yang digunakan adalah relay SIEMENS 7SJ62, dengan CT *ratio* 40:1 dan kurva yang digunakan adalah IEC *normal inverse*.

Dari gambar 4.14. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, pada relay 3 mengalir arus gangguan sebesar 0,466 kA, sedangkan pada relay 4 mengalir arus gangguan sebesar 0,574 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 3 dan relay 4.

Tabel 4.13. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 8*, untuk relay 3 dan relay 4

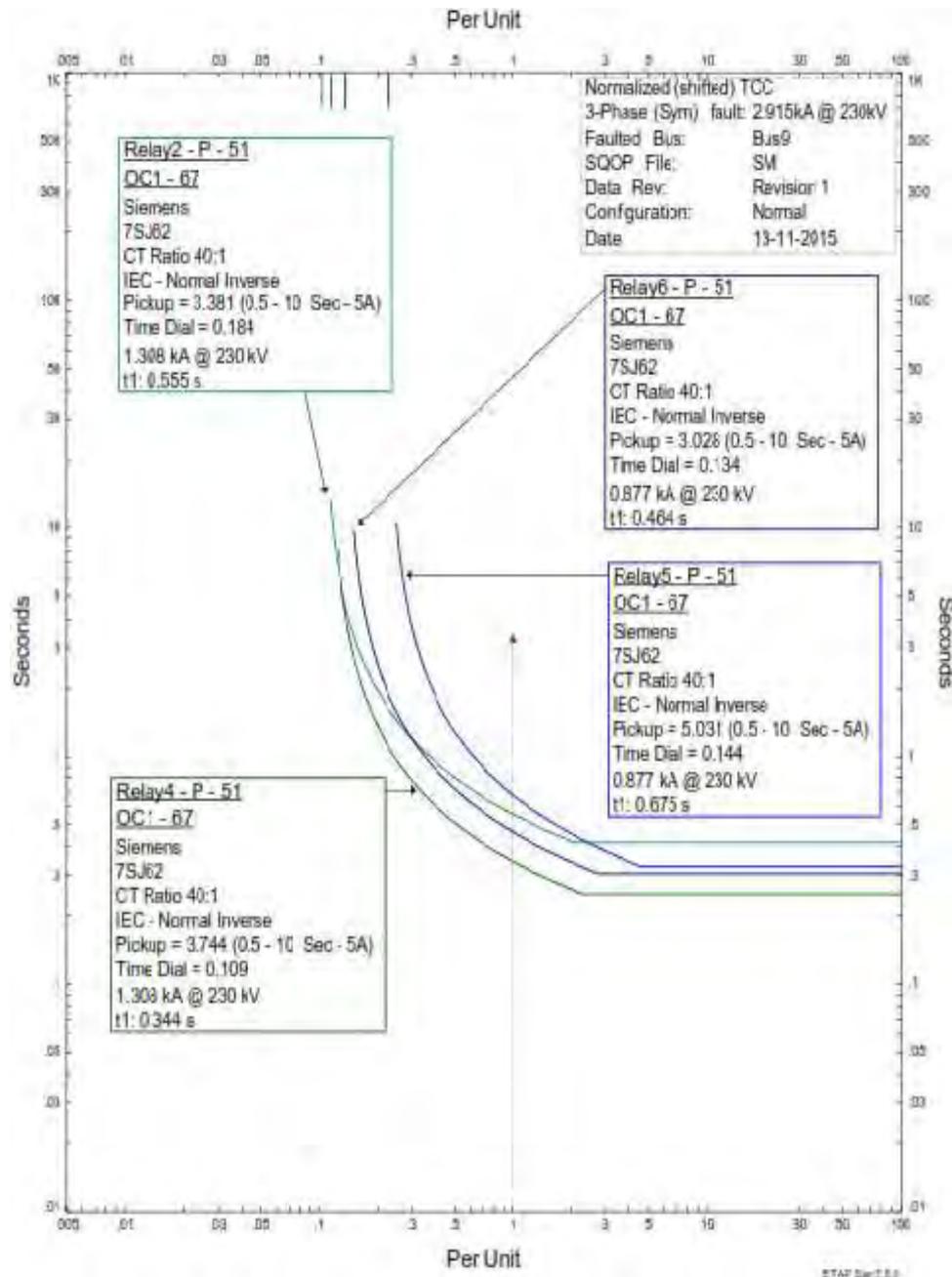
Setting Relay	Relay 3			Relay 4		
	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	I Pickup (A)	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
Setting Relay 1	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 2	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 3	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 4	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 5	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 6	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 7	7.8	0.05	0.867	3.753	0.109	0.562
Setting Relay 8	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 9	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 10	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 11	7.801	0.05	0.867	3.747	0.108	0.556
Setting Relay 12	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 13	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 14	7.8	0.05	0.867	3.759	0.109	0.562
Setting Relay 15	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 16	7.8	0.05	0.867	3.765	0.109	0.563
Setting Relay 17	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 18	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 19	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 20	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 21	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 22	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 23	7.8	0.05	0.867	3.746	0.109	0.561
Setting Relay 24	7.8	0.05	0.867	3.744	0.109	0.561
Setting Relay 25	7.8	0.05	0.867	4.111	0.101	0.559
Setting Relay 26	7.801	0.05	0.867	3.764	0.109	0.563
Setting Relay 27	7.8	0.05	0.867	3.937	0.105	0.561

Dari gambar 4.14. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, pada relay 5 mengalir arus gangguan sebesar 1,609 kA, sedangkan pada relay 12 mengalir arus gangguan sebesar 1,297 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 5 dan relay 12.

Tabel 4.14. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 8*, untuk relay 5 dan relay 12

<i>Setting Relay</i>	Relay 5			Relay 12		
	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
<i>Setting Relay 1</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 2</i>	5.032	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 3</i>	5.055	0.143	0.473	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 4</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 5</i>	5.59	0.133	0.462	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 6</i>	5.036	0.144	0.475	3.076	0.121	0.351
<i>Setting Relay 7</i>	5.031	0.143	0.472	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 8</i>	5.032	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 9</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 10</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 11</i>	5.032	0.144	0.475	3.215	0.117	0.346
<i>Setting Relay 12</i>	5.031	0.144	0.475	3.029	0.122	0.352
<i>Setting Relay 13</i>	5.031	0.144	0.475	3.036	0.122	0.352
<i>Setting Relay 14</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 15</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 16</i>	5.032	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 17</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 18</i>	5.031	0.144	0.475	3.048	0.122	0.353
<i>Setting Relay 19</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 20</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 21</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 22</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 23</i>	5.207	0.141	0.473	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 24</i>	5.031	0.144	0.475	3.033	0.122	0.352
<i>Setting Relay 25</i>	5.031	0.144	0.475	3.029	0.122	0.352
<i>Setting Relay 26</i>	5.031	0.144	0.475	3.028	0.122	0.352
<i>Setting Relay 27</i>	5.041	0.143	0.472	3.028	0.122	0.352

4.6.6. Fault Spot pada Bus 9



Gambar 4.15. Time current curve simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot* bus 9 dengan *setting relay 1*

Pada pemodelan yang digunakan dalam konfigurasi sistem proteksi yang digunakan dalam simulasi ini, seluruh relay yang digunakan adalah relay SIEMENS 7SJ62, dengan CT *ratio* 40:1 dan kurva yang digunakan adalah IEC *normal inverse*.

Dari gambar 4.15. dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, pada relay 2 dan relay 4 mengalir arus gangguan sebesar 1,308 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 2 dan relay 4.

Tabel 4.15. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 9*, untuk relay 2 dan relay 4

<i>Setting Relay</i>	Relay 2			Relay 4		
	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
<i>Setting Relay 1</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 2</i>	3.382	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 3</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 4</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 5</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 6</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 7</i>	3.381	0.184	0.555	3.753	0.109	0.345
<i>Setting Relay 8</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 9</i>	3.496	0.181	0.554	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 10</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 11</i>	3.381	0.183	0.552	3.747	0.108	0.341
<i>Setting Relay 12</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 13</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 14</i>	3.381	0.184	0.555	3.759	0.109	0.345
<i>Setting Relay 15</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 16</i>	3.381	0.184	0.555	3.765	0.109	0.345
<i>Setting Relay 17</i>	3.409	0.184	0.557	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 18</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 19</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 20</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 21</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 22</i>	3.382	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 23</i>	3.381	0.184	0.555	3.746	0.109	0.345
<i>Setting Relay 24</i>	3.381	0.184	0.555	3.744	0.109	0.344
<i>Setting Relay 25</i>	3.381	0.181	0.546	4.111	0.101	0.334
<i>Setting Relay 26</i>	3.382	0.184	0.555	3.764	0.109	0.345
<i>Setting Relay 27</i>	3.381	0.182	0.549	3.937	0.105	0.34

Dari gambar 4.15. juga dapat dilihat bahwa pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, pada relay 5 dan relay 6 mengalir arus gangguan sebesar 0,877 kA. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup*, TDS dan waktu operasi (t) untuk relay 5 dan relay 6.

Tabel 4.16. Hasil simulasi koordinasi DOCR pada *fault spot bus 9*, untuk relay 5 dan relay 6

<i>Setting Relay</i>	Relay 5			Relay 6		
	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)	<i>I Pickup (A)</i>	TDS (s)	Waktu Operasi (s)
<i>Setting Relay 1</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 2</i>	5.032	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 3</i>	5.055	0.143	0.672	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 4</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 5</i>	5.59	0.133	0.672	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 6</i>	5.036	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 7</i>	5.031	0.143	0.67	3.031	0.132	0.458
<i>Setting Relay 8</i>	5.032	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 9</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 10</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 11</i>	5.032	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 12</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 13</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 14</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 15</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 16</i>	5.032	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 17</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 18</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 19</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 20</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 21</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 22</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 23</i>	5.207	0.141	0.677	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 24</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 25</i>	5.031	0.144	0.675	3.057	0.133	0.463
<i>Setting Relay 26</i>	5.031	0.144	0.675	3.028	0.134	0.464
<i>Setting Relay 27</i>	5.041	0.143	0.671	3.093	0.132	0.463

4.7. Analisis Hasil Simulasi Koordinasi DOCR Berbasis Algoritma Genetik

4.7.1. *Fault Spot* pada Bus 4

Berikut merupakan waktu operasi (t) masing-masing relay yang bekerja pada kasus *fault spot bus 4*, hasil simulasi koordinasi DOCR menggunakan *setting relay* 1 sampai dengan *setting relay* 27, sebagaimana yang terdapat dalam rekapitulasi hasil simulasi koordinasi DOCR pada tabel 4.5. dan tabel 4.6., yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Pada relay 7, mengalir arus beban maksimum sebesar 77,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, pada relay 7 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 1090 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 7 pada kasus *fault spot bus 4*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.17. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 7 pada *fault spot bus 4* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 25</i>	0.56	15	<i>Setting Relay 14</i>	0.566
2	<i>Setting Relay 27</i>	0.563	16	<i>Setting Relay 1</i>	0.566
3	<i>Setting Relay 18</i>	0.565	17	<i>Setting Relay 4</i>	0.568
4	<i>Setting Relay 6</i>	0.565	18	<i>Setting Relay 5</i>	0.568
5	<i>Setting Relay 9</i>	0.565	19	<i>Setting Relay 21</i>	0.568
6	<i>Setting Relay 15</i>	0.565	20	<i>Setting Relay 3</i>	0.568
7	<i>Setting Relay 22</i>	0.565	21	<i>Setting Relay 26</i>	0.568
8	<i>Setting Relay 12</i>	0.565	22	<i>Setting Relay 10</i>	0.568
9	<i>Setting Relay 13</i>	0.565	23	<i>Setting Relay 2</i>	0.568
10	<i>Setting Relay 24</i>	0.565	24	<i>Setting Relay 8</i>	0.568
11	<i>Setting Relay 19</i>	0.565	25	<i>Setting Relay 23</i>	0.568
12	<i>Setting Relay 7</i>	0.566	26	<i>Setting Relay 20</i>	0.568
13	<i>Setting Relay 11</i>	0.566	27	<i>Setting Relay 17</i>	0.568
14	<i>Setting Relay 16</i>	0.566	Rata-rata		0.56615

Dari tabel 4.17. dapat dilihat bahwa pada relay 7, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,56615 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 25, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,43125 A dan nilai TDS sebesar 0,198 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,56 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 7 adalah sebesar 0,568 s, dimana terdapat 11 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,568 s. Diantara 11 *setting relay* tersebut, *setting relay* 17 merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,43125 A dan nilai TDS sebesar 0,201 s.

Sehingga untuk relay 7 pada kasus *fault spot bus* 4, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,008 s.

Pada relay 9, mengalir arus beban maksimum sebesar 249,6 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, pada relay 9 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 1090 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 9 pada kasus *fault spot bus* 4, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.18. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 9 pada *fault spot bus 4* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 25</i>	0.768	15	<i>Setting Relay 24</i>	0.774
2	<i>Setting Relay 11</i>	0.772	16	<i>Setting Relay 19</i>	0.774
3	<i>Setting Relay 7</i>	0.774	17	<i>Setting Relay 21</i>	0.774
4	<i>Setting Relay 27</i>	0.774	18	<i>Setting Relay 14</i>	0.774
5	<i>Setting Relay 18</i>	0.774	19	<i>Setting Relay 3</i>	0.774
6	<i>Setting Relay 6</i>	0.774	20	<i>Setting Relay 1</i>	0.774
7	<i>Setting Relay 16</i>	0.774	21	<i>Setting Relay 26</i>	0.774
8	<i>Setting Relay 4</i>	0.774	22	<i>Setting Relay 10</i>	0.774
9	<i>Setting Relay 9</i>	0.774	23	<i>Setting Relay 2</i>	0.774
10	<i>Setting Relay 5</i>	0.774	24	<i>Setting Relay 20</i>	0.774
11	<i>Setting Relay 15</i>	0.774	25	<i>Setting Relay 17</i>	0.774
12	<i>Setting Relay 22</i>	0.774	26	<i>Setting Relay 8</i>	0.775
13	<i>Setting Relay 12</i>	0.774	27	<i>Setting Relay 23</i>	0.779
14	<i>Setting Relay 13</i>	0.774	Rata-rata		0.77393

Dari tabel 4.18. dapat dilihat bahwa pada relay 9, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,77393 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 25*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 7,80021 A dan nilai TDS sebesar 0,139 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,768 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 9 adalah *setting relay 23*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 7,80042 A dan nilai TDS sebesar 0,141 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,779 s.

Sehingga untuk relay 9 pada kasus *fault spot bus 4*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,011 s.

Pada relay 8, mengalir arus beban maksimum sebesar 161 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, pada relay 8 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 783 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 8 pada kasus *fault spot bus 4*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.19. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 8 pada *fault spot bus 4* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No .	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 7	0.399	15	Setting Relay 24	0.411
2	Setting Relay 4	0.408	16	Setting Relay 19	0.411
3	Setting Relay 18	0.408	17	Setting Relay 21	0.411
4	Setting Relay 27	0.409	18	Setting Relay 14	0.411
5	Setting Relay 25	0.411	19	Setting Relay 3	0.411
6	Setting Relay 11	0.411	20	Setting Relay 1	0.411
7	Setting Relay 6	0.411	21	Setting Relay 26	0.411
8	Setting Relay 16	0.411	22	Setting Relay 10	0.411
9	Setting Relay 9	0.411	23	Setting Relay 2	0.411
10	Setting Relay 5	0.411	24	Setting Relay 8	0.411
11	Setting Relay 15	0.411	25	Setting Relay 23	0.411
12	Setting Relay 22	0.411	26	Setting Relay 20	0.411
13	Setting Relay 12	0.411	27	Setting Relay 17	0.411
14	Setting Relay 13	0.411	Rata-rata		0.41026

Dari tabel 4.19. dapat dilihat bahwa pada relay 8, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* untuk adalah sebesar 0,41026 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 7*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,6755 A dan nilai TDS sebesar 0,097 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,399 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 8 adalah sebesar 0,411 s, dimana terdapat 23 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,411 s.

Diantara 23 *setting relay* tersebut, *setting relay* 17 merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,38125 A dan nilai TDS sebesar 0,105 s.

Sehingga untuk relay 8 pada kasus *fault spot bus* 4, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,012 s.

Pada relay 10, mengalir arus beban maksimum sebesar 119,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, pada relay 10 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 783 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 10 pada kasus *fault spot bus* 4, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.20. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 10 pada *fault spot bus* 4 berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay</i> 7	0.608	15	<i>Setting Relay</i> 24	0.62
2	<i>Setting Relay</i> 18	0.616	16	<i>Setting Relay</i> 19	0.62
3	<i>Setting Relay</i> 27	0.617	17	<i>Setting Relay</i> 21	0.62
4	<i>Setting Relay</i> 20	0.619	18	<i>Setting Relay</i> 14	0.62
5	<i>Setting Relay</i> 25	0.62	19	<i>Setting Relay</i> 1	0.62
6	<i>Setting Relay</i> 11	0.62	20	<i>Setting Relay</i> 26	0.62
7	<i>Setting Relay</i> 6	0.62	21	<i>Setting Relay</i> 10	0.62
8	<i>Setting Relay</i> 16	0.62	22	<i>Setting Relay</i> 2	0.62
9	<i>Setting Relay</i> 4	0.62	23	<i>Setting Relay</i> 23	0.62
10	<i>Setting Relay</i> 9	0.62	24	<i>Setting Relay</i> 8	0.621
11	<i>Setting Relay</i> 5	0.62	25	<i>Setting Relay</i> 17	0.621
12	<i>Setting Relay</i> 15	0.62	26	<i>Setting Relay</i> 12	0.622
13	<i>Setting Relay</i> 22	0.62	27	<i>Setting Relay</i> 3	0.622
14	<i>Setting Relay</i> 13	0.62		Rata-rata	0.61948

Dari tabel 4.20. dapat dilihat bahwa pada relay 10, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,61948 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 7, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,74375 A dan nilai TDS sebesar 0,146 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,608 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 10 adalah sebesar 0,622 s, dimana terdapat 2 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,622 s. Diantara 2 *setting relay* tersebut, *setting relay* 3 memiliki nilai *function value* yang lebih besar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,75726 A dan nilai TDS sebesar 0,149 s.

Sehingga untuk relay 10 pada kasus *fault spot bus* 4, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,014 s.

Pada kasus *fault spot bus* 4, relay 7 dan relay 8 berfungsi sebagai *primary relay*, sedangkan relay 9 dan relay 10 berfungsi sebagai *backup relay*. Berikut merupakan rekapitulasi selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada kasus *fault spot bus* 4.

Tabel 4.21. Selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada *fault spot bus 4*

<i>Setting Relay</i>	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih
	Relay 7	Relay 9		Relay 8	Relay 10	
<i>Setting Relay 1</i>	0.566	0.774	0.208	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 2</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 3</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.622	0.211
<i>Setting Relay 4</i>	0.568	0.774	0.206	0.408	0.62	0.212
<i>Setting Relay 5</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 6</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 7</i>	0.566	0.774	0.208	0.399	0.608	0.209
<i>Setting Relay 8</i>	0.568	0.775	0.207	0.411	0.621	0.21
<i>Setting Relay 9</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 10</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 11</i>	0.566	0.772	0.206	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 12</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.622	0.211
<i>Setting Relay 13</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 14</i>	0.566	0.774	0.208	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 15</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 16</i>	0.566	0.774	0.208	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 17</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.621	0.21
<i>Setting Relay 18</i>	0.565	0.774	0.209	0.408	0.616	0.208
<i>Setting Relay 19</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 20</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.619	0.208
<i>Setting Relay 21</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 22</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 23</i>	0.568	0.779	0.211	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 24</i>	0.565	0.774	0.209	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 25</i>	0.56	0.768	0.208	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 26</i>	0.568	0.774	0.206	0.411	0.62	0.209
<i>Setting Relay 27</i>	0.563	0.774	0.211	0.409	0.617	0.208

Dari tabel 4.21. dapat dilihat bahwa keseluruhan *setting relay* mampu menghasilkan selisih waktu operasi (t) antara relay 7 sebagai *primary relay* dan relay 9 sebagai *backup relay* dan juga selisih waktu operasi (t) antara relay 8 sebagai *primary relay* dan relay 10 sebagai *backup relay*, seluruhnya di atas 0,2 s.

Hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan *setting relay* dapat menjalankan fungsinya dengan sangat baik pada kasus *fault spot bus 4* ini, seluruh *setting relay* mampu memenuhi *coordination time interval* (CTI) antara *primary relay* dengan *backup relay*, dengan CTI yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,2 s.

Rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 7 dengan relay 9 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,20778 s. Sedangkan rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 8 dengan relay 10 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,20922 s.

4.7.2. Fault Spot pada Bus 5

Berikut merupakan waktu operasi (t) masing-masing relay yang bekerja pada kasus *fault spot bus 5*, hasil simulasi koordinasi DOCR menggunakan *setting relay* 1 sampai dengan *setting relay* 27, sebagaimana yang terdapat dalam rekapitulasi hasil simulasi koordinasi DOCR pada tabel 4.7. dan tabel 4.8., yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Pada relay 1, mengalir arus beban maksimum sebesar 77,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 5, pada relay 1 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1470 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 1 pada kasus *fault spot bus 5*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.22. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 1 pada *fault spot bus 5* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 7</i>	0.428	15	<i>Setting Relay 24</i>	0.429
2	<i>Setting Relay 26</i>	0.428	16	<i>Setting Relay 19</i>	0.429
3	<i>Setting Relay 25</i>	0.429	17	<i>Setting Relay 21</i>	0.429
4	<i>Setting Relay 27</i>	0.429	18	<i>Setting Relay 14</i>	0.429
5	<i>Setting Relay 11</i>	0.429	19	<i>Setting Relay 3</i>	0.429
6	<i>Setting Relay 18</i>	0.429	20	<i>Setting Relay 1</i>	0.429
7	<i>Setting Relay 6</i>	0.429	21	<i>Setting Relay 10</i>	0.429
8	<i>Setting Relay 16</i>	0.429	22	<i>Setting Relay 2</i>	0.429
9	<i>Setting Relay 4</i>	0.429	23	<i>Setting Relay 8</i>	0.429
10	<i>Setting Relay 9</i>	0.429	24	<i>Setting Relay 20</i>	0.429
11	<i>Setting Relay 5</i>	0.429	25	<i>Setting Relay 17</i>	0.429
12	<i>Setting Relay 15</i>	0.429	26	<i>Setting Relay 22</i>	0.43
13	<i>Setting Relay 12</i>	0.429	27	<i>Setting Relay 23</i>	0.43
14	<i>Setting Relay 13</i>	0.429	Rata-rata		0.429

Dari tabel 4.22. dapat dilihat bahwa pada relay 1, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,429 s. Dan untuk waktu operasi (t) tercepat adalah sebesar 0,428 s, dimana terdapat 2 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,428 s. Diantara 2 *setting relay* tersebut, *setting relay 7* memiliki nilai *function value* yang lebih kecil, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,52836 A dan nilai TDS sebesar 0,168 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 1 adalah sebesar 0,43 s, dimana juga terdapat 2 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,43 s. Diantara 2 *setting relay* tersebut, *setting relay 23* memiliki nilai *function value* yang lebih besar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,44173 A dan nilai TDS sebesar 0,171 s.

Sehingga untuk relay 1 pada kasus *fault spot bus 5*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,002 s.

Pada relay 8, mengalir arus beban maksimum sebesar 161 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 5, pada relay 8 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 421 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 8 pada kasus *fault spot bus 5*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.23. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 8 pada *fault spot bus 5* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 4</i>	0.634	15	<i>Setting Relay 24</i>	0.64
2	<i>Setting Relay 27</i>	0.637	16	<i>Setting Relay 19</i>	0.64
3	<i>Setting Relay 7</i>	0.638	17	<i>Setting Relay 21</i>	0.64
4	<i>Setting Relay 18</i>	0.639	18	<i>Setting Relay 14</i>	0.64
5	<i>Setting Relay 25</i>	0.64	19	<i>Setting Relay 3</i>	0.64
6	<i>Setting Relay 11</i>	0.64	20	<i>Setting Relay 1</i>	0.64
7	<i>Setting Relay 6</i>	0.64	21	<i>Setting Relay 26</i>	0.64
8	<i>Setting Relay 16</i>	0.64	22	<i>Setting Relay 10</i>	0.64
9	<i>Setting Relay 9</i>	0.64	23	<i>Setting Relay 2</i>	0.64
10	<i>Setting Relay 5</i>	0.64	24	<i>Setting Relay 8</i>	0.64
11	<i>Setting Relay 15</i>	0.64	25	<i>Setting Relay 23</i>	0.64
12	<i>Setting Relay 22</i>	0.64	26	<i>Setting Relay 20</i>	0.64
13	<i>Setting Relay 12</i>	0.64	27	<i>Setting Relay 17</i>	0.64
14	<i>Setting Relay 13</i>	0.64	Rata-rata		0.63956

Dari tabel 4.23. dapat dilihat bahwa pada relay 8, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,63956 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 4, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,38358 A dan nilai TDS sebesar 0,104 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,634 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 8 adalah sebesar 0,64 s, dimana terdapat 23 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,64 s. Diantara 23 *setting relay* tersebut, *setting relay* 17 merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,38125 A dan nilai TDS sebesar 0,105 s.

Sehingga untuk relay 8 pada kasus *fault spot bus 5*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,006 s.

Pada relay 9, mengalir arus beban maksimum sebesar 249,6 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 5, pada relay 9 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 1453 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 9 pada kasus *fault spot bus 5*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.24. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 9 pada *fault spot bus 5* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 11	0.622	15	Setting Relay 13	0.627
2	Setting Relay 25	0.623	16	Setting Relay 24	0.627
3	Setting Relay 8	0.626	17	Setting Relay 19	0.627
4	Setting Relay 7	0.627	18	Setting Relay 21	0.627
5	Setting Relay 27	0.627	19	Setting Relay 14	0.627
6	Setting Relay 18	0.627	20	Setting Relay 3	0.627
7	Setting Relay 6	0.627	21	Setting Relay 1	0.627
8	Setting Relay 16	0.627	22	Setting Relay 26	0.627
9	Setting Relay 4	0.627	23	Setting Relay 10	0.627
10	Setting Relay 9	0.627	24	Setting Relay 2	0.627
11	Setting Relay 5	0.627	25	Setting Relay 20	0.627
12	Setting Relay 15	0.627	26	Setting Relay 17	0.627
13	Setting Relay 22	0.627	27	Setting Relay 23	0.632
14	Setting Relay 12	0.627	Rata-rata		0.62681

Dari tabel 4.24. dapat dilihat bahwa pada relay 9, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,62681 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 11, dengan nilai arus *pickup* sebesar 8,05295 A dan nilai TDS sebesar 0,136 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,622 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 9 adalah *setting relay* 23, dengan nilai arus *pickup* sebesar 7,80042 A dan nilai TDS sebesar 0,141 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,632 s.

Sehingga untuk relay 9 pada kasus *fault spot bus 5*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,01 s.

Pada relay 11, mengalir arus beban maksimum sebesar 161 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 4, pada relay 7 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 303 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 11 pada kasus *fault spot bus 5*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.25. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 11 pada *fault spot bus 5* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No .	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 7	0.851	15	Setting Relay 24	0.851
2	Setting Relay 25	0.851	16	Setting Relay 19	0.851
3	Setting Relay 27	0.851	17	Setting Relay 21	0.851
4	Setting Relay 11	0.851	18	Setting Relay 14	0.851
5	Setting Relay 18	0.851	19	Setting Relay 3	0.851
6	Setting Relay 6	0.851	20	Setting Relay 1	0.851
7	Setting Relay 16	0.851	21	Setting Relay 26	0.851
8	Setting Relay 4	0.851	22	Setting Relay 10	0.851
9	Setting Relay 9	0.851	23	Setting Relay 2	0.851
10	Setting Relay 5	0.851	24	Setting Relay 8	0.851
11	Setting Relay 15	0.851	25	Setting Relay 23	0.851
12	Setting Relay 22	0.851	26	Setting Relay 20	0.851
13	Setting Relay 12	0.851	27	Setting Relay 17	0.851
14	Setting Relay 13	0.851	Rata-rata		0.851

Dari tabel 4.25. dapat dilihat bahwa pada relay 11, seluruh *setting relay* menghasilkan nilai yang sama, yaitu sebesar 0,851 s. Dimana *setting relay 7* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terkecil, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,03125 A dan nilai TDS sebesar 0,05 s. Sedangkan *setting relay 17* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,03126 A dan nilai TDS sebesar 0,05 s.

Sehingga untuk relay 11 pada kasus *fault spot bus 5*, waktu operasi (t) sebesar 0,851 s dianggap sebagai waktu operasi (t) tercepat yang dapat dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik.

Pada kasus *fault spot bus 5*, relay 1 dan relay 9 berfungsi sebagai *primary relay*, sedangkan relay 8 dan relay 11 berfungsi sebagai *backup relay*. Berikut merupakan rekapitulasi selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada kasus *fault spot bus 5*.

Tabel 4.26. Selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada *fault spot bus 5*

<i>Setting Relay</i>	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih
	Relay 1	Relay 8		Relay 9	Relay 11	
<i>Setting Relay 1</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 2</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 3</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 4</i>	0.429	0.634	0.205	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 5</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 6</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 7</i>	0.428	0.638	0.21	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 8</i>	0.429	0.64	0.211	0.626	0.851	0.225
<i>Setting Relay 9</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 10</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 11</i>	0.429	0.64	0.211	0.622	0.851	0.229
<i>Setting Relay 12</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 13</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 14</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 15</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 16</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 17</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 18</i>	0.429	0.639	0.21	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 19</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 20</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 21</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 22</i>	0.43	0.64	0.21	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 23</i>	0.43	0.64	0.21	0.632	0.851	0.219
<i>Setting Relay 24</i>	0.429	0.64	0.211	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 25</i>	0.429	0.64	0.211	0.623	0.851	0.228
<i>Setting Relay 26</i>	0.428	0.64	0.212	0.627	0.851	0.224
<i>Setting Relay 27</i>	0.429	0.637	0.208	0.627	0.851	0.224

Dari tabel 4.26. dapat dilihat bahwa keseluruhan *setting relay* mampu menghasilkan selisih waktu operasi (t) antara relay 1 sebagai *primary relay* dan relay 8 sebagai *backup relay* dan juga selisih waktu operasi (t) antara relay 9 sebagai *primary relay* dan relay 11 sebagai *backup relay*, seluruhnya di atas 0,2 s.

Hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan *setting relay* dapat menjalankan fungsinya dengan sangat baik pada kasus *fault spot bus 5* ini, seluruh *setting relay* mampu memenuhi *coordination time interval (CTI)* antara *primary relay* dengan *backup relay*, dengan CTI yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,2 s.

Rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 1 dengan relay 8 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,21056 s. Sedangkan rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 9 dengan relay 11 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0.22419 s.

4.7.3. Fault Spot pada Bus 6

Berikut merupakan waktu operasi (t) masing-masing relay yang bekerja pada kasus *fault spot bus 6*, hasil simulasi koordinasi DOCR menggunakan *setting relay* 1 sampai dengan *setting relay 27*, sebagaimana yang terdapat dalam rekapitulasi hasil simulasi koordinasi DOCR pada tabel 4.9. dan tabel 4.10., yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Pada relay 2, mengalir arus beban maksimum sebesar 108,2 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, pada relay 2 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1739 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 2 pada kasus *fault spot bus 6*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.27. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 2 pada *fault spot bus 6* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No .	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 25	0.484	15	Setting Relay 24	0.492
2	Setting Relay 27	0.486	16	Setting Relay 19	0.492
3	Setting Relay 11	0.489	17	Setting Relay 21	0.492
4	Setting Relay 9	0.49	18	Setting Relay 14	0.492
5	Setting Relay 7	0.492	19	Setting Relay 3	0.492
6	Setting Relay 18	0.492	20	Setting Relay 1	0.492
7	Setting Relay 6	0.492	21	Setting Relay 26	0.492
8	Setting Relay 16	0.492	22	Setting Relay 10	0.492
9	Setting Relay 4	0.492	23	Setting Relay 2	0.492
10	Setting Relay 5	0.492	24	Setting Relay 8	0.492
11	Setting Relay 15	0.492	25	Setting Relay 23	0.492
12	Setting Relay 22	0.492	26	Setting Relay 20	0.492
13	Setting Relay 12	0.492	27	Setting Relay 17	0.493
14	Setting Relay 13	0.492	Rata-rata		0.49133

Dari tabel 4.27. dapat dilihat bahwa pada relay 2, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,49133 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 25*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,38128 A dan nilai TDS sebesar 0,181 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,484 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 2 adalah *setting relay 17*, dengan nilai arus *pickup*

sebesar 3,40912 A dan nilai TDS sebesar 0,184 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,493 s.

Sehingga untuk relay 2 pada kasus *fault spot bus 6*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,009 s.

Pada relay 7, mengalir arus beban maksimum sebesar 77,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, pada relay 7 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 692 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 7 pada kasus *fault spot bus 6*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.28. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 7 pada *fault spot bus 6* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No .	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 25</i>	0.693	15	<i>Setting Relay 14</i>	0.7
2	<i>Setting Relay 27</i>	0.696	16	<i>Setting Relay 1</i>	0.7
3	<i>Setting Relay 7</i>	0.7	17	<i>Setting Relay 4</i>	0.703
4	<i>Setting Relay 11</i>	0.7	18	<i>Setting Relay 5</i>	0.703
5	<i>Setting Relay 18</i>	0.7	19	<i>Setting Relay 21</i>	0.703
6	<i>Setting Relay 6</i>	0.7	20	<i>Setting Relay 3</i>	0.703
7	<i>Setting Relay 16</i>	0.7	21	<i>Setting Relay 26</i>	0.703
8	<i>Setting Relay 9</i>	0.7	22	<i>Setting Relay 10</i>	0.703
9	<i>Setting Relay 15</i>	0.7	23	<i>Setting Relay 2</i>	0.703
10	<i>Setting Relay 22</i>	0.7	24	<i>Setting Relay 8</i>	0.703
11	<i>Setting Relay 12</i>	0.7	25	<i>Setting Relay 23</i>	0.703
12	<i>Setting Relay 13</i>	0.7	26	<i>Setting Relay 20</i>	0.703
13	<i>Setting Relay 24</i>	0.7	27	<i>Setting Relay 17</i>	0.703
14	<i>Setting Relay 19</i>	0.7	Rata-rata		0.70081

Dari tabel 4.28. dapat dilihat bahwa pada relay 7, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,70081 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 25, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,43125 A dan nilai TDS sebesar 0,198 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,693 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 7 adalah sebesar 0,703 s, dimana terdapat 11 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,703 s. Diantara 11 *setting relay* tersebut, *setting relay* 17 merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,43125 A dan nilai TDS sebesar 0,201 s.

Sehingga untuk relay 7 pada kasus *fault spot bus* 6, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,01 s.

Pada relay 10, mengalir arus beban maksimum sebesar 119,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, pada relay 10 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 1177 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 10 pada kasus *fault spot bus* 6, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.29. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 10 pada *fault spot bus 6* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 7	0.485	15	Setting Relay 19	0.495
2	Setting Relay 27	0.492	16	Setting Relay 21	0.495
3	Setting Relay 18	0.492	17	Setting Relay 14	0.495
4	Setting Relay 2	0.494	18	Setting Relay 1	0.495
5	Setting Relay 20	0.494	19	Setting Relay 10	0.495
6	Setting Relay 25	0.495	20	Setting Relay 23	0.495
7	Setting Relay 11	0.495	21	Setting Relay 9	0.496
8	Setting Relay 6	0.495	22	Setting Relay 5	0.496
9	Setting Relay 16	0.495	23	Setting Relay 12	0.496
10	Setting Relay 4	0.495	24	Setting Relay 3	0.496
11	Setting Relay 15	0.495	25	Setting Relay 26	0.496
12	Setting Relay 22	0.495	26	Setting Relay 8	0.496
13	Setting Relay 13	0.495	27	Setting Relay 17	0.496
14	Setting Relay 24	0.495		Rata-rata	0.49459

Dari tabel 4.29. dapat dilihat bahwa pada relay 10, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,49459 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 7*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,74375 A dan nilai TDS sebesar 0,146 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,485 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 10 adalah sebesar 0,496 s, dimana terdapat 7 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,496 s. Diantara 7 *setting relay* tersebut, *setting relay 17* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,74703 A dan nilai TDS sebesar 0,149 s.

Sehingga untuk relay 10 pada kasus *fault spot bus 6*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,011 s.

Pada relay 6, mengalir arus beban maksimum sebesar 108,2 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, pada relay 6 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 451 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 6 pada kasus *fault spot bus 6*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.30. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 6 pada *fault spot bus 6* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 7</i>	0.694	15	<i>Setting Relay 19</i>	0.704
2	<i>Setting Relay 25</i>	0.704	16	<i>Setting Relay 21</i>	0.704
3	<i>Setting Relay 11</i>	0.704	17	<i>Setting Relay 14</i>	0.704
4	<i>Setting Relay 18</i>	0.704	18	<i>Setting Relay 3</i>	0.704
5	<i>Setting Relay 6</i>	0.704	19	<i>Setting Relay 1</i>	0.704
6	<i>Setting Relay 16</i>	0.704	20	<i>Setting Relay 26</i>	0.704
7	<i>Setting Relay 4</i>	0.704	21	<i>Setting Relay 10</i>	0.704
8	<i>Setting Relay 9</i>	0.704	22	<i>Setting Relay 2</i>	0.704
9	<i>Setting Relay 5</i>	0.704	23	<i>Setting Relay 8</i>	0.704
10	<i>Setting Relay 15</i>	0.704	24	<i>Setting Relay 23</i>	0.704
11	<i>Setting Relay 22</i>	0.704	25	<i>Setting Relay 20</i>	0.704
12	<i>Setting Relay 12</i>	0.704	26	<i>Setting Relay 17</i>	0.704
13	<i>Setting Relay 13</i>	0.704	27	<i>Setting Relay 27</i>	0.705
14	<i>Setting Relay 24</i>	0.704		Rata-rata	0.70367

Dari tabel 4.30. dapat dilihat bahwa pada relay 6, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,70367 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 7, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,03125 A dan nilai TDS sebesar 0,132 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,694 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 6 adalah *setting relay* 27, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,09304 A dan nilai TDS sebesar 0,132 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,705 s.

Sehingga untuk relay 10 pada kasus *fault spot bus* 6, selisih waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,011 s.

Pada kasus gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 6, relay 2 dan relay 10 berfungsi sebagai *primary relay*, sedangkan relay 7 dan relay 6 berfungsi sebagai *backup relay*. Berikut merupakan rekapitulasi selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada kasus *fault spot bus* 6.

Tabel 4.31. Selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada *fault spot bus 6*

<i>Setting Relay</i>	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih
	Relay 2	Relay 7		Relay 10	Relay 6	
<i>Setting Relay 1</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 2</i>	0.492	0.703	0.211	0.494	0.704	0.21
<i>Setting Relay 3</i>	0.492	0.703	0.211	0.496	0.704	0.208
<i>Setting Relay 4</i>	0.492	0.703	0.211	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 5</i>	0.492	0.703	0.211	0.496	0.704	0.208
<i>Setting Relay 6</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 7</i>	0.492	0.7	0.208	0.485	0.694	0.209
<i>Setting Relay 8</i>	0.492	0.703	0.211	0.496	0.704	0.208
<i>Setting Relay 9</i>	0.49	0.7	0.21	0.496	0.704	0.208
<i>Setting Relay 10</i>	0.492	0.703	0.211	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 11</i>	0.489	0.7	0.211	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 12</i>	0.492	0.7	0.208	0.496	0.704	0.208
<i>Setting Relay 13</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 14</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 15</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 16</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 17</i>	0.493	0.703	0.21	0.496	0.704	0.208
<i>Setting Relay 18</i>	0.492	0.7	0.208	0.492	0.704	0.212
<i>Setting Relay 19</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 20</i>	0.492	0.703	0.211	0.494	0.704	0.21
<i>Setting Relay 21</i>	0.492	0.703	0.211	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 22</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 23</i>	0.492	0.703	0.211	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 24</i>	0.492	0.7	0.208	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 25</i>	0.484	0.693	0.209	0.495	0.704	0.209
<i>Setting Relay 26</i>	0.492	0.703	0.211	0.496	0.704	0.208
<i>Setting Relay 27</i>	0.486	0.696	0.21	0.492	0.705	0.213

Dari tabel 4.31. dapat dilihat bahwa keseluruhan *setting relay* mampu menghasilkan selisih waktu operasi (t) antara relay 2 sebagai *primary relay* dan relay 7 sebagai *backup relay* dan juga selisih waktu operasi (t) antara relay 10 sebagai *primary relay* dan relay 6 sebagai *backup relay*, seluruhnya di atas 0,2 s.

Hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan *setting relay* dapat menjalankan fungsinya dengan sangat baik pada kasus *fault spot bus 6* ini, seluruh *setting relay* mampu memenuhi *coordination time interval* (CTI) antara *primary relay* dengan *backup relay*, dengan CTI yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,2 s.

Rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 2 dengan relay 7 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,20948 s. Sedangkan rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 10 dengan relay 6 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,20907 s.

4.7.4. Fault Spot pada Bus 7

Berikut merupakan waktu operasi (t) masing-masing relay yang bekerja pada kasus *fault spot bus 7*, hasil simulasi koordinasi DOCR menggunakan *setting relay 1* sampai dengan *setting relay 27*, sebagaimana yang terdapat dalam rekapitulasi hasil simulasi koordinasi DOCR pada tabel 4.11. dan tabel 4.12., yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Pada relay 3, mengalir arus beban maksimum sebesar 249,6 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, pada relay 3 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1162 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 3 pada kasus *fault spot bus 7*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.32. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 3 pada *fault spot bus 7* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 7	0.263	15	Setting Relay 24	0.263
2	Setting Relay 25	0.263	16	Setting Relay 19	0.263
3	Setting Relay 27	0.263	17	Setting Relay 21	0.263
4	Setting Relay 11	0.263	18	Setting Relay 14	0.263
5	Setting Relay 18	0.263	19	Setting Relay 3	0.263
6	Setting Relay 6	0.263	20	Setting Relay 1	0.263
7	Setting Relay 16	0.263	21	Setting Relay 26	0.263
8	Setting Relay 4	0.263	22	Setting Relay 10	0.263
9	Setting Relay 9	0.263	23	Setting Relay 2	0.263
10	Setting Relay 5	0.263	24	Setting Relay 8	0.263
11	Setting Relay 15	0.263	25	Setting Relay 23	0.263
12	Setting Relay 22	0.263	26	Setting Relay 20	0.263
13	Setting Relay 12	0.263	27	Setting Relay 17	0.263
14	Setting Relay 13	0.263	Rata-rata		0.263

Dari tabel 4.32. dapat dilihat bahwa pada relay 3, seluruh *setting relay* menghasilkan nilai yang sama, yaitu sebesar 0,263 s. Dimana *setting relay 7* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terkecil dan *setting relay 17* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar. *Setting relay 7* dan *setting relay 17* juga memiliki nilai arus *pickup* dan nilai TDS yang sama, yaitu sebesar 7,8 A untuk arus *pickup* dan 0,05 s untuk nilai TDS.

Sehingga untuk relay 3 pada kasus *fault spot bus 7*, waktu operasi (t) sebesar 0,263 s dianggap sebagai waktu operasi (t) tercepat yang dapat dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik.

Pada relay 1, mengalir arus beban maksimum sebesar 77,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, pada relay 1 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1162 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi

waktu operasi (t) relay 1 pada kasus *fault spot bus 7*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.33. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 1 pada *fault spot bus 7* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 7	0.47	15	Setting Relay 19	0.471
2	Setting Relay 26	0.47	16	Setting Relay 21	0.471
3	Setting Relay 25	0.471	17	Setting Relay 14	0.471
4	Setting Relay 27	0.471	18	Setting Relay 3	0.471
5	Setting Relay 11	0.471	19	Setting Relay 1	0.471
6	Setting Relay 18	0.471	20	Setting Relay 10	0.471
7	Setting Relay 6	0.471	21	Setting Relay 2	0.471
8	Setting Relay 16	0.471	22	Setting Relay 8	0.471
9	Setting Relay 9	0.471	23	Setting Relay 20	0.471
10	Setting Relay 5	0.471	24	Setting Relay 17	0.471
11	Setting Relay 15	0.471	25	Setting Relay 4	0.472
12	Setting Relay 12	0.471	26	Setting Relay 22	0.472
13	Setting Relay 13	0.471	27	Setting Relay 23	0.472
14	Setting Relay 24	0.471	Rata-rata		0.47104

Dari tabel 4.33. dapat dilihat bahwa pada relay 1, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,47104 s. Dan untuk waktu operasi (t) tercepat adalah sebesar 0,47 s, dimana terdapat 2 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,47 s. Diantara 2 *setting relay* tersebut, *setting relay 7* memiliki nilai *function value* yang lebih kecil, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,52836 A dan nilai TDS sebesar 0,168 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 1 adalah sebesar 0,472 s, dimana terdapat 3 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,472 s. Diantara 3 *setting relay* tersebut, *setting relay 23* memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 2,44173 A dan nilai TDS sebesar 0,171 s.

Sehingga untuk relay 1 pada kasus *fault spot bus 7*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,002 s.

Pada relay 11, mengalir arus beban maksimum sebesar 161 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, pada relay 11 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 609 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 11 pada kasus *fault spot bus 7*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.34. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 11 pada *fault spot bus 7* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 7</i>	0.313	15	<i>Setting Relay 24</i>	0.313
2	<i>Setting Relay 25</i>	0.313	16	<i>Setting Relay 19</i>	0.313
3	<i>Setting Relay 27</i>	0.313	17	<i>Setting Relay 21</i>	0.313
4	<i>Setting Relay 11</i>	0.313	18	<i>Setting Relay 14</i>	0.313
5	<i>Setting Relay 18</i>	0.313	19	<i>Setting Relay 3</i>	0.313
6	<i>Setting Relay 6</i>	0.313	20	<i>Setting Relay 1</i>	0.313
7	<i>Setting Relay 16</i>	0.313	21	<i>Setting Relay 26</i>	0.313
8	<i>Setting Relay 4</i>	0.313	22	<i>Setting Relay 10</i>	0.313
9	<i>Setting Relay 9</i>	0.313	23	<i>Setting Relay 2</i>	0.313
10	<i>Setting Relay 5</i>	0.313	24	<i>Setting Relay 8</i>	0.313
11	<i>Setting Relay 15</i>	0.313	25	<i>Setting Relay 23</i>	0.313
12	<i>Setting Relay 22</i>	0.313	26	<i>Setting Relay 20</i>	0.313
13	<i>Setting Relay 12</i>	0.313	27	<i>Setting Relay 17</i>	0.313
14	<i>Setting Relay 13</i>	0.313		Rata-rata	0.313

Dari tabel 4.34. dapat dilihat bahwa pada relay 11, seluruh *setting relay* menghasilkan nilai yang sama, yaitu sebesar 0,313 s. Dimana *setting relay 7* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terkecil, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,03125 A dan nilai TDS sebesar 0,05 s.

Sedangkan *setting relay* 17 merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,03126 A dan nilai TDS sebesar 0,05 s.

Sehingga untuk relay 11 pada kasus *fault spot bus 7*, waktu operasi (t) sebesar 0,313 s dianggap sebagai waktu operasi (t) tercepat yang dapat dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik.

Pada relay 12, mengalir arus beban maksimum sebesar 96,9 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, pada relay 12 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 609 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 12 pada kasus *fault spot bus 7*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.35. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 12 pada *fault spot bus 7* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No .	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 11</i>	0.518	15	<i>Setting Relay 3</i>	0.52
2	<i>Setting Relay 7</i>	0.52	16	<i>Setting Relay 1</i>	0.52
3	<i>Setting Relay 25</i>	0.52	17	<i>Setting Relay 26</i>	0.52
4	<i>Setting Relay 27</i>	0.52	18	<i>Setting Relay 10</i>	0.52
5	<i>Setting Relay 16</i>	0.52	19	<i>Setting Relay 2</i>	0.52
6	<i>Setting Relay 4</i>	0.52	20	<i>Setting Relay 8</i>	0.52
7	<i>Setting Relay 9</i>	0.52	21	<i>Setting Relay 23</i>	0.52
8	<i>Setting Relay 5</i>	0.52	22	<i>Setting Relay 20</i>	0.52
9	<i>Setting Relay 15</i>	0.52	23	<i>Setting Relay 17</i>	0.52
10	<i>Setting Relay 22</i>	0.52	24	<i>Setting Relay 6</i>	0.521
11	<i>Setting Relay 12</i>	0.52	25	<i>Setting Relay 13</i>	0.521
12	<i>Setting Relay 19</i>	0.52	26	<i>Setting Relay 24</i>	0.521
13	<i>Setting Relay 21</i>	0.52	27	<i>Setting Relay 18</i>	0.522
14	<i>Setting Relay 14</i>	0.52	Rata-rata		0.52011

Dari tabel 4.35. dapat dilihat bahwa pada relay 12, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,52011 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 11, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,21489 A dan nilai TDS sebesar 0,117 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,518 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 12 adalah *setting relay* 18, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,04793 A dan nilai TDS sebesar 0,122 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,522 s.

Sehingga untuk relay 12 pada kasus *fault spot bus 7*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,004 s.

Pada kasus gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 7, relay 3 dan relay 11 berfungsi sebagai *primary relay*, sedangkan relay 1 dan relay 12 berfungsi sebagai *backup relay*. Berikut merupakan rekapitulasi selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada kasus *fault spot bus 7*.

Tabel 4.36. Selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada *fault spot bus 7*

<i>Setting Relay</i>	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Selisih
	Relay 3	Relay 1		Relay 11	Relay 12	
<i>Setting Relay 1</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 2</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 3</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 4</i>	0.263	0.472	0.209	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 5</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 6</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.521	0.208
<i>Setting Relay 7</i>	0.263	0.47	0.207	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 8</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 9</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 10</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 11</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.518	0.205
<i>Setting Relay 12</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 13</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.521	0.208
<i>Setting Relay 14</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 15</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 16</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 17</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 18</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.522	0.209
<i>Setting Relay 19</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 20</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 21</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 22</i>	0.263	0.472	0.209	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 23</i>	0.263	0.472	0.209	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 24</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.521	0.208
<i>Setting Relay 25</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 26</i>	0.263	0.47	0.207	0.313	0.52	0.207
<i>Setting Relay 27</i>	0.263	0.471	0.208	0.313	0.52	0.207

Dari tabel 4.36. dapat dilihat bahwa keseluruhan *setting relay* mampu menghasilkan selisih waktu operasi (t) antara relay 3 sebagai *primary relay* dan relay 1 sebagai *backup relay* dan juga selisih waktu operasi (t) antara relay 11 sebagai *primary relay* dan relay 12 sebagai *backup relay*, seluruhnya di atas 0,2 s.

Hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan *setting relay* dapat menjalankan fungsinya dengan sangat baik pada kasus *fault spot bus 7* ini, seluruh *setting relay* mampu memenuhi *coordination time interval* (CTI) antara *primary relay* dengan *backup relay*, dengan CTI yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,2 s.

Rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 3 dengan relay 1 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,20804 s. Sedangkan rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 11 dengan relay 12 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,20711 s.

4.7.5. Fault Spot pada Bus 8

Berikut merupakan waktu operasi (t) masing-masing relay yang bekerja pada kasus *fault spot bus 8*, hasil simulasi koordinasi DOCR menggunakan *setting relay* 1 sampai dengan *setting relay* 27, sebagaimana yang terdapat dalam rekapitulasi hasil simulasi koordinasi DOCR pada tabel 4.13. dan tabel 4.14., yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Pada relay 5, mengalir arus beban maksimum sebesar 161 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, pada relay 5 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 1609 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 5 pada kasus *fault spot bus 8*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.37. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 5 pada *fault spot bus 8* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 5</i>	0.462	15	<i>Setting Relay 12</i>	0.475
2	<i>Setting Relay 7</i>	0.472	16	<i>Setting Relay 13</i>	0.475
3	<i>Setting Relay 27</i>	0.472	17	<i>Setting Relay 24</i>	0.475
4	<i>Setting Relay 3</i>	0.473	18	<i>Setting Relay 19</i>	0.475
5	<i>Setting Relay 23</i>	0.473	19	<i>Setting Relay 21</i>	0.475
6	<i>Setting Relay 25</i>	0.475	20	<i>Setting Relay 14</i>	0.475
7	<i>Setting Relay 11</i>	0.475	21	<i>Setting Relay 1</i>	0.475
8	<i>Setting Relay 18</i>	0.475	22	<i>Setting Relay 26</i>	0.475
9	<i>Setting Relay 6</i>	0.475	23	<i>Setting Relay 10</i>	0.475
10	<i>Setting Relay 16</i>	0.475	24	<i>Setting Relay 2</i>	0.475
11	<i>Setting Relay 4</i>	0.475	25	<i>Setting Relay 8</i>	0.475
12	<i>Setting Relay 9</i>	0.475	26	<i>Setting Relay 20</i>	0.475
13	<i>Setting Relay 15</i>	0.475	27	<i>Setting Relay 17</i>	0.475
14	<i>Setting Relay 22</i>	0.475	Rata-rata		0.47415

Dari tabel 4.37. dapat dilihat bahwa pada relay 5, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,47415 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 5*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,58983 A dan nilai TDS sebesar 0,133 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,462 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 5 adalah sebesar 0,475 s, dimana terdapat 22 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,475 s. Diantara 22 *setting relay* tersebut, *setting relay 17* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,03125 A dan nilai TDS sebesar 0,144 s.

Sehingga untuk relay 5 pada kasus *fault spot bus 8*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,013 s.

Pada relay 3, mengalir arus beban maksimum sebesar 249,6 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, pada relay 3 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 466 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 3 pada kasus *fault spot bus 8*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.38. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 3 pada *fault spot bus 8* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No .	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 7</i>	0.867	15	<i>Setting Relay 24</i>	0.867
2	<i>Setting Relay 25</i>	0.867	16	<i>Setting Relay 19</i>	0.867
3	<i>Setting Relay 27</i>	0.867	17	<i>Setting Relay 21</i>	0.867
4	<i>Setting Relay 11</i>	0.867	18	<i>Setting Relay 14</i>	0.867
5	<i>Setting Relay 18</i>	0.867	19	<i>Setting Relay 3</i>	0.867
6	<i>Setting Relay 6</i>	0.867	20	<i>Setting Relay 1</i>	0.867
7	<i>Setting Relay 16</i>	0.867	21	<i>Setting Relay 26</i>	0.867
8	<i>Setting Relay 4</i>	0.867	22	<i>Setting Relay 10</i>	0.867
9	<i>Setting Relay 9</i>	0.867	23	<i>Setting Relay 2</i>	0.867
10	<i>Setting Relay 5</i>	0.867	24	<i>Setting Relay 8</i>	0.867
11	<i>Setting Relay 15</i>	0.867	25	<i>Setting Relay 23</i>	0.867
12	<i>Setting Relay 22</i>	0.867	26	<i>Setting Relay 20</i>	0.867
13	<i>Setting Relay 12</i>	0.867	27	<i>Setting Relay 17</i>	0.867
14	<i>Setting Relay 13</i>	0.867	Rata-rata		0.867

Dari tabel 4.38. dapat dilihat bahwa pada relay 3, seluruh *setting relay* menghasilkan nilai yang sama, yaitu sebesar 0,867 s. Dimana *setting relay 7* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terkecil

dan *setting relay* 17 merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar. *Setting relay* 7 dan *setting relay* 17 juga memiliki nilai arus *pickup* dan nilai TDS yang sama, yaitu sebesar 7,8 A untuk arus *pickup* dan 0,05 s untuk nilai TDS.

Sehingga untuk relay 3 pada kasus *fault spot bus* 8, waktu operasi (t) sebesar 0,867 s dianggap sebagai waktu operasi (t) tercepat yang dapat dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik.

Pada relay 12, mengalir arus beban maksimum sebesar 96,9 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, pada relay 12 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 9 atau generator 3 sebesar 1297 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 12 pada kasus *fault spot bus* 8, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.39. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 12 pada *fault spot bus* 8 berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay</i> 11	0.346	15	<i>Setting Relay</i> 19	0.352
2	<i>Setting Relay</i> 6	0.351	16	<i>Setting Relay</i> 21	0.352
3	<i>Setting Relay</i> 7	0.352	17	<i>Setting Relay</i> 14	0.352
4	<i>Setting Relay</i> 25	0.352	18	<i>Setting Relay</i> 3	0.352
5	<i>Setting Relay</i> 27	0.352	19	<i>Setting Relay</i> 1	0.352
6	<i>Setting Relay</i> 16	0.352	20	<i>Setting Relay</i> 26	0.352
7	<i>Setting Relay</i> 4	0.352	21	<i>Setting Relay</i> 10	0.352
8	<i>Setting Relay</i> 9	0.352	22	<i>Setting Relay</i> 2	0.352
9	<i>Setting Relay</i> 5	0.352	23	<i>Setting Relay</i> 8	0.352
10	<i>Setting Relay</i> 15	0.352	24	<i>Setting Relay</i> 23	0.352
11	<i>Setting Relay</i> 22	0.352	25	<i>Setting Relay</i> 20	0.352
12	<i>Setting Relay</i> 12	0.352	26	<i>Setting Relay</i> 17	0.352
13	<i>Setting Relay</i> 13	0.352	27	<i>Setting Relay</i> 18	0.353
14	<i>Setting Relay</i> 24	0.352		Rata-rata	0.35178

Dari tabel 4.39. dapat dilihat bahwa pada relay 12, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,35178 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 11, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,21489 A dan nilai TDS sebesar 0,117 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,346 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 12 adalah *setting relay* 18, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,04793 A dan nilai TDS sebesar 0,122 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,353 s.

Sehingga untuk relay 12 pada kasus *fault spot bus* 8, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,007 s.

Pada relay 4, mengalir arus beban maksimum sebesar 119,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, pada relay 4 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 574 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 4 pada kasus *fault spot bus* 8, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.40. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 4 pada *fault spot bus 8* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 11	0.556	15	Setting Relay 21	0.561
2	Setting Relay 25	0.559	16	Setting Relay 3	0.561
3	Setting Relay 27	0.561	17	Setting Relay 1	0.561
4	Setting Relay 18	0.561	18	Setting Relay 10	0.561
5	Setting Relay 6	0.561	19	Setting Relay 2	0.561
6	Setting Relay 4	0.561	20	Setting Relay 8	0.561
7	Setting Relay 9	0.561	21	Setting Relay 23	0.561
8	Setting Relay 5	0.561	22	Setting Relay 20	0.561
9	Setting Relay 15	0.561	23	Setting Relay 17	0.561
10	Setting Relay 22	0.561	24	Setting Relay 7	0.562
11	Setting Relay 12	0.561	25	Setting Relay 14	0.562
12	Setting Relay 13	0.561	26	Setting Relay 16	0.563
13	Setting Relay 24	0.561	27	Setting Relay 26	0.563
14	Setting Relay 19	0.561	Rata-rata		0.56096

Dari tabel 4.40. dapat dilihat bahwa pada relay 4, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,56096 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 11, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,74746 A dan nilai TDS sebesar 0,108 s, menghasilkan waktu operasi (t) untuk sebesar 0,556 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 4 adalah sebesar 0,563 s, dimana terdapat 2 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,563 s, yaitu *setting relay* 16 dan *Setting Relay* 26. Diantara 2 *setting relay* tersebut, *setting relay* 26 memiliki nilai *function value* yang lebih besar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,76424 A dan nilai TDS sebesar 0,109 s.

Sehingga untuk relay 4 pada kasus *fault spot bus 8*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,007 s.

Pada kasus gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 8, relay 5 dan relay 12 berfungsi sebagai *primary relay*, sedangkan relay 3 dan relay 4 berfungsi sebagai *backup relay*. Berikut merupakan rekapitulasi selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada kasus *fault spot bus 8*.

Tabel 4.41. Selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada *fault spot bus 8*

Setting Relay	Primary Relay	Backup Relay	Selisih	Primary Relay	Backup Relay	Selisih
	Relay 5	Relay 3		Relay 12	Relay 4	
Setting Relay 1	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 2	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 3	0.473	0.867	0.394	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 4	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 5	0.462	0.867	0.405	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 6	0.475	0.867	0.392	0.351	0.561	0.21
Setting Relay 7	0.472	0.867	0.395	0.352	0.562	0.21
Setting Relay 8	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 9	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 10	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 11	0.475	0.867	0.392	0.346	0.556	0.21
Setting Relay 12	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 13	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 14	0.475	0.867	0.392	0.352	0.562	0.21
Setting Relay 15	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 16	0.475	0.867	0.392	0.352	0.563	0.211
Setting Relay 17	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 18	0.475	0.867	0.392	0.353	0.561	0.208
Setting Relay 19	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 20	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 21	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 22	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 23	0.473	0.867	0.394	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 24	0.475	0.867	0.392	0.352	0.561	0.209
Setting Relay 25	0.475	0.867	0.392	0.352	0.559	0.207
Setting Relay 26	0.475	0.867	0.392	0.352	0.563	0.211
Setting Relay 27	0.472	0.867	0.395	0.352	0.561	0.209

Dari tabel 4.41. dapat dilihat bahwa keseluruhan *setting relay* mampu menghasilkan selisih waktu operasi (t) antara relay 5 sebagai *primary relay* dan relay 3 sebagai *backup relay* dan juga selisih waktu operasi (t) antara

relay 12 sebagai *primary relay* dan relay 4 sebagai *backup relay*, seluruhnya di atas 0,2 s.

Hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan *setting relay* dapat menjalankan fungsinya dengan sangat baik pada kasus *fault spot bus 8* ini, seluruh *setting relay* mampu memenuhi *coordination time interval* (CTI) antara *primary relay* dengan *backup relay*, dengan CTI yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,2 s.

Rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 5 dengan relay 3 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,39285 s. Sedangkan rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 12 dengan relay 4 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0.20919 s.

4.7.6. Fault Spot pada Bus 9

Berikut merupakan waktu operasi (t) masing-masing relay yang bekerja pada kasus *fault spot bus 9*, hasil simulasi koordinasi DOCR menggunakan *setting relay 1* sampai dengan *setting relay 27*, sebagaimana yang terdapat dalam rekapitulasi hasil simulasi koordinasi DOCR pada tabel 4.15. dan tabel 4.16., yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Pada relay 4, mengalir arus beban maksimum sebesar 119,8 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, pada relay 4 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1308 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 4 pada kasus *fault spot bus 9*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.42. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 4 pada *fault spot bus 9* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 25	0.334	15	Setting Relay 21	0.344
2	Setting Relay 27	0.34	16	Setting Relay 3	0.344
3	Setting Relay 11	0.341	17	Setting Relay 1	0.344
4	Setting Relay 18	0.344	18	Setting Relay 10	0.344
5	Setting Relay 6	0.344	19	Setting Relay 2	0.344
6	Setting Relay 4	0.344	20	Setting Relay 8	0.344
7	Setting Relay 9	0.344	21	Setting Relay 20	0.344
8	Setting Relay 5	0.344	22	Setting Relay 17	0.344
9	Setting Relay 15	0.344	23	Setting Relay 7	0.345
10	Setting Relay 22	0.344	24	Setting Relay 16	0.345
11	Setting Relay 12	0.344	25	Setting Relay 14	0.345
12	Setting Relay 13	0.344	26	Setting Relay 26	0.345
13	Setting Relay 24	0.344	27	Setting Relay 23	0.345
14	Setting Relay 19	0.344	Rata-rata		0.34356

Dari tabel 4.42. dapat dilihat bahwa pada relay 4, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,34356 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 25*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 4,11121 A dan nilai TDS sebesar 0,101 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,334 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 4 adalah sebesar 0,345 s, dimana terdapat 5 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,345 s. Diantara 5 *setting relay* tersebut, *setting relay 23* merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,74561 A dan nilai TDS sebesar 0,109 s.

Sehingga untuk relay 4 pada kasus *fault spot bus 9*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang

dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,011 s.

Pada relay 2, mengalir arus beban maksimum sebesar 108,2 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, pada relay 2 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 4 atau generator 1 sebesar 1308 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 2 pada kasus *fault spot bus 9*, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.43. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 2 pada *fault spot bus 9* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay 25</i>	0.546	15	<i>Setting Relay 24</i>	0.555
2	<i>Setting Relay 27</i>	0.549	16	<i>Setting Relay 19</i>	0.555
3	<i>Setting Relay 11</i>	0.552	17	<i>Setting Relay 21</i>	0.555
4	<i>Setting Relay 9</i>	0.554	18	<i>Setting Relay 14</i>	0.555
5	<i>Setting Relay 7</i>	0.555	19	<i>Setting Relay 3</i>	0.555
6	<i>Setting Relay 18</i>	0.555	20	<i>Setting Relay 1</i>	0.555
7	<i>Setting Relay 6</i>	0.555	21	<i>Setting Relay 26</i>	0.555
8	<i>Setting Relay 16</i>	0.555	22	<i>Setting Relay 10</i>	0.555
9	<i>Setting Relay 4</i>	0.555	23	<i>Setting Relay 2</i>	0.555
10	<i>Setting Relay 5</i>	0.555	24	<i>Setting Relay 8</i>	0.555
11	<i>Setting Relay 15</i>	0.555	25	<i>Setting Relay 23</i>	0.555
12	<i>Setting Relay 22</i>	0.555	26	<i>Setting Relay 20</i>	0.555
13	<i>Setting Relay 12</i>	0.555	27	<i>Setting Relay 17</i>	0.557
14	<i>Setting Relay 13</i>	0.555		Rata-rata	0.55437

Dari tabel 4.43. dapat dilihat bahwa pada relay 2, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,55437 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 25*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,38128 A dan nilai TDS sebesar 0,181 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,546 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 2 adalah *setting relay* 17, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,40912 A dan nilai TDS sebesar 0,184 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,557 s.

Sehingga untuk relay 2 pada kasus *fault spot bus* 9, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,011 s.

Pada relay 6, mengalir arus beban maksimum sebesar 96,9 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, pada relay 6 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 877 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 6 pada kasus *fault spot bus* 9, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.44. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 6 pada *fault spot bus* 9 berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi	No.	<i>Setting Relay</i>	Waktu Operasi
1	<i>Setting Relay</i> 7	0.458	15	<i>Setting Relay</i> 24	0.464
2	<i>Setting Relay</i> 25	0.463	16	<i>Setting Relay</i> 19	0.464
3	<i>Setting Relay</i> 27	0.463	17	<i>Setting Relay</i> 21	0.464
4	<i>Setting Relay</i> 11	0.464	18	<i>Setting Relay</i> 14	0.464
5	<i>Setting Relay</i> 18	0.464	19	<i>Setting Relay</i> 3	0.464
6	<i>Setting Relay</i> 6	0.464	20	<i>Setting Relay</i> 1	0.464
7	<i>Setting Relay</i> 16	0.464	21	<i>Setting Relay</i> 26	0.464
8	<i>Setting Relay</i> 4	0.464	22	<i>Setting Relay</i> 10	0.464
9	<i>Setting Relay</i> 9	0.464	23	<i>Setting Relay</i> 2	0.464
10	<i>Setting Relay</i> 5	0.464	24	<i>Setting Relay</i> 8	0.464
11	<i>Setting Relay</i> 15	0.464	25	<i>Setting Relay</i> 23	0.464
12	<i>Setting Relay</i> 22	0.464	26	<i>Setting Relay</i> 20	0.464
13	<i>Setting Relay</i> 12	0.464	27	<i>Setting Relay</i> 17	0.464
14	<i>Setting Relay</i> 13	0.464		Rata-rata	0.4637

Dari tabel 4.44. dapat dilihat bahwa pada relay 6, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,4637 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 7, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,03125 A dan nilai TDS sebesar 0,132 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,458 s.

Sedangkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 6 adalah sebesar 0,464 s, dimana terdapat 24 *setting relay* yang menghasilkan nilai 0,464 s. Diantara 24 *setting relay* tersebut, *setting relay* 17 merupakan *setting relay* yang memiliki nilai *function value* terbesar, dengan nilai arus *pickup* sebesar 3,02812 A dan nilai TDS sebesar 0,134 s.

Sehingga untuk relay 6 pada kasus *fault spot bus* 9, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,006 s.

Pada relay 5, mengalir arus beban maksimum sebesar 161 A pada saat keadaan beban penuh. Dan pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, pada relay 5 mengalir arus gangguan yang berasal dari bus 7 atau generator 2 sebesar 877 A. Berikut merupakan tabel rekapitulasi waktu operasi (t) relay 5 pada kasus *fault spot bus* 9, yang diurutkan berdasarkan kecepatan waktu operasi (t).

Tabel 4.45. Rekapitulasi waktu operasi (t) relay 5 pada *fault spot bus 9* berdasarkan kecepatan waktu operasi (t)

No	Setting Relay	Waktu Operasi	No.	Setting Relay	Waktu Operasi
1	Setting Relay 7	0.67	15	Setting Relay 13	0.675
2	Setting Relay 27	0.671	16	Setting Relay 24	0.675
3	Setting Relay 5	0.672	17	Setting Relay 19	0.675
4	Setting Relay 3	0.672	18	Setting Relay 21	0.675
5	Setting Relay 25	0.675	19	Setting Relay 14	0.675
6	Setting Relay 11	0.675	20	Setting Relay 1	0.675
7	Setting Relay 18	0.675	21	Setting Relay 26	0.675
8	Setting Relay 6	0.675	22	Setting Relay 10	0.675
9	Setting Relay 16	0.675	23	Setting Relay 2	0.675
10	Setting Relay 4	0.675	24	Setting Relay 8	0.675
11	Setting Relay 9	0.675	25	Setting Relay 20	0.675
12	Setting Relay 15	0.675	26	Setting Relay 17	0.675
13	Setting Relay 22	0.675	27	Setting Relay 23	0.677
14	Setting Relay 12	0.675	Rata-rata		0.67452

Dari tabel 4.45. dapat dilihat bahwa pada relay 5, rata-rata waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0,67452 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay 7*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,03127 A dan nilai TDS sebesar 0,143 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,67 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan waktu operasi (t) terlambat untuk relay 5 adalah *setting relay 23*, dengan nilai arus *pickup* sebesar 5,20719 A dan nilai TDS sebesar 0,141 s, menghasilkan waktu operasi (t) sebesar 0,677 s.

Sehingga untuk relay 5 pada kasus *fault spot bus 9*, selisih antara waktu operasi (t) terlambat dengan waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,007 s.

Pada kasus gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 9, relay 4 dan relay 6 berfungsi sebagai *primary relay*, sedangkan relay 2 dan relay 5 berfungsi sebagai *backup relay*. Berikut merupakan rekapitulasi selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada kasus *fault spot bus 7*.

Tabel 4.46. Selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dengan *backup relay* pada *fault spot bus 9*

Setting Relay	Primary Relay	Backup Relay	Selisih	Primary Relay	Backup Relay	Selisih
	Relay 4	Relay 2		Relay 6	Relay 5	
Setting Relay 1	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 2	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 3	0.344	0.555	0.211	0.464	0.672	0.208
Setting Relay 4	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 5	0.344	0.555	0.211	0.464	0.672	0.208
Setting Relay 6	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 7	0.345	0.555	0.21	0.458	0.67	0.212
Setting Relay 8	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 9	0.344	0.554	0.21	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 10	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 11	0.341	0.552	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 12	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 13	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 14	0.345	0.555	0.21	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 15	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 16	0.345	0.555	0.21	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 17	0.344	0.557	0.213	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 18	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 19	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 20	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 21	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 22	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 23	0.345	0.555	0.21	0.464	0.677	0.213
Setting Relay 24	0.344	0.555	0.211	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 25	0.334	0.546	0.212	0.463	0.675	0.212
Setting Relay 26	0.345	0.555	0.21	0.464	0.675	0.211
Setting Relay 27	0.34	0.549	0.209	0.463	0.671	0.208

Dari tabel 4.46. dapat dilihat bahwa keseluruhan *setting relay* mampu menghasilkan selisih waktu operasi (t) antara relay 4 sebagai *primary relay* dan relay 2 sebagai *backup relay* dan juga selisih waktu operasi (t) antara relay 6 sebagai *primary relay* dan relay 5 sebagai *backup relay*, seluruhnya di atas 0,2 s.

Hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan *setting relay* dapat menjalankan fungsinya dengan sangat baik pada kasus *fault spot bus 9* ini, seluruh *setting relay* mampu memenuhi *coordination time interval (CTI)* antara *primary relay* dengan *backup relay*, dengan CTI yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,2 s.

Rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 4 dengan relay 2 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0.21081 s. Sedangkan rata-rata selisih waktu operasi (t) antara relay 6 dengan relay 5 yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 0.21081 s.

4.7.7. Waktu Operasi Keseluruhan Relay

Berikut merupakan akumulasi waktu operasi (t) keseluruhan relay hasil simulasi masing-masing *setting relay*, sebagaimana yang terdapat dalam rekapitulasi hasil simulasi koordinasi DOCR pada tabel 4.5. dan tabel 4.16., sebagaimana juga telah dibahas pada sub-bab 4.7.1. sampai dengan sub-bab 4.7.6.

Tabel 4.47. Akumulasi waktu operasi (t) keseluruhan relay hasil simulasi masing-masing *setting relay*

<i>Setting Relay</i>	<i>Function Value</i>	Akumulasi Waktu Operasi Hasil Simulasi	<i>Error/Miss Koordinasi</i>
<i>Setting Relay 1</i>	13.2137	13.169	0
<i>Setting Relay 2</i>	13.2223	13.173	0
<i>Setting Relay 3</i>	13.2133	13.172	0
<i>Setting Relay 4</i>	13.2063	13.166	0
<i>Setting Relay 5</i>	13.2078	13.159	0
<i>Setting Relay 6</i>	13.2023	13.168	0
<i>Setting Relay 7</i>	13.1502	13.109	0
<i>Setting Relay 8</i>	13.2241	13.176	0
<i>Setting Relay 9</i>	13.2076	13.166	0
<i>Setting Relay 10</i>	13.2180	13.174	0
<i>Setting Relay 11</i>	13.1900	13.140	0
<i>Setting Relay 12</i>	13.2106	13.171	0
<i>Setting Relay 13</i>	13.2107	13.169	0
<i>Setting Relay 14</i>	13.2133	13.171	0
<i>Setting Relay 15</i>	13.2095	13.168	0
<i>Setting Relay 16</i>	13.2051	13.172	0
<i>Setting Relay 17</i>	13.2295	13.179	0
<i>Setting Relay 18</i>	13.1948	13.160	0
<i>Setting Relay 19</i>	13.2119	13.168	0
<i>Setting Relay 20</i>	13.2269	13.172	0
<i>Setting Relay 21</i>	13.2126	13.174	0
<i>Setting Relay 22</i>	13.2099	13.170	0
<i>Setting Relay 23</i>	13.2249	13.187	0
<i>Setting Relay 24</i>	13.2107	13.169	0
<i>Setting Relay 25</i>	13.1521	13.116	0
<i>Setting Relay 26</i>	13.2158	13.176	0
<i>Setting Relay 27</i>	13.1677	13.128	0

Dari semua simulasi koordinasi DOCR yang telah dilakukan pada bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8 dan bus 9 dengan gangguan hubung singkat tiga fasa. Dan sebagaimana telah dibahas pada sub-bab 4.7.1. sampai dengan sub-bab 4.7.6., dapat dilihat bahwa pada setiap kasus *fault spot*, seluruh *setting relay* mampu bekerja dengan sangat baik tanpa adanya satupun yang mengalami kegagalan ataupun *miss* koordinasi antara *primary relay* dengan

backup relay. Dimana waktu operasi (t) relay yang beroperasi pada setiap kasus *fault spot*, memenuhi *coordination time interval* (CTI) antara *primary relay* dengan *backup relay*, CTI yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0,2 s.

Sehingga para *primary relay* pada masing-masing kasus *fault spot* mampu mendeteksi arus gangguan dan beroperasi dengan waktu operasi (t) yang lebih cepat daripada *backup relay* mereka. Sekalipun para *primary relay* mengalami kegagalan atau malfungsi, maka para *backup relay* mereka akan mampu beroperasi dengan selisih waktu operasi (t) lebih dari atau sama dengan nilai CTI.

Dari tabel 4.47. dapat dilihat bahwa, rata-rata akumulasi waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay* adalah sebesar 13,1638 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan akumulasi waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* 7, dengan nilai sebesar 13,109 s.

Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan akumulasi waktu operasi (t) terlambat adalah *setting relay* 23, dengan nilai sebesar 13,187 s. Dan selisih antara akumulasi waktu operasi (t) terlambat dengan akumulasi waktu operasi (t) tercepat yang dihasilkan oleh *setting relay* berbasis algoritma genetik ini adalah sebesar 0,078 s.

Dari pembahasan pada sub-bab 4.7.1 sampai dengan sub-bab 4.7.6 juga didapatkan *setting relay* yang memiliki waktu operasi tercepat untuk masing-masing relay. Berikut merupakan rekapitulasi nilai arus *pickup* dan TDS masing-masing relay dari *setting relay* yang memiliki waktu operasi tercepat pada masing-masing kasus *fault spot*.

Tabel 4.48. Rekapitulasi nilai arus *pickup* dan TDS masing-masing relay dari *setting relay* yang memiliki waktu operasi tercepat pada masing-masing kasus *fault spot*

No. Relay	<i>Setting Relay</i>	<i>I Pickup</i>	TDS
Relay 1	<i>Setting Relay 7</i>	2.52836	0.168
Relay 2	<i>Setting Relay 25</i>	3.38128	0.181
Relay 3	<i>Setting Relay 7</i>	7.8	0.050
Relay 4	<i>Setting Relay 25</i>	4.11121	0.101
Relay 5	<i>Setting Relay 5</i>	5.58983	0.133
Relay 6	<i>Setting Relay 7</i>	3.03125	0.132
Relay 7	<i>Setting Relay 25</i>	2.43125	0.198
Relay 8	<i>Setting Relay 7</i>	3.67550	0.097
Relay 9	<i>Setting Relay 25</i>	7.80021	0.139
Relay 10	<i>Setting Relay 7</i>	3.74375	0.146
Relay 11	<i>Setting Relay 7</i>	5.03125	0.050
Relay 12	<i>Setting Relay 11</i>	3.21489	0.117

Dari tabel 4.48. dapat dilihat bahwa dari rekapitulasi tersebut menghasilkan *setting relay* baru. Dan tidak selalu *setting relay 7* yang notobene merupakan *setting relay* dengan akumulasi waktu operasi (t) keseluruhan relay tercepat, memiliki waktu operasi tercepat pada masing-masing relaynya, tetapi memang *setting relay* baru tersebut didominasi oleh *setting relay 7* dan *setting relay 25* yang memiliki nilai *function value terkecil* dan juga akumulasi waktu operasi (t) keseluruhan relay tercepat. *Setting relay* baru tersebut kemudian juga disimulasikan dalam simulasi koordinasi DOCR dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.49. Rekapitulasi waktu operasi (t) hasil simulasi koordinasi DOCR pada setiap *fault spot* menggunakan *setting relay* baru

<i>Fault Spot</i>	<i>Primary Relay</i>	<i>Backup Relay</i>	Waktu Operasi <i>Primary Relay</i>	Waktu Operasi <i>Backup Relay</i>	Selisih
Bus 4	Relay 7	Relay 9	0.56	0.768	0.208
	Relay 8	Relay 10	0.399	0.608	0.209
Bus 5	Relay 1	Relay 8	0.428	0.638	0.21
	Relay 9	Relay 11	0.623	0.851	0.228
Bus 6	Relay 2	Relay 7	0.484	0.693	0.209
	Relay 10	Relay 6	0.485	0.694	0.209
Bus 7	Relay 3	Relay 1	0.263	0.47	0.207
	Relay 11	Relay 12	0.313	0.518	0.205
Bus 8	Relay 5	Relay 3	0.462	0.867	0.405
	Relay 12	Relay 4	0.346	0.559	0.213
Bus 9	Relay 4	Relay 2	0.334	0.546	0.212
	Relay 6	Relay 5	0.458	0.672	0.214
Akumulasi			13.039		

Dari tabel 4.49. dapat dilihat bahwa *setting relay* baru ini mampu menghasilkan selisih waktu operasi (t) antara *primary relay* dan *backup relay* pada setiap kasus *fault spot*, seluruhnya diatas 0,2 s. Hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan *setting relay* baru ini juga dapat menjalankan fungsinya dengan sangat baik pada setiap kasus *fault spot*.

Dari tabel 4.37. juga dapat dilihat bahwa, *setting relay* baru ini menghasilkan akumulasi waktu operasi (t) sebesar 13,039 s. Nilai ini lebih cepat 0,07 s dari akumulasi waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh *setting relay* 7.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan kegiatan penelitian yang telah dilakukan, serta mengacu pada seluruh hasil pengujian dan hasil simulasi maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Optimasi DOCR menggunakan algoritma genetik menghasilkan rata-rata nilai *function value* sebesar 13,206, dengan rata-rata jumlah generasi adalah sebesar 459,07. Untuk nilai *function value* terkecil yang didapatkan senilai 13,1502, yang didapatkan pada optimasi nomor 7 dengan kombinasi parameter berubah adalah, jumlah populasi 50, metode *crossover scattered* dan metode seleksi adalah *roulette wheel*. Sedangkan untuk nilai *function value* terbesar yang didapatkan adalah senilai 13,2295, yang didapatkan pada optimasi nomor 17 dengan kombinasi parameter berubah adalah jumlah populasi 100, metode *crossover scattered* dan metode seleksi adalah *tournament*.
2. Seluruh *setting relay* berbasis algoritma genetik mampu memproteksi sistem dengan baik setiap gangguan hubung singkat tiga fasa pada setiap *fault bus* dengan sangat baik tanpa adanya satupun yang mengalami kegagalan atau *miss* koordinasi antara *primary relay* dengan *backup relay*. Dengan rata-rata akumulasi waktu operasi (t) yang dihasilkan oleh keseluruhan *setting relay*

adalah sebesar 13,1638 s. Dan untuk *setting relay* yang menghasilkan akumulasi waktu operasi (t) tercepat adalah *setting relay* optimasi 7, dengan nilai sebesar 13,109 s. Sedangkan untuk *setting relay* yang menghasilkan akumulasi waktu operasi (t) terlambat adalah *setting relay* optimasi 23, dengan nilai sebesar 13,187 s. Selain itu juga didapatkan *setting relay* baru yang merupakan gabungan *setting relay* dengan waktu operasi tercepat pada setiap relay, yang menghasilkan akumulasi waktu operasi (t) sebesar 13,039 s.

5.2. Saran

Berdasarkan tahapan serta hasil dan analisis penelitian maka peneliti dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Mensimulasikan pada jenis gangguan yang lebih beragam, misalnya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah atau gangguan antar fasa, dengan tujuan untuk membuktikan *flexibility* dari koordinasi *directional overcurrent relay* berbasis algoritma genetik.
2. Menggunakan metode optimasi lain seperti *particle swarm optimization*, *simulated annealing* atau *neural network* dalam melakukan optimasi terhadap permasalahan koordinasi *directional overcurrent relay*.

3. Menggunakan metode algoritma genetik dalam melakukan optimasi permasalahan lain dalam sistem tenaga listrik seperti, penalaan parameter *power system stabilizer* untuk peningkatan kestabilan *transient* pada sistem ataupun optimasi penempatan dan besar nilai kapasitor *bank* dalam perbaikan daya reaktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Hussain, M.H.; Musirin, I.; Rahim, S.R.A. & Abidin, A.F. 2013. *Computational Intelligence Based Technique in Optimal Overcurrent Relay Coordination : a Review*. The International Journal of engineering and Science 2(1):1-9.
- Wadhwa, C.L. 2009. *Electrical Power System*. New York: New Age International.
- [IEEE] Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1996. *The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms Sixth Edition (IEEE Std 100)*. New York: IEEE Press.
- Davies, T. 1984. *Protection of Industrial Power Systems*. New York: Pergamon Press.
- Zimmerman, K. & Costello, D. 2010. *Fundamentals and Improvements for Directional Relays*. New York: IEEE Press.
- Gers, J.M. & Holmes, E.J. 2004. *Protection of Electricity Distribution Networks*. London: The Institution of Electrical Engineering.
- Ram, B. & Vishmakarma, D.N. 2007. *Power System and Protection Switchgear*. New Delhi: Tata Mc Graw-Hill.
- [BSI] British Standard International. 1990. BS 142-3-3.2: 1990: *Electrical Protection Relays*. London: BSI Publisher
- [IEC] International Electrotechnical Commission. 2009. IEC 60255. Switzerland : IEC.
- Blackburn, J.L. & Domin, T.J. 2007. *Protective Relaying : Principles and Applications*. New York: CRC Press.

- Niyomphant, S.; Kulworawanichpong, T.; Leeton, U. & Chomnawang, N. 2012. *Application of Linear Programming for Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays*. [Prosiding] 9th Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology International Conference; Phetchaburi, 16-18 May 2012. Phetchaburi: IEEE. Hal 1-4.
- Negnevitsky, M. 2005. *Artificial Intelligence - A Guide to Intelligent Systems*. Edinburg: Addison Wesley.
- Konar, A. 2005. *Computational Intelligence Principles, Techniques, and Applications*. New Delhi: Springer.
- Rabunal, J.R. & Dorado, J. 2006. *Artificial Neural Networks in Real – Life Applications*. New York: Ideal Group Publishing Hershey.
- Mitchel, M. 1999. *An Introduction to Genetic Algorithm*. Massachusetts: MIT Press.
- Ongko, E. 2015. *Analisis Performance Atas Metode Arithmetic Crossover Dalam Algoritma Genetika* [Skripsi]. Medan: Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Kusumadewi, S. 2003. *Artificial Intelligence : Teknik dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pencheva, T.; Atanassov, K. & Shannon, A. 2009. *Modelling of a Stochastic Universal Sampling Selection Operator in Genetic Algorithms Using Generalized Nets*. [Prosiding] 10th International Workshop on Generalized Nets; Sofia, 5 Dec 2009. Sofia: Bulgarian National Council for Scientific Research. Hal 1-7.

- Law, A.M & Kelton, W.D. 1991. *Simulation Modelling and Analysis*. New York: Mc Graw-Hill.
- Anderson, P.M. & Fouad, A.A. 2003. *Power System Control and Stability*. New York: IEEE Press & Wiley-Interscience.
- Khalkho, P. & Singh, A.K. 2014. *Transient Stability Improvement by using PSS and Increasing Inertia of Synchronous Machine*. American Journal of Electrical Power and Energy System 3(2):45-49.
- Elrafie, H.B. & Irving, M.R. 1993. *Linear programming for directional overcurrent relay coordination in interconnected power systems with constraint relaxation*. Electric Power Systems Research 27(3):209-216.
- Robandi, I. 2006. *Desain sistem tenaga modern : optimisasi, logika fuzzy, algoritma genetika*. Yogyakarta: Andi.
- Fakultas Teknik. 2012. *Buku Pedoman Penulisan Skripsi/Komprehensif/Karya Inovatif (S1)*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

LAMPIRAN

Load Flow Report

Project: Skripas Location: FTAP Contract: T-10 Engineer: Ibnu Maulana Siddiq Filename: Final Project	Page: 1 Date: 19-10-2015 SN: 17345678 Revision: Base Config: Normal
Study Case: LF	

LOAD FLOW REPORT

Bus	Voltage			Generation			Load			Load Flow			XFR	
	ID	kV	%-Slack	Mag	Angle	MVA	MW	MVar	SDW	MVar	Amp	% PF	% Tap	% Tap
* Bus1		16.5000	100.000	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.0000	66.510	3.7146	3645.1	90.1		
* Bus2		16.0000	102.500	1.79	103.0000	38.122	0.00	0.0000	163.000	38.122	2238.4	97.4		
* Bus3		13.8000	102.500	4.23	103.0000	21.187	0.00	0.0000	85.000	21.187	3372.0	97.0		
Bus4		230.0000	100.142	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	25.757	17.290	77.8	65.0		
Bus5		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	42.250	8.843	100.2	97.0		
Bus6		230.0000	100.132	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	-66.016	-76.137	187.6	94.7		
Bus7		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	-25.725	-28.990	97.2	100.0		
Bus8		230.0000	100.132	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	-99.310	-21.030	234.2	97.0		
Bus9		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	42.256	19.844	116.7	100.0		
Bus10		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	-47.797	-10.277	177.9	97.3		
Bus11		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	99.518	7.210	249.0	99.7		
Bus12		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	-63.324	31.809	101.0	98.3		
Bus13		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	-162.441	-19.079	410.0	99.3		
Bus14		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	63.110	17.840	164.3	96.2		
Bus15		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	-46.937	-17.166	107.3	90.7		
Bus16		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	47.792	0.616	138.8	100.0		
Bus17		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	26.938	31.448	98.9	95.5		
Bus18		230.0000	100.140	-4.6	0.00	0.0000	0.00	0.0000	84.742	12.061	214.3	99.0		

Short Circuit Report Fault Bus 4

Project:	Skripsi	ETAP	Page:	1
Location:		(2,0)	Date:	27-09-2015
Contract:		Study Case SC	SN:	12345678
Engineer:	Ibnu Maulana Siddiq		Revision:	Base
Filename:	Final Project		Config:	Normal

SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus4**
 Prefault voltage = 230.000 kV
 = 100.00 % of nominal bus kV (230.000 kV)
 = 100.00 % of base kV (230.000 kV)

Contribution		3-Phase Fault			Line-To-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
		% V From Bus	E.A. System rms	% Voltage at From Bus	V/B	V/C	E.A. Symm. rms L4	RI	XL	RO	XO
Bus4	Total	0.00	2.926	0.00	83.61	82.02	4.020	4.020	8.57E+000	1.04E-001	3.38E+000
Bus5	Bus4	0.37	1.090	0.54	83.60	87.01	1.740	1.740	7.30E+001	1.71E-001	7.81E+000
Bus6	Bus4	0.29	0.783	0.42	83.61	82.04	1.123	1.193	3.20E+001	5.11E-001	1.14E+001
Bus1	Bus4	52.48	1.054	71.60	73.40	91.57	1.304	1.087	2.38E+001	3.66E-001	1.25E+001
Bus7	Bus5	0.69	1.000	1.00	83.59	81.99	1.594	1.740	2.20E+001	1.61E-001	7.22E+000
Bus9	Bus6	0.61	0.793	0.87	83.60	82.01	1.123	1.193	3.19E+001	4.94E-001	1.13E+001
Gen1	Bus1	100.00	14.690	100.00	100.00	100.00	11.392	0.000	1.13E+001	4.04E-001	2.83E+000

Short Circuit Report Fault Bus 5

<p>Project: Skripsi</p> <p>Location: ETAP</p> <p>Contract: 7.5.0</p> <p>Engineer: Ibnu Maulana Siddiq</p> <p>Filename: Final Project</p>	<p>Page: 1</p> <p>Date: 22-09-2015</p> <p>SN: 17345678</p> <p>Revision: Base</p> <p>Config.: Normal</p>
<p>Study Case: SC</p>	

SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus5**

Prefault voltage = 230,000 kV

- 100.00 % of nominal bus kV (230,000 kV)
 - 100.00 % of line kV (230,000 kV)

Contribution		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus	kV	V/c	Ia	kA Symm. rms	R1	X1	B10	X01
Bus5	Total	0.00	2.923	0.00	83.61	82.01	4.016	4.016	2.89E+001	8.58E+000	1.04E+001	3.38E+000
Bus4	Bus5	0.30	1.470	0.63	83.62	82.03	1.920	1.770	4.50E+001	1.71E+001	1.90E+001	7.67E+000
Bus7	Bus5	0.42	1.455	0.61	83.60	82.00	2.006	2.246	7.08E+001	1.73E+001	7.14E+001	6.04E+000
Bus6	Bus4	0.66	0.421	0.89	83.61	82.02	0.628	0.606	5.81E+001	5.93E+001	2.80E+001	1.93E+001
Bus1	Bus4	52.71	1.039	71.74	73.52	91.60	1.294	1.074 *	3.70E+001	2.38E+001	3.66E+001	1.25E+001
Bus8	Bus7	0.62	0.303	0.87	83.60	82.00	0.308	0.368	5.55E+000	8.23E+001	2.20E+000	3.64E+001
Bus2	Bus7	33.14	1.150	60.68	62.82	89.85	1.698	1.878 *	7.30E+001	2.17E+001	2.09E+001	7.14E+000

Short Circuit Report Fault Bus 6

Project:	Sikripai	Page:	1
Location:		Date:	27-09-2015
Contract:		SN:	12345678
Engineer:	Ibnu Maulana Siddiq	Revision:	Base
File name:	Final Project	Config:	Normal

ETAP
7.2.0

Study Case: SC

SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus6**

Prefault voltage = 230.000 kV

- 100.00 % of nominal bus kV (230.000 kV)
- 100.00 % of base kV (230.000 kV)

From Bus ID	To Bus ID	3-Phase Fault			Line-To-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
		% V From Bus	kA Symm. rms	kA LA Symm. rms	% Voltage at From Bus	Vb	Vc	k1	X1	k0	X0
Bus6	Total	0.00	2.916	4.002	83.66	82.09	82.09	2.93E+001	8.60E+000	1.09E+001	3.40E+000
Bus5	Bus6	0.65	1.739	2.337	83.66	83.10	83.10	4.47E+001	1.40E+001	1.67E+001	6.07E+000
Bus4	Bus6	0.48	1.177	1.665	83.65	82.08	82.08	8.25E+001	2.14E+001	2.04E+001	7.82E+000
Bus3	Bus6	0.88	0.892	1.046	83.65	82.08	82.08	9.50E+001	3.60E+001	2.45E+001	1.13E+001
Bus1	Bus6	52.78	1.047	1.292	73.57	91.63	1.074 *	7.70E+001	2.38E+001	3.66E+001	1.25E+001
Bus8	Bus6	0.79	0.451	0.635	83.65	82.08	82.08	2.57E+000	5.24E+001	9.80E+001	2.03E+001
Bus3	Bus6	36.65	0.726	1.030	64.71	90.09	1.076 *	1.15E+000	3.44E+001	3.66E+001	1.25E+001

Short Circuit Report Fault Bus 7

Project:	Skripsi	Page:	1
Location:		Date:	22-09-2015
Contract:		SN:	12345678
Engineer:	Ibnu Maulana Siddiq	Revision:	Base
Filename:	Final Project	Config:	Normal

ETAP
7.5.0

Study Case: SC

SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus7**

Prefault voltage = 230.000 kV

= 100.00 % of nominal bus kV (230.000 kV)
= 100.00 % of base kV (230.000 kV)

Bus /	From Bus ID	To Bus ID	3-Phase Fault			Line-To-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"					
			% V From Bus	kA Symm. rms	kA	% Voltage at From Bus	Va	Vb	Vc	Lx Symm. rms	Lx	R1	X1	R0
		Total	0.00	2.925		0.00	83.36	81.06	-4.023	4.023	2.89E+001	8.58E+000	1.03E+001	3.36E+000
Bus5		Bus7	0.34	1.162		0.43	83.57	81.97	1.497	1.303	2.23E+001	2.16E+001	6.39E+002	1.01E+001
Bus8		Bus7	0.40	0.609		0.53	83.57	81.96	0.818	0.786	3.22E+000	4.11E+001	1.28E+000	1.72E+001
Bus2		Bus7	32.86	1.155		60.48	62.65	89.81	1.710	1.895	7.30E+001	2.17E+001	2.09E+001	7.14E+000
Bus9		Bus5	0.71	1.167		0.94	83.48	81.00	1.497	1.343	5.14E+001	7.15E+001	5.54E+002	1.00E+001
Bus9		Bus8	0.87	0.609		1.00	83.57	81.07	0.818	0.786	3.09E+000	4.09E+001	1.25E+000	1.70E+001
Line2		Bus2	100.00	14.75		100.00	100.00	100.00	11.910	0.000	5.21E+001	1.464E+001	5.21E+001	3.65E+000

Short Circuit Report Fault Bus 8

Project: Skripsi Page: 1
 Location: ETAP Date: 22-09-2015
 Contract: 7.5.0 SN: 12345678
 Engineer: Ibnu Maulana Siddiq Revision: Base
 Filename: Final Project Study Case: SC Config.: Normal

SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus8**

Prefault voltage = 230.000 kV

- 100.00 % of nominal bus kV (230.000 kV)
 - 100.00 % of base kV (230.000 kV)

From Bus ID	To Bus ID	3-Phase Fault			1 line-To-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"					
		% V From Bus	kA Symm. rms	kA	% Voltage at From Bus	Va	Vb	Vc	kA Symm. rms Ia	R1	X1	R0	X0
Bus4	Total	0.00	2.906	0.00	83.68	82.15	82.15	3.086	3.086	3.02E+001	8.63E+000	1.16E+001	3.42E+000
Bus7	Bus8	1.05	1.609	1.45	83.67	82.14	82.14	2.225	2.225	9.46E+001	1.56E+001	1.77E+001	6.06E+000
Bus9	Bus8	0.90	1.297	1.22	83.68	82.15	82.15	1.762	1.754	8.29E+001	1.93E+001	3.17E+001	7.87E+000
Bus3	Bus7	1.19	0.466	1.01	83.68	82.16	82.16	0.542	0.593	5.43E+001	5.33E+001	5.91E+002	3.38E+001
Bus3	Bus7	33.56	1.143	61.01	63.03	89.93	89.93	1.683	1.680	7.30E+001	5.17E+001	2.00E+001	7.44E+000
Bus6	Bus8	1.13	0.574	1.57	83.69	83.16	83.16	0.738	0.665	2.31E+000	4.53E+001	9.41E+001	3.00E+001
Bus3	Bus8	36.91	0.723	62.82	64.83	90.14	90.14	1.024	1.068	1.15E+000	3.84E+001	3.66E+001	1.25E+001

Short Circuit Report Fault Bus 9

<p>Project: Sikripai</p> <p>Location: ETAP</p> <p>Contract: 7.2.0</p> <p>Engineer: Ibnu Maulana Siddiq</p> <p>File name: Final Project</p>	<p>Page: 1</p> <p>Date: 27-09-2015</p> <p>SN: 12345678</p> <p>Revision: Base</p> <p>Config: Normal</p>
<p>Study Case: SC</p>	

SHORT-CIRCUIT REPORT

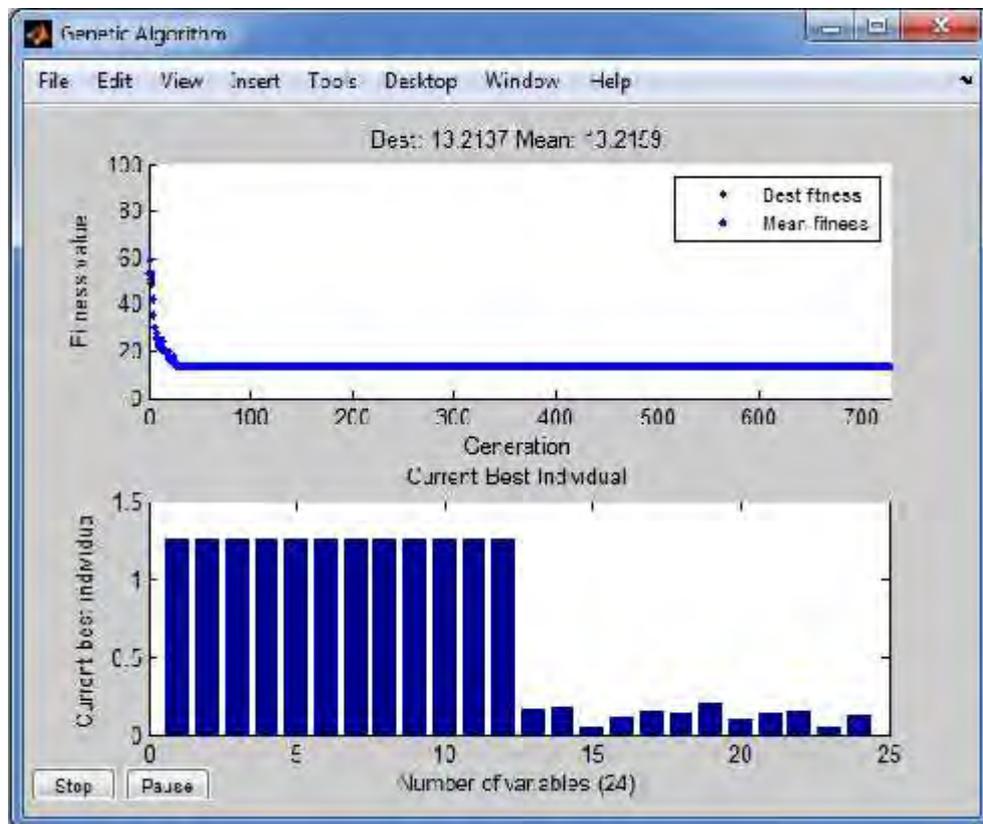
Fault at bus: Bus9

Prefault voltage = 230.000 kV

- 100.00 % of nominal bus kV (230.000 kV)
 - 100.00 % of base kV (230.000 kV)

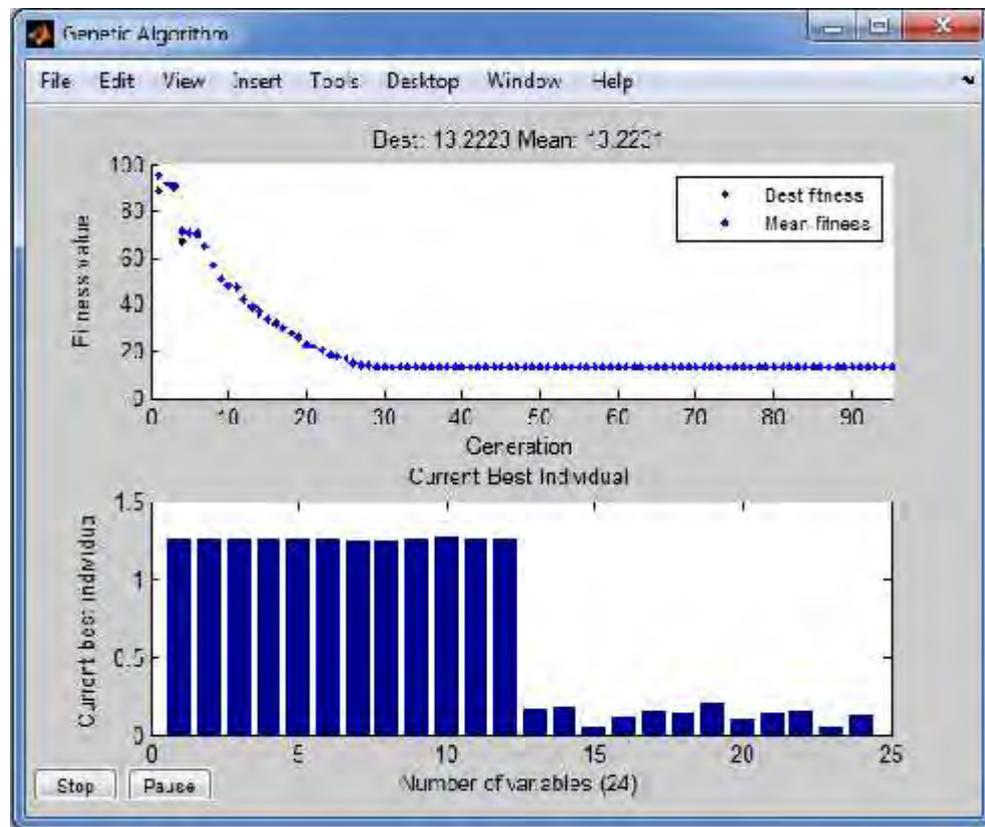
From Bus ID	To Bus ID	3-Phase Fault			Line-To-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
		% V From Bus	kA Symm. rms	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus	kA	kA Symm. rms	R1	X1	X0	
Bus9	Total	0.00	2.915	4.001	83.64	82.08	4.001	2.95E+001	8.61E+000	1.10E+001	3.40E+000
Bus6	Bus9	0.53	1.308	1.744	83.65	82.09	1.669	7.59E+001	1.97E+001	6.48E+002	8.10E+000
Bus7	Bus9	0.61	0.877	1.244	83.64	82.08	1.244	1.03E+000	2.85E+001	7.41E+001	1.09E+001
Bus3	Bus9	38.35	0.730	1.089	64.56	90.07	1.089	1.15E+000	3.44E+001	3.66E+001	1.25E+001
Bus4	Bus6	1.02	1.208	1.714	83.66	82.10	1.669	2.27E+001	1.91E+001	5.29E+002	8.06E+000
Bus5	Bus7	1.18	0.877	1.244	83.64	82.07	1.244	1.89E+000	2.84E+001	7.02E+001	1.08E+001
Gen3	Bus3	100.00	12.166	0.735	100.00	100.00	0.000	7.81E+001	2.19E+001	7.81E+001	5.47E+000

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 1



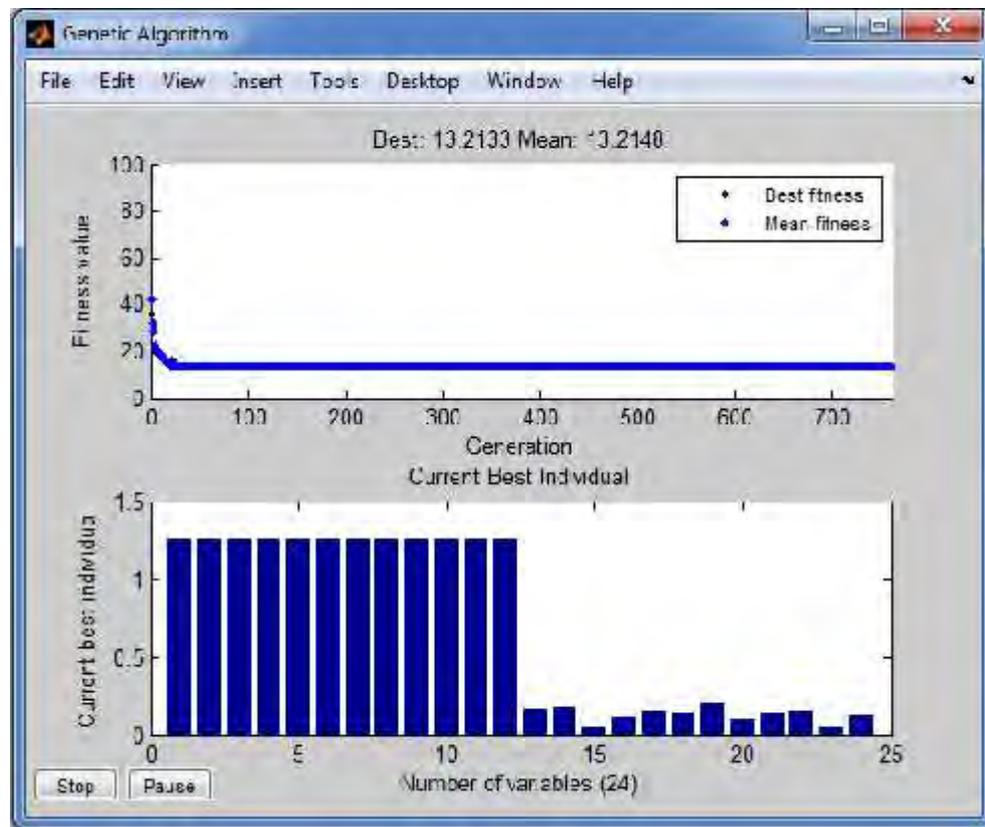
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250027385	2.431303264	0.171782232
Relay 2	1.250011851	3.381282058	0.184531155
Relay 3	1.250000815	7.800005087	0.050024872
Relay 4	1.250004388	3.743763141	0.109616817
Relay 5	1.250003397	5.031263675	0.14433233
Relay 6	1.250015192	3.028161802	0.134526552
Relay 7	1.250026658	2.43130185	0.200996272
Relay 8	1.250017926	3.38129849	0.10515142
Relay 9	1.250008523	7.800053186	0.140838017
Relay 10	1.250009984	3.743779901	0.14942343
Relay 11	1.250022339	5.031339914	0.050009767
Relay 12	1.250055805	3.028260187	0.122560042

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 2



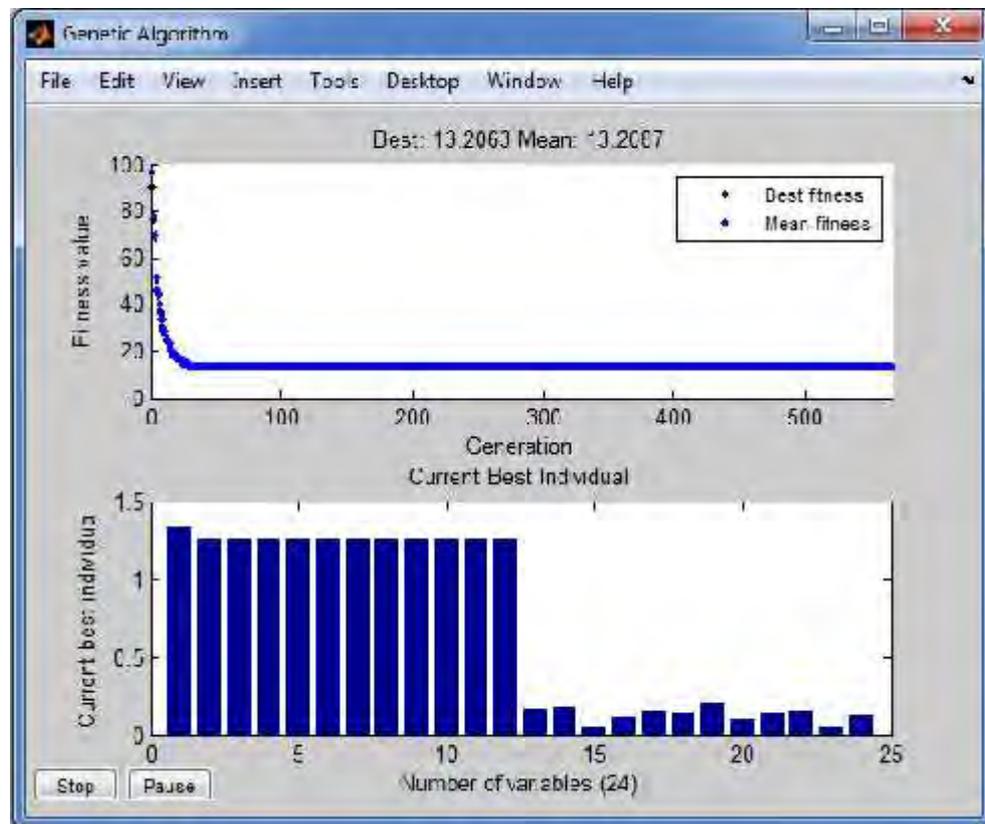
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250048673	2.431344668	0.171783039
Relay 2	1.250110507	3.381548921	0.184675176
Relay 3	1.250021151	7.800131983	0.050010038
Relay 4	1.250030574	3.743841569	0.109724548
Relay 5	1.250116133	5.031717434	0.14438764
Relay 6	1.250014226	3.028159463	0.134496697
Relay 7	1.25	2.43125	0.201164558
Relay 8	1.25	3.38125	0.105240061
Relay 9	1.250115871	7.800723038	0.140917447
Relay 10	1.26214604	3.780127389	0.148604822
Relay 11	1.250050545	5.031453443	0.050116734
Relay 12	1.250037283	3.028215317	0.122780357

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 3



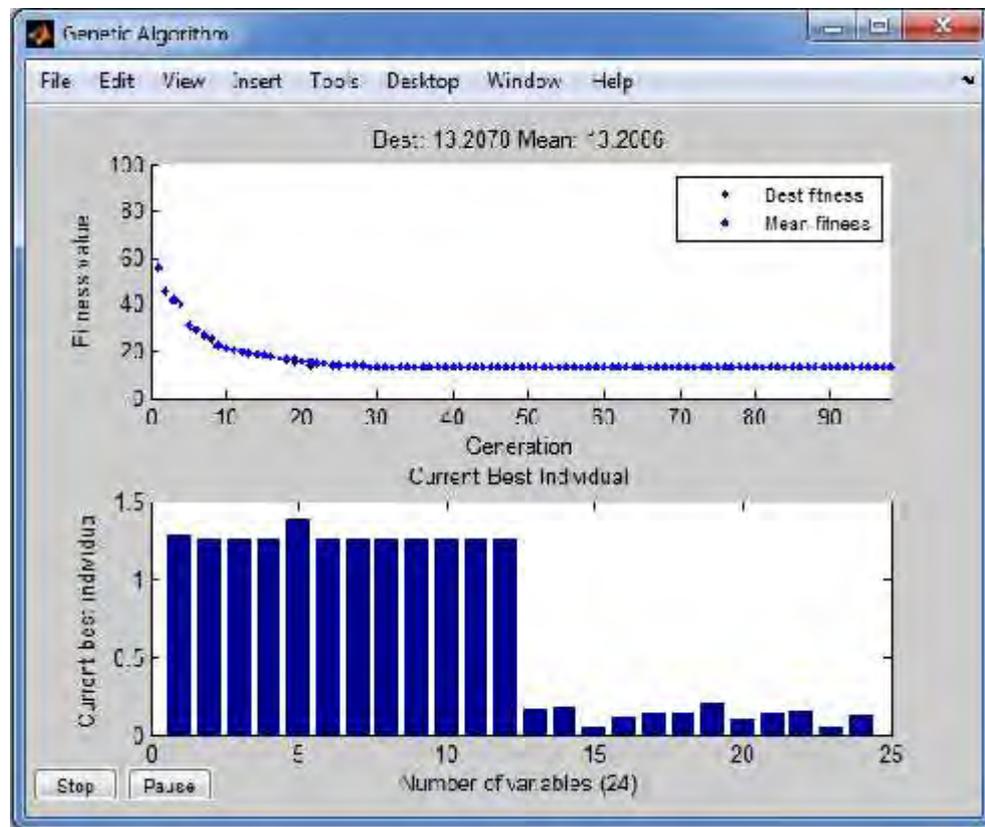
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250000298	2.431250579	0.171753943
Relay 2	1.25000639	3.381267285	0.184586357
Relay 3	1.250006142	7.800038324	0.050005051
Relay 4	1.250005096	3.743765263	0.109646631
Relay 5	1.25595236	5.055208251	0.143833942
Relay 6	1.250022318	3.028179066	0.134488827
Relay 7	1.250009577	2.431268627	0.201067741
Relay 8	1.250292465	3.382041118	0.105115135
Relay 9	1.250019073	7.800119019	0.140934032
Relay 10	1.25451095	3.757260297	0.149055143
Relay 11	1.250002146	5.031258637	0.050006942
Relay 12	1.250061169	3.028273183	0.122560829

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 4



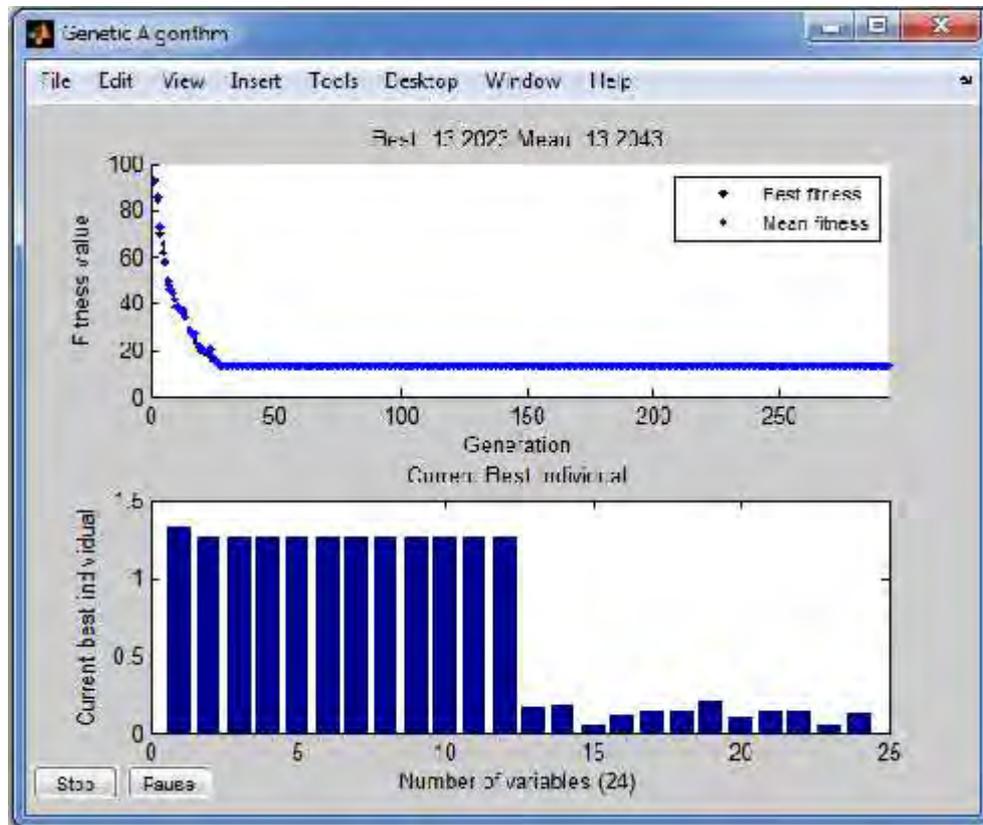
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.333873398	2.594383758	0.167134994
Relay 2	1.250012353	3.381283415	0.184531697
Relay 3	1.250003576	7.800022316	0.050002369
Relay 4	1.250006139	3.743768387	0.109593725
Relay 5	1.250005841	5.031273511	0.144240834
Relay 6	1.250001376	3.028128334	0.134401573
Relay 7	1.250004858	2.431259448	0.201005289
Relay 8	1.250862472	3.383582988	0.104902483
Relay 9	1.250000582	7.800003634	0.140854963
Relay 10	1.250009223	3.743777623	0.149213905
Relay 11	1.250003234	5.031263015	0.050000639
Relay 12	1.250010032	3.028149301	0.12254325

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 5



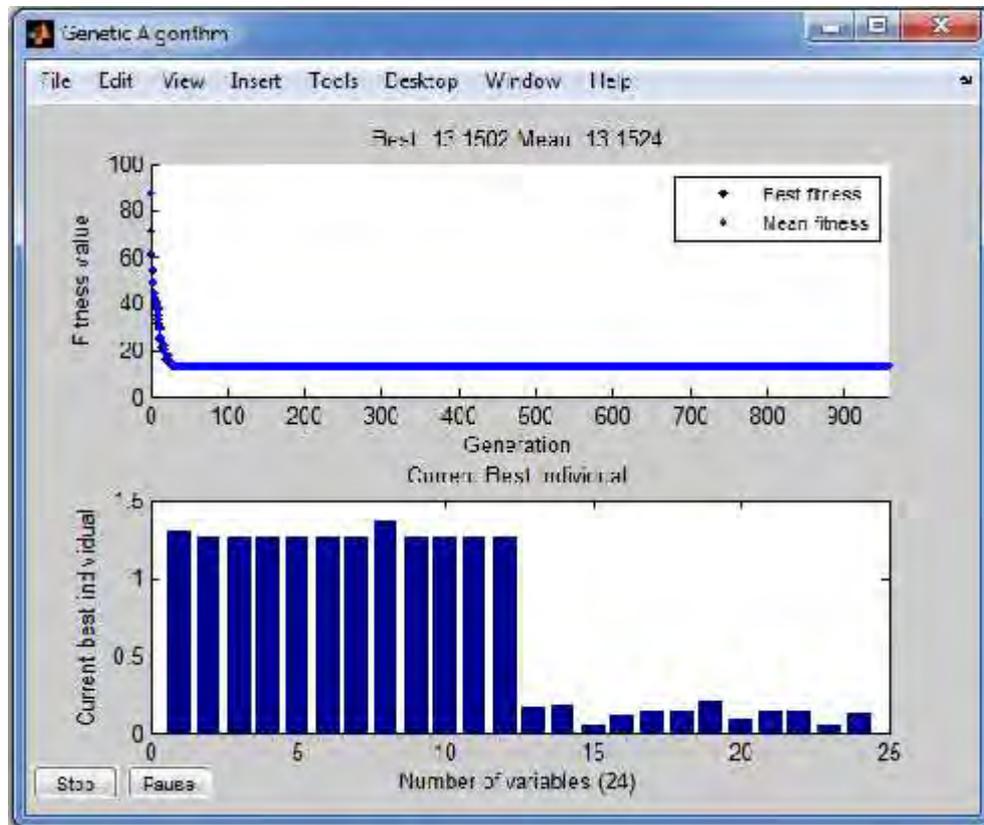
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.28730783	2.503813728	0.169672013
Relay 2	1.250036918	3.381349864	0.184743582
Relay 3	1.250015259	7.800095215	0.050008264
Relay 4	1.250076294	3.7439785	0.109746782
Relay 5	1.388778687	5.589834213	0.133890087
Relay 6	1.250059036	3.028268014	0.13454792
Relay 7	1.250084124	2.431413621	0.201214123
Relay 8	1.25003707	3.381350274	0.105117668
Relay 9	1.250200711	7.801252437	0.140926925
Relay 10	1.250574961	3.745472009	0.149337927
Relay 11	1.250092976	5.031624227	0.050018207
Relay 12	1.250068963	3.028292064	0.122648945

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 6



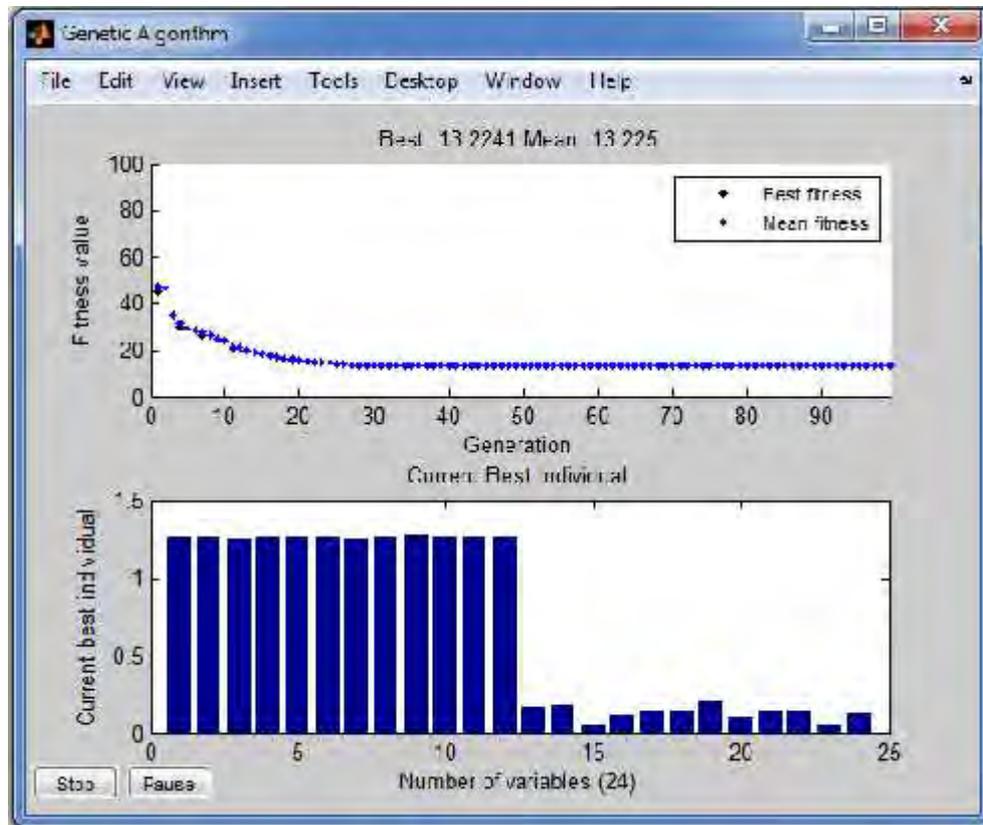
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.327391103	2.581775695	0.167486651
Relay 2	1.250031054	3.381334001	0.184291727
Relay 3	1.250002146	7.80001339	0.050005021
Relay 4	1.250016645	3.743799851	0.109383356
Relay 5	1.251173005	5.035971343	0.144195357
Relay 6	1.250009134	3.028147128	0.134463223
Relay 7	1.250009701	2.431268868	0.200834989
Relay 8	1.250010472	3.381278328	0.105002698
Relay 9	1.250007983	7.800049813	0.140751181
Relay 10	1.250012115	3.743786285	0.149293983
Relay 11	1.250006452	5.03127597	0.050009073
Relay 12	1.269638494	3.075699251	0.12135296

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 7



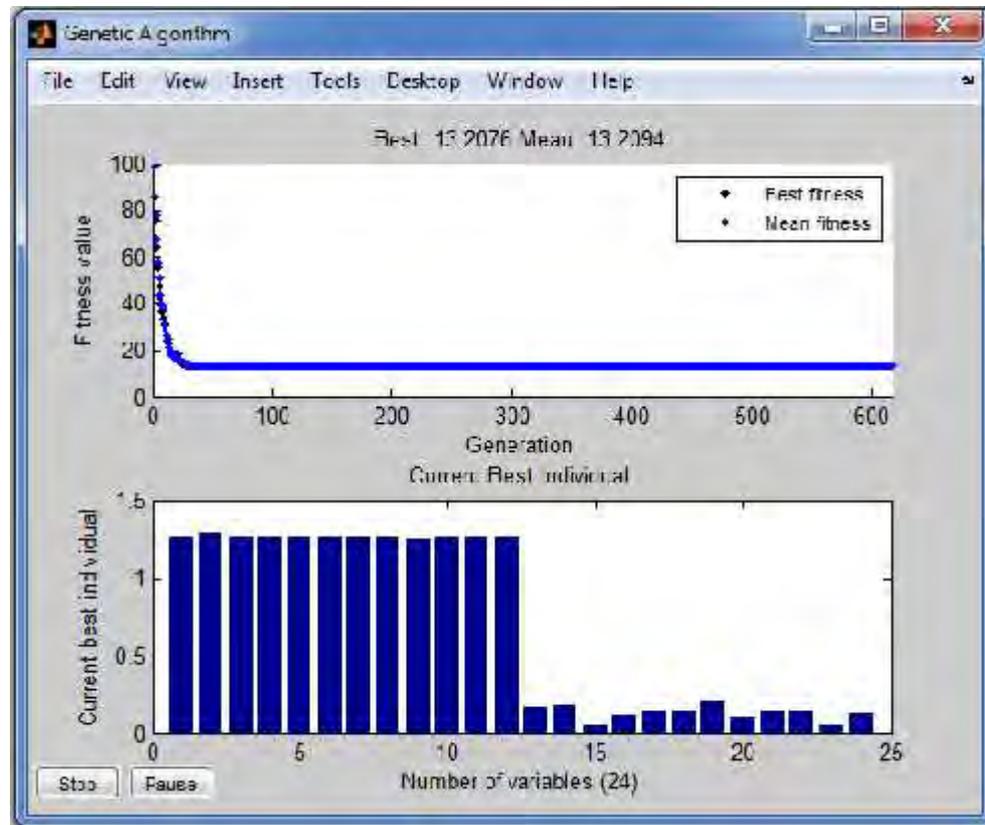
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.299929699	2.528363264	0.168961207
Relay 2	1.250008865	3.381273979	0.18442601
Relay 3	1.250001022	7.800006376	0.050001891
Relay 4	1.253029421	3.752823116	0.109390967
Relay 5	1.25000532	5.031271412	0.143024101
Relay 6	1.251290686	3.031251686	0.132637272
Relay 7	1.250011817	2.431272983	0.200900352
Relay 8	1.358780071	3.675500092	0.097232829
Relay 9	1.250012666	7.800079036	0.140788704
Relay 10	1.250002423	3.743757258	0.146601228
Relay 11	1.250000954	5.031253839	0.05000426
Relay 12	1.250013278	3.028157165	0.122546364

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 8



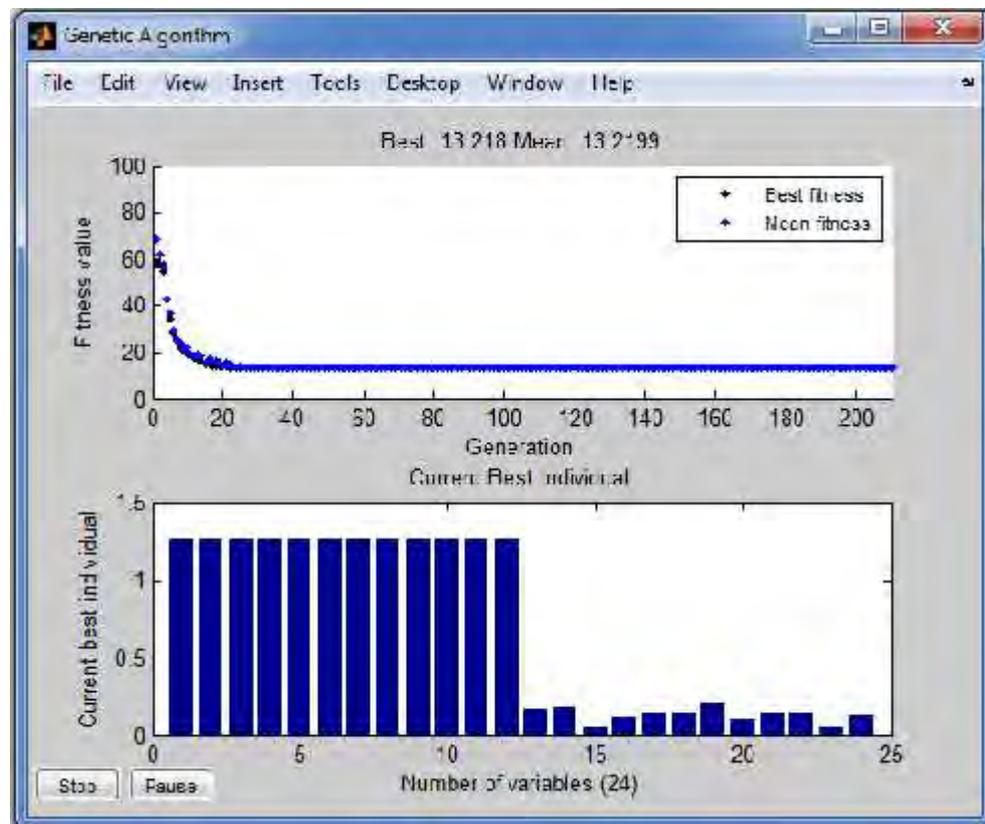
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250101486	2.431447391	0.171928736
Relay 2	1.250017925	3.381298488	0.184748814
Relay 3	1.25	7.8	0.050100433
Relay 4	1.250005062	3.74376516	0.109767792
Relay 5	1.25012207	5.031741333	0.144360352
Relay 6	1.250032501	3.028203734	0.134553421
Relay 7	1.25	2.43125	0.201231072
Relay 8	1.250326341	3.382132754	0.105192743
Relay 9	1.274902344	7.955390625	0.138701541
Relay 10	1.251953125	3.749599609	0.149325541
Relay 11	1.250118969	5.031728849	0.050102163
Relay 12	1.250151633	3.028492332	0.122690215

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 9



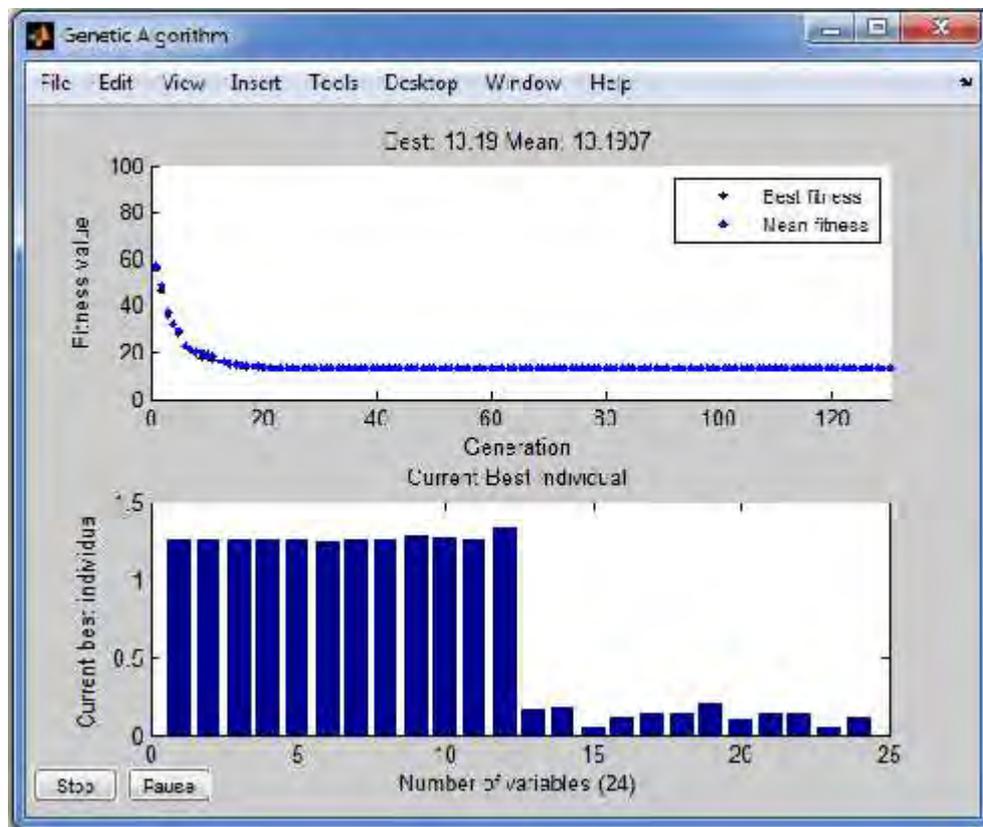
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250000432	2.43125084	0.171740581
Relay 2	1.292462358	3.496110677	0.181722396
Relay 3	1.250005719	7.800035687	0.050001332
Relay 4	1.250028384	3.743835011	0.10958871
Relay 5	1.250000418	5.031251683	0.144319713
Relay 6	1.250002041	3.028129945	0.134506541
Relay 7	1.250005215	2.431260144	0.200728177
Relay 8	1.25000228	3.381256167	0.10513579
Relay 9	1.25	7.8	0.140697938
Relay 10	1.250986204	3.74670368	0.14931995
Relay 11	1.250004157	5.031266734	0.050002472
Relay 12	1.250043973	3.028231525	0.122543772

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 10



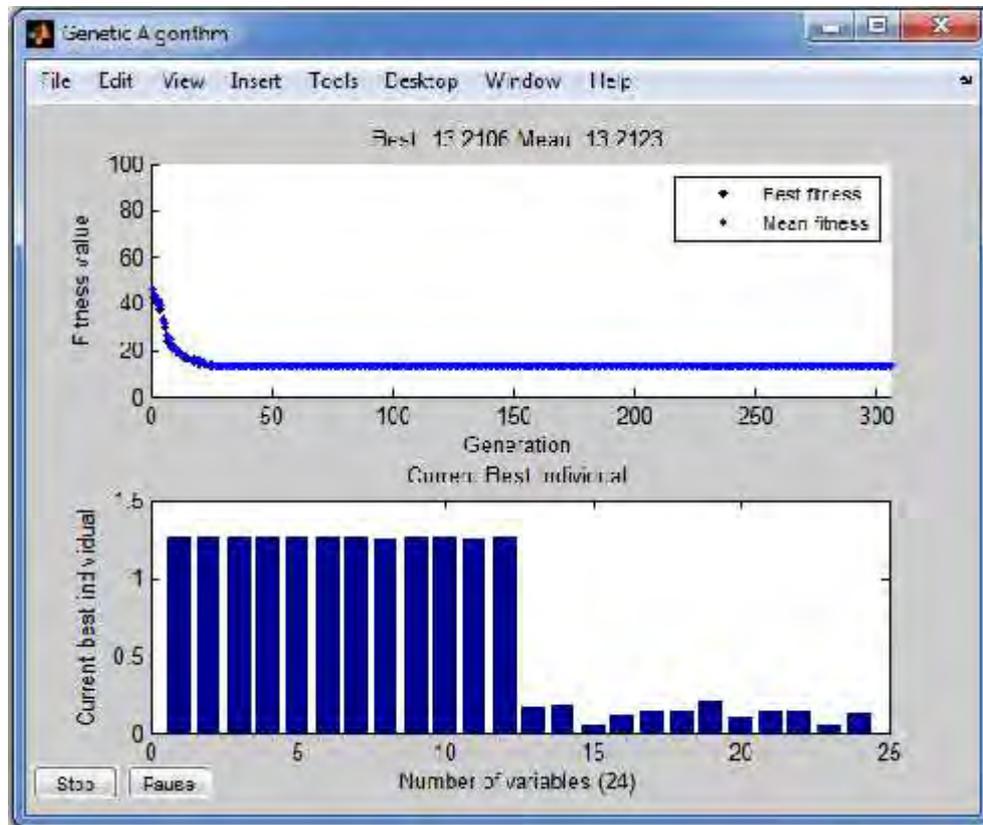
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250005799	2.431261279	0.171870821
Relay 2	1.250017284	3.381296753	0.184566089
Relay 3	1.250002553	7.800015928	0.050059296
Relay 4	1.250046163	3.743888259	0.109618772
Relay 5	1.250018925	5.031326174	0.144348315
Relay 6	1.250030834	3.028199695	0.134549502
Relay 7	1.250048235	2.431343817	0.201047618
Relay 8	1.250051489	3.381389279	0.105189305
Relay 9	1.250003148	7.800019645	0.140894309
Relay 10	1.250049991	3.743899723	0.149442296
Relay 11	1.250040893	5.031414593	0.050039914
Relay 12	1.250032246	3.028203116	0.122599719

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 11



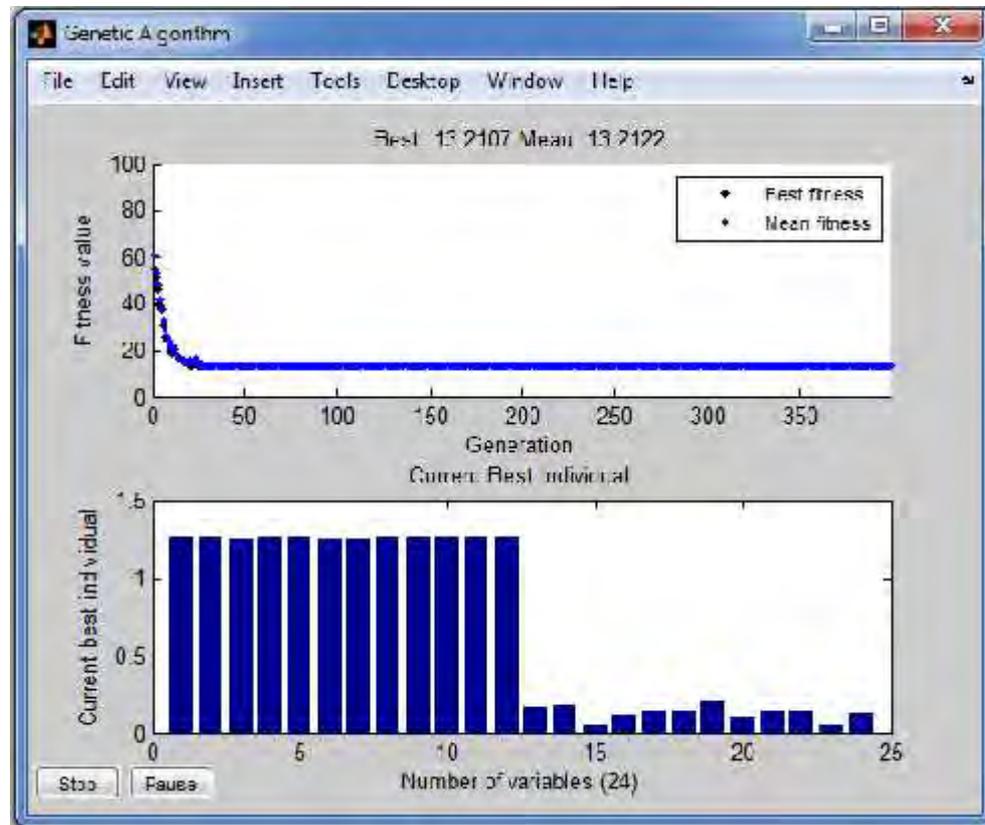
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250057739	2.431362303	0.17190094
Relay 2	1.250056497	3.381402825	0.183662705
Relay 3	1.25011598	7.800723714	0.050071976
Relay 4	1.251239911	3.747463532	0.10870214
Relay 5	1.250107139	5.031681234	0.144358518
Relay 6	1.25	3.028125	0.134458853
Relay 7	1.250087443	2.431420076	0.200351338
Relay 8	1.250114441	3.381559563	0.105227005
Relay 9	1.290537357	8.05295311	0.13687588
Relay 10	1.262573242	3.78140686	0.148563815
Relay 11	1.250091553	5.0316185	0.050027294
Relay 12	1.327097725	3.21489424	0.117974641

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 12



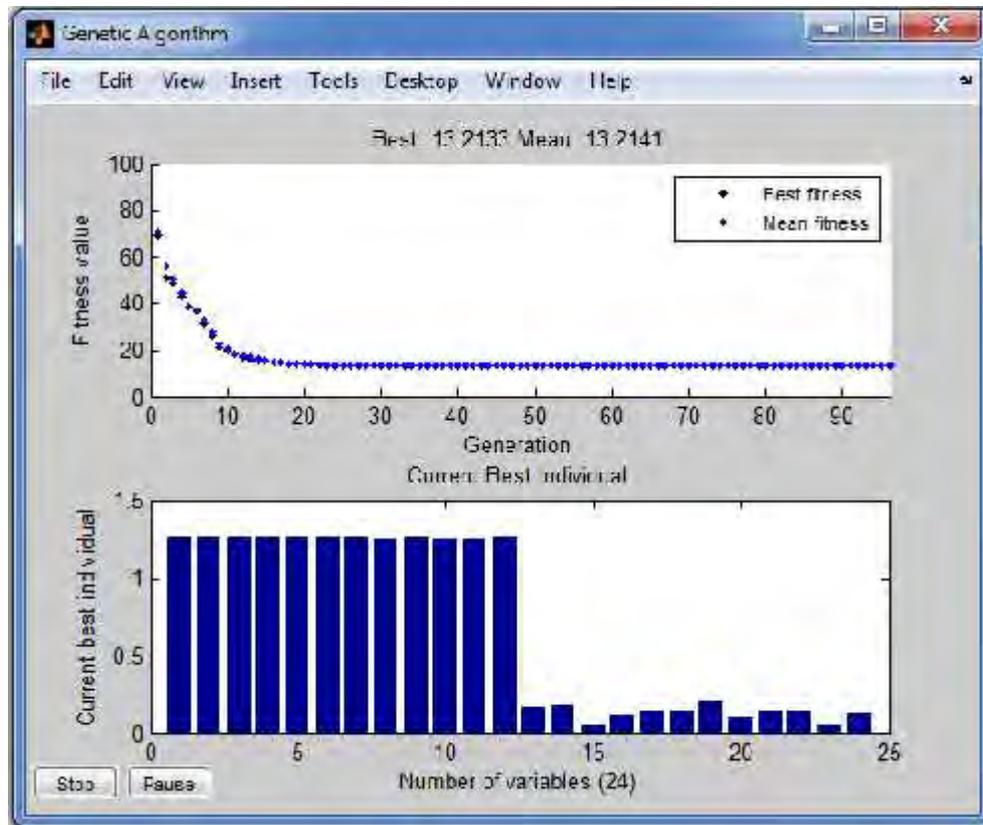
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250001921	2.431253736	0.171758265
Relay 2	1.250000964	3.381252608	0.184544939
Relay 3	1.250010816	7.800067492	0.05000123
Relay 4	1.250006104	3.743768283	0.109613615
Relay 5	1.250000928	5.031253736	0.144231885
Relay 6	1.250000698	3.028126691	0.134389738
Relay 7	1.250000015	2.431250029	0.20099249
Relay 8	1.25	3.38125	0.105173364
Relay 9	1.250046998	7.800293269	0.140828987
Relay 10	1.268669814	3.799666093	0.148068076
Relay 11	1.25	5.03125	0.050020204
Relay 12	1.250368029	3.02901655	0.12254947

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 13



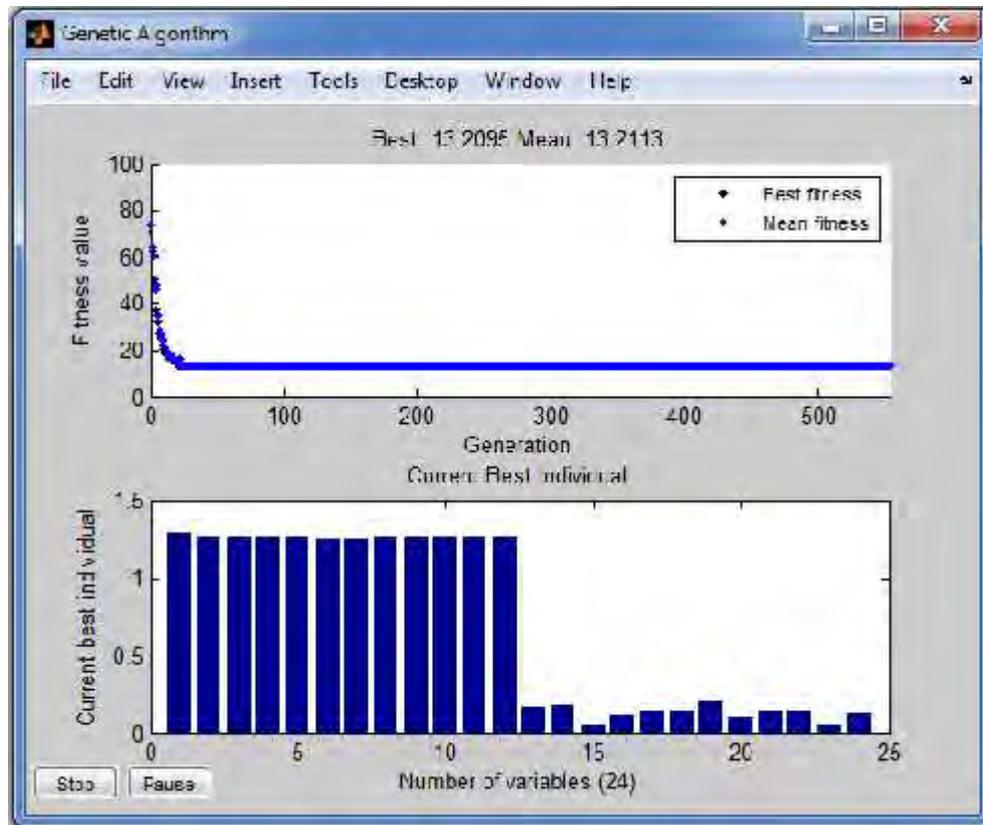
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.254069968	2.439166088	0.171511012
Relay 2	1.250009339	3.381275261	0.184463547
Relay 3	1.25	7.8	0.050002387
Relay 4	1.25003517	3.743855334	0.109550749
Relay 5	1.25000635	5.03127556	0.144350644
Relay 6	1.25	3.028125	0.134551658
Relay 7	1.25	2.43125	0.200940556
Relay 8	1.250005975	3.381266163	0.105125422
Relay 9	1.250005824	7.800036344	0.140808249
Relay 10	1.250013128	3.743789318	0.149399048
Relay 11	1.250013292	5.0313035	0.050000412
Relay 12	1.253263289	3.036030318	0.122341418

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 14



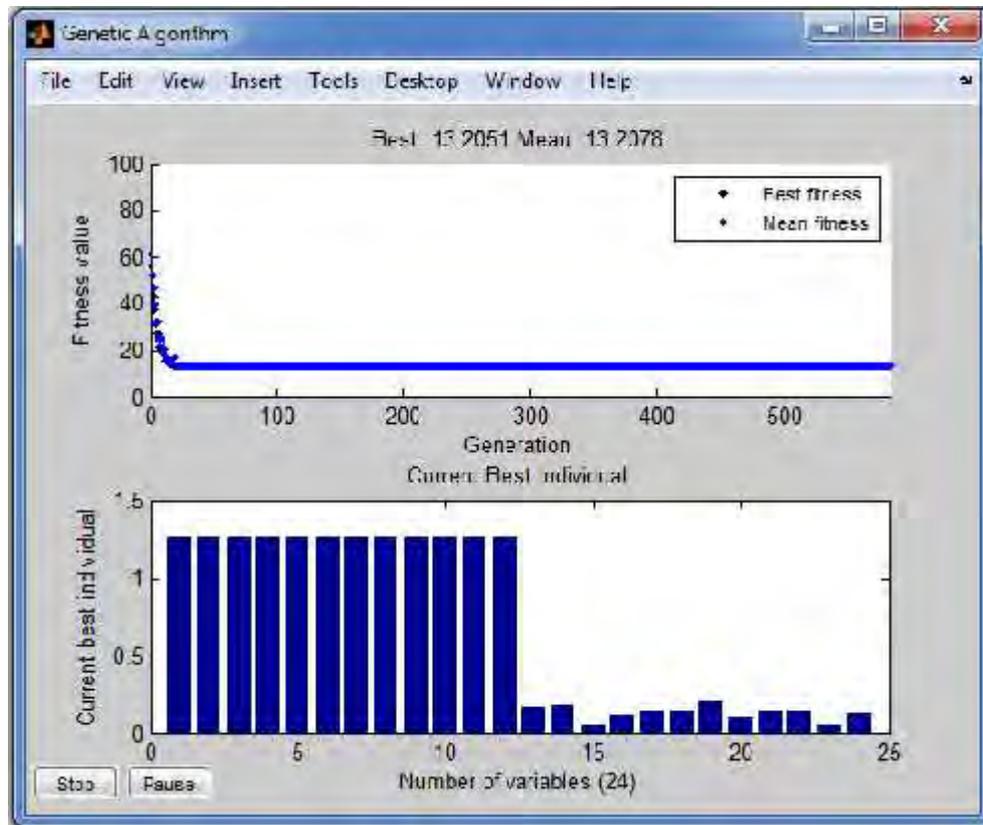
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.251110667	2.433410248	0.171694906
Relay 2	1.250035685	3.381346528	0.184478789
Relay 3	1.250051498	7.80032135	0.050009549
Relay 4	1.255012941	3.758763759	0.109305878
Relay 5	1.250035049	5.031391074	0.144387822
Relay 6	1.250020809	3.028175409	0.134545018
Relay 7	1.250106603	2.431457343	0.200935085
Relay 8	1.25	3.38125	0.105157406
Relay 9	1.250153525	7.800957997	0.140791387
Relay 10	1.25	3.74375	0.1494164
Relay 11	1.25	5.03125	0.05001622
Relay 12	1.250092374	3.028348777	0.122623776

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 15



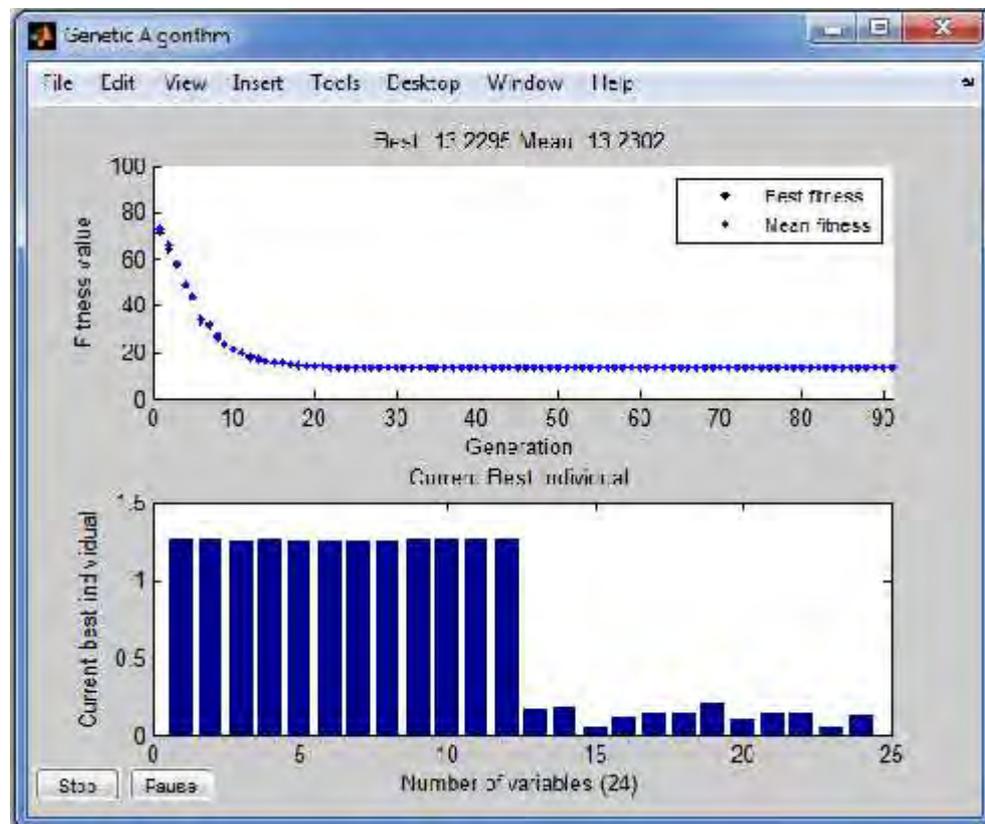
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.290157098	2.509355556	0.169503653
Relay 2	1.250016732	3.381295261	0.184517082
Relay 3	1.250021626	7.800134944	0.050004325
Relay 4	1.250008543	3.743775586	0.109596984
Relay 5	1.250000302	5.031251215	0.144303831
Relay 6	1.25	3.028125	0.134466975
Relay 7	1.25	2.43125	0.20098085
Relay 8	1.250005767	3.381265599	0.105057316
Relay 9	1.250010429	7.800065077	0.14083699
Relay 10	1.250004526	3.743763556	0.149320004
Relay 11	1.250003276	5.031263185	0.050003335
Relay 12	1.250040432	3.028222946	0.122554691

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 16



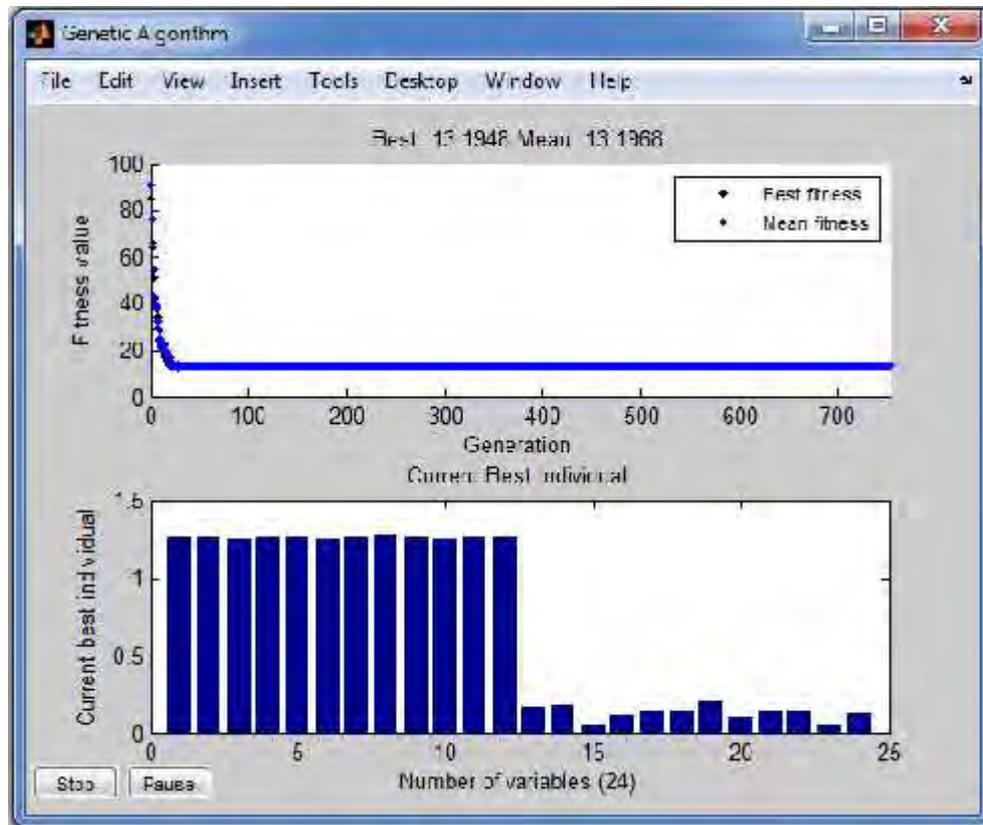
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250133444	2.431509549	0.171729449
Relay 2	1.250001293	3.381253499	0.184315916
Relay 3	1.250002161	7.800013486	0.050000359
Relay 4	1.257050474	3.76486617	0.109123261
Relay 5	1.25013751	5.031803477	0.144216176
Relay 6	1.250000022	3.028125053	0.134385841
Relay 7	1.250199338	2.431637712	0.200799003
Relay 8	1.250084838	3.381479488	0.105122621
Relay 9	1.250010636	7.800066368	0.140738
Relay 10	1.263301625	3.783588366	0.148412502
Relay 11	1.250002905	5.031261692	0.050000876
Relay 12	1.250004381	3.028135613	0.122541872

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 17



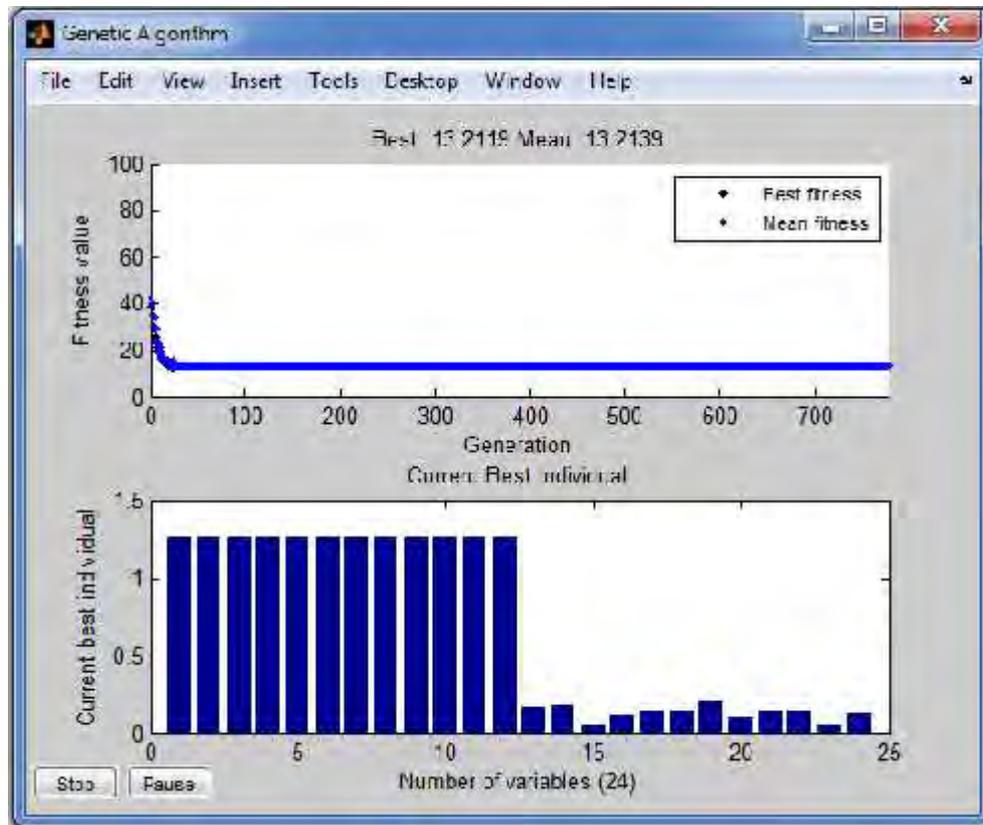
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250001167	2.431252271	0.171987453
Relay 2	1.260304426	3.409123473	0.18402995
Relay 3	1.25	7.8	0.050082017
Relay 4	1.25	3.74375	0.109792138
Relay 5	1.25	5.03125	0.144482422
Relay 6	1.25	3.028125	0.134710105
Relay 7	1.25	2.43125	0.201137357
Relay 8	1.25	3.38125	0.105313021
Relay 9	1.250016603	7.800103602	0.140979555
Relay 10	1.251095841	3.747032045	0.149485028
Relay 11	1.250003042	5.031262246	0.050111576
Relay 12	1.250045314	3.028234773	0.122713606

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 18



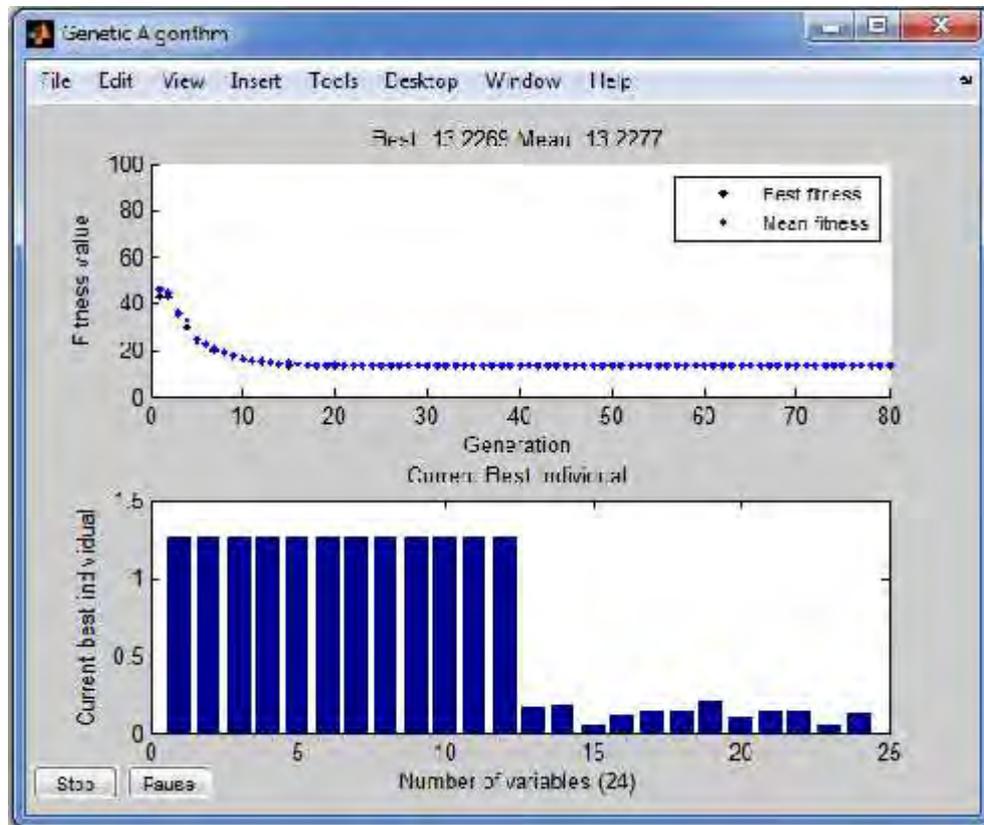
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.25000069	2.431251343	0.171739262
Relay 2	1.250000838	3.381252266	0.184406755
Relay 3	1.25	7.8	0.050000658
Relay 4	1.250114561	3.744093112	0.109491947
Relay 5	1.250006707	5.031276995	0.144017878
Relay 6	1.25	3.028125	0.134098667
Relay 7	1.250002985	2.431255806	0.200884832
Relay 8	1.27624179	3.452234042	0.103186603
Relay 9	1.250004905	7.800030606	0.14077496
Relay 10	1.25	3.74375	0.148741844
Relay 11	1.25000146	5.031255878	0.050000801
Relay 12	1.258175842	3.047930978	0.122039412

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 19



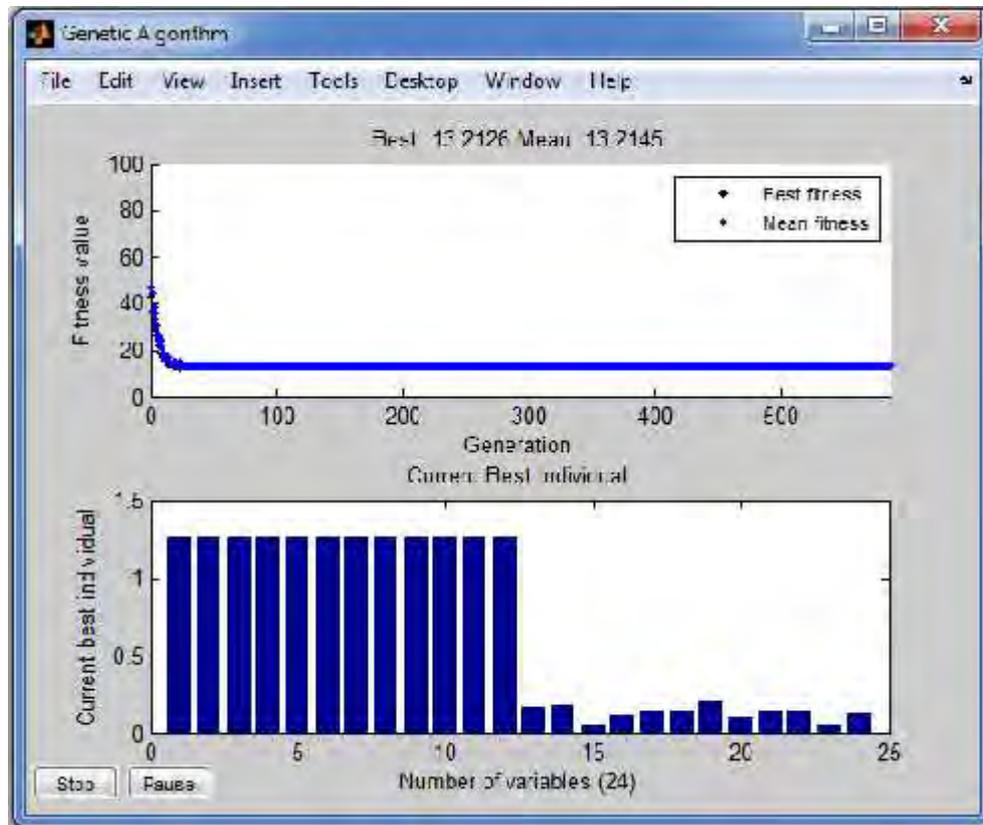
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.25000058	2.431251127	0.171745758
Relay 2	1.250012313	3.381283306	0.184510148
Relay 3	1.250001452	7.800009063	0.050001006
Relay 4	1.250000872	3.74375261	0.109598006
Relay 5	1.250000808	5.031253254	0.144326702
Relay 6	1.25000042	3.028126017	0.134521175
Relay 7	1.250010205	2.431269848	0.200984961
Relay 8	1.250016611	3.381294933	0.105141679
Relay 9	1.250001615	7.800010079	0.140850646
Relay 10	1.250015412	3.743796159	0.14939782
Relay 11	1.250007571	5.031280472	0.050000288
Relay 12	1.25004266	3.028228343	0.122539727

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 20



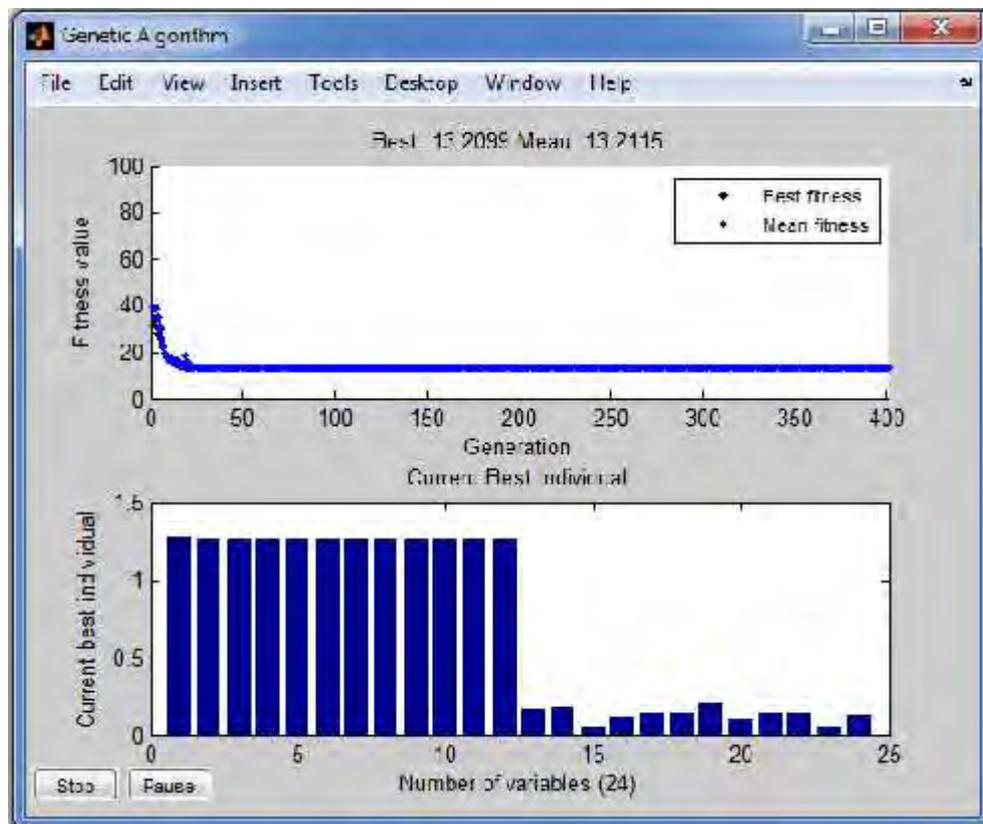
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250037692	2.431323312	0.171923481
Relay 2	1.250042378	3.381364632	0.184736959
Relay 3	1.250077176	7.80048158	0.05005834
Relay 4	1.250060127	3.743930081	0.109748431
Relay 5	1.250037135	5.031399468	0.144415774
Relay 6	1.250106818	3.028383767	0.134593039
Relay 7	1.250049705	2.431346675	0.201159617
Relay 8	1.250093559	3.381503078	0.10529359
Relay 9	1.250111218	7.800693997	0.14093363
Relay 10	1.258392544	3.76888567	0.148937343
Relay 11	1.250072701	5.031542622	0.050110675
Relay 12	1.250063574	3.028279008	0.122752441

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 21



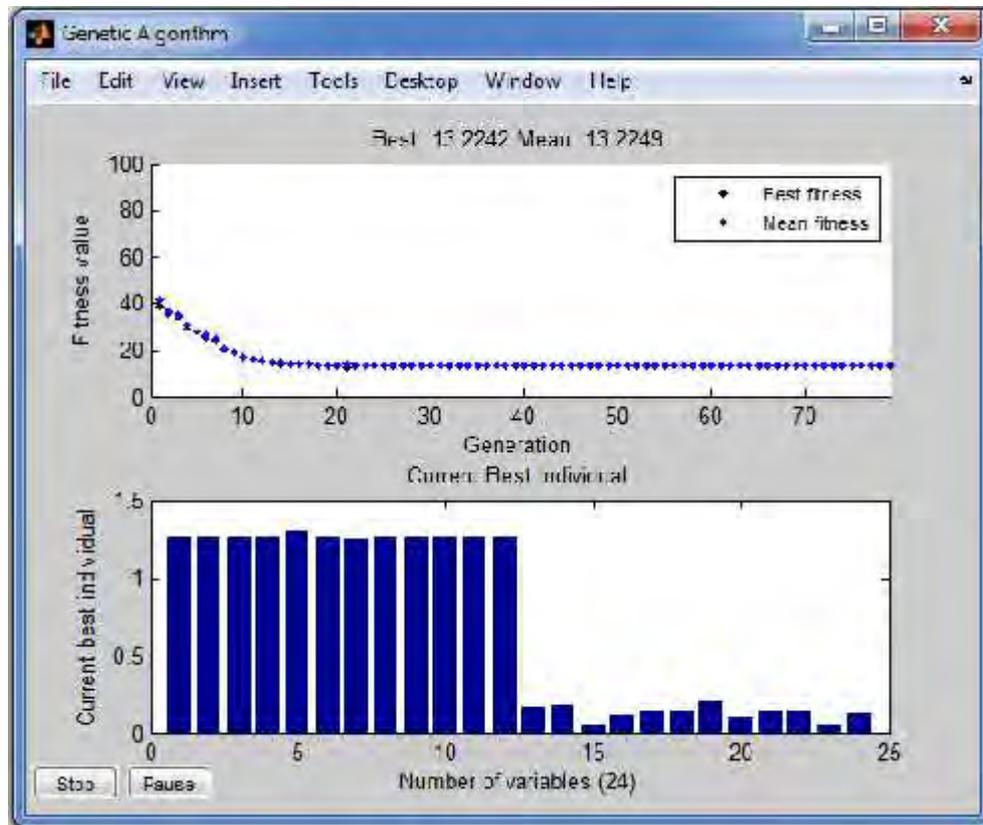
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.251846312	2.434841076	0.171644024
Relay 2	1.250007191	3.381269452	0.184518894
Relay 3	1.250001352	7.800008438	0.050006714
Relay 4	1.250032931	3.743848627	0.109593051
Relay 5	1.250000622	5.031252505	0.144338041
Relay 6	1.250016526	3.028165035	0.134525094
Relay 7	1.250003974	2.431257729	0.201016466
Relay 8	1.25001973	3.38130337	0.105135695
Relay 9	1.250012598	7.800078612	0.14085963
Relay 10	1.250011124	3.743783317	0.149406596
Relay 11	1.250001121	5.031254512	0.050001286
Relay 12	1.250007	3.028141959	0.122545002

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 22



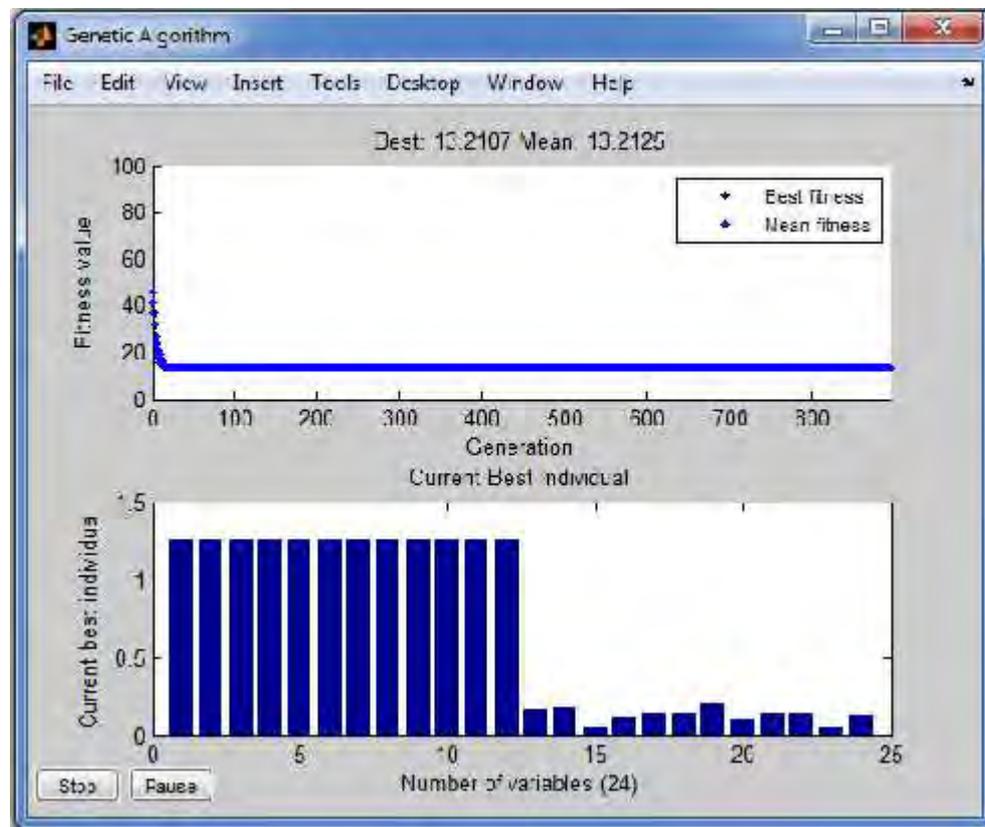
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.27413532	2.478193198	0.170384702
Relay 2	1.250110808	3.381549737	0.184500929
Relay 3	1.250009969	7.800062209	0.050000574
Relay 4	1.250013857	3.743791502	0.109596111
Relay 5	1.250012032	5.031298428	0.144303448
Relay 6	1.25000001	3.028125024	0.134490853
Relay 7	1.250005499	2.431260696	0.200964806
Relay 8	1.250000233	3.38125063	0.10508882
Relay 9	1.250006309	7.800039369	0.140824315
Relay 10	1.25002094	3.743812716	0.149354136
Relay 11	1.25000805	5.031282402	0.050000288
Relay 12	1.250022974	3.028180656	0.122540258

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 23



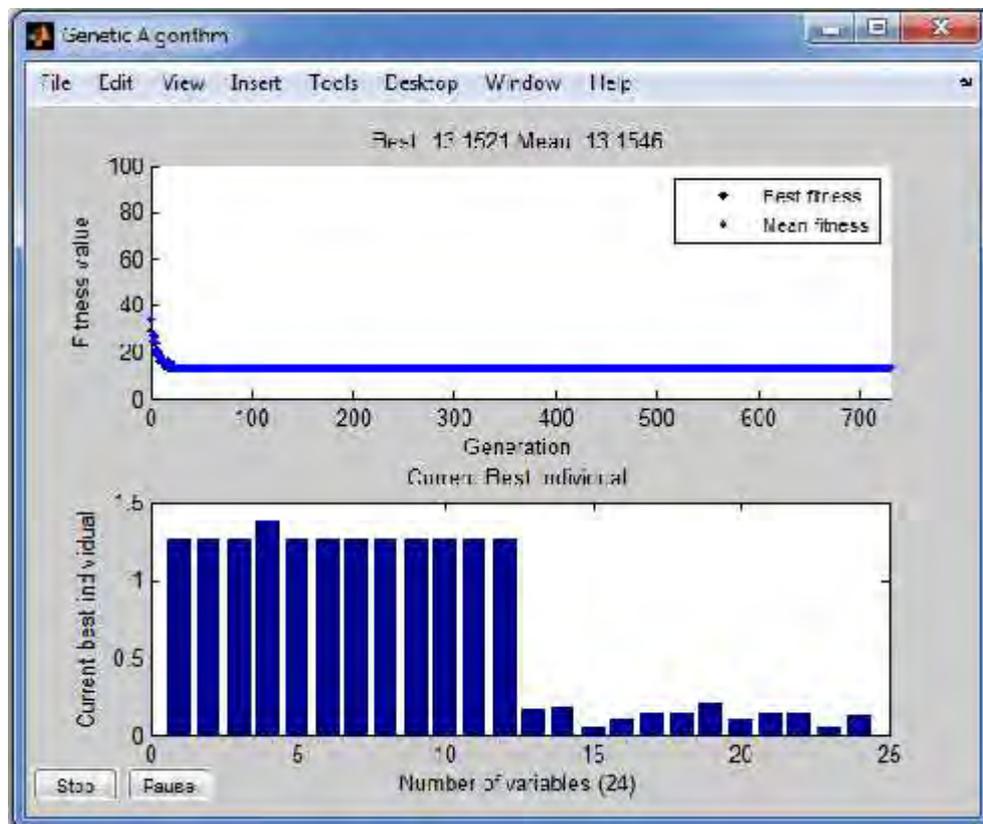
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.255388958	2.441731524	0.171613197
Relay 2	1.25006555	3.381427313	0.184674234
Relay 3	1.250057498	7.800358788	0.050091635
Relay 4	1.250621912	3.745612625	0.109669761
Relay 5	1.293713432	5.207196564	0.141028787
Relay 6	1.250104679	3.028378586	0.134677923
Relay 7	1.25	2.43125	0.20115986
Relay 8	1.250008806	3.38127382	0.105269665
Relay 9	1.250067598	7.800421814	0.141003891
Relay 10	1.250208658	3.74437493	0.149507458
Relay 11	1.250009779	5.031289359	0.050110675
Relay 12	1.250121871	3.028420233	0.122755302

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 24



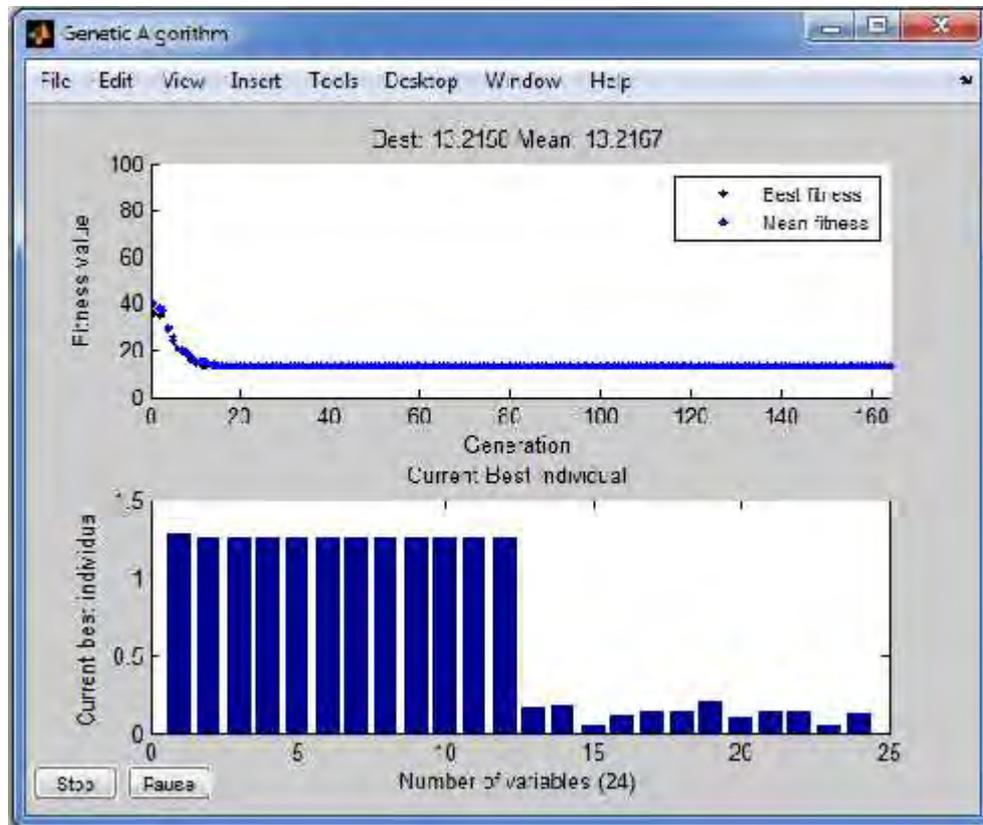
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250000311	2.431250605	0.171740046
Relay 2	1.250005865	3.381265865	0.184492021
Relay 3	1.250006062	7.800037824	0.05000065
Relay 4	1.250000102	3.743750305	0.109572282
Relay 5	1.250001259	5.031255068	0.144327159
Relay 6	1.25000048	3.028126162	0.134505917
Relay 7	1.250002409	2.431254686	0.20096312
Relay 8	1.250002903	3.381257854	0.105131391
Relay 9	1.250000369	7.800002305	0.140818295
Relay 10	1.25000251	3.743757517	0.149389657
Relay 11	1.250012138	5.031298855	0.05000069
Relay 12	1.251947862	3.032843695	0.122422589

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 25



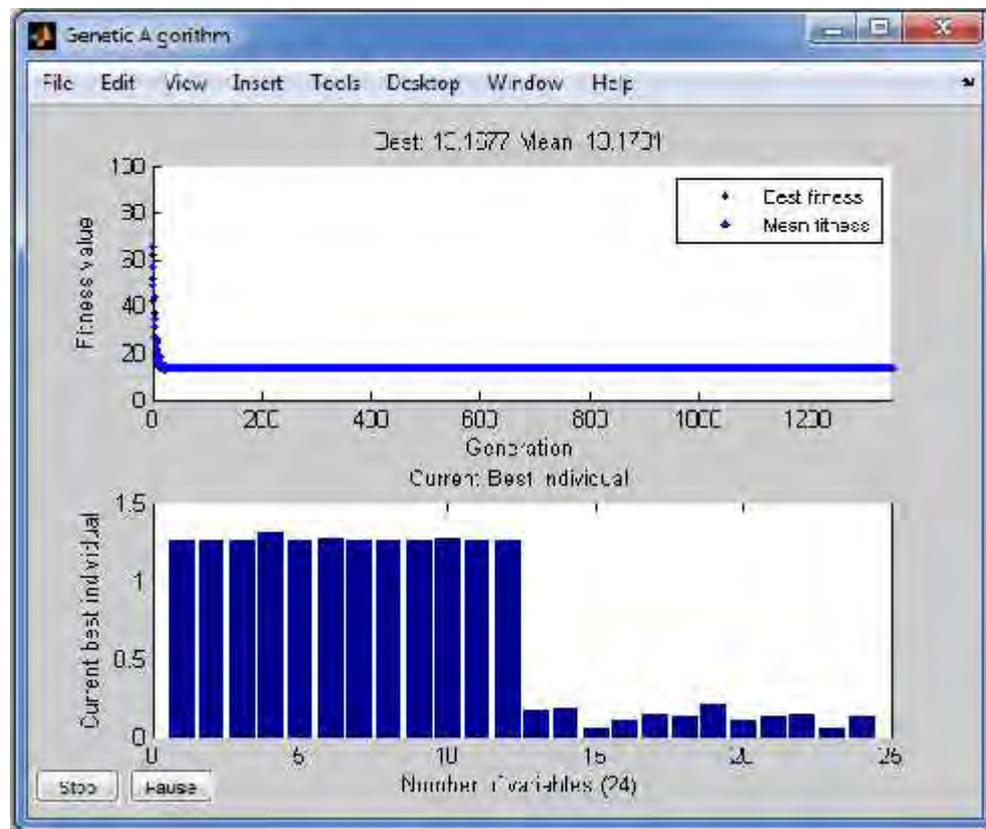
Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250000147	2.431250286	0.171739788
Relay 2	1.250014356	3.381288832	0.181313127
Relay 3	1.250000005	7.800000313	0.05000202
Relay 4	1.372691204	4.111210156	0.10185106
Relay 5	1.250005362	5.03127158	0.144069318
Relay 6	1.262079025	3.057386439	0.133508954
Relay 7	1.250002543	2.431254946	0.198526313
Relay 8	1.250001254	3.381253392	0.105131743
Relay 9	1.250034901	7.800217783	0.139563454
Relay 10	1.250001391	3.743754167	0.14939031
Relay 11	1.25000124	5.031254992	0.050001524
Relay 12	1.250534982	3.029420993	0.122510163

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 26



Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.283375787	2.496165906	0.169880132
Relay 2	1.250105592	3.381535626	0.184525951
Relay 3	1.250119756	7.800747278	0.050003495
Relay 4	1.256843017	3.764244835	0.109247795
Relay 5	1.250014452	5.031308169	0.144297738
Relay 6	1.250071559	3.028298351	0.134467694
Relay 7	1.250061005	2.431368656	0.201016013
Relay 8	1.250112956	3.381555546	0.10507368
Relay 9	1.25005155	7.800321674	0.14093363
Relay 10	1.250326233	3.744727069	0.149315115
Relay 11	1.250120333	5.031734339	0.050110675
Relay 12	1.250003677	3.028133907	0.122727191

Plot dan Hasil Optimasi Algoritma Genetik Nomor 27



Nomor relay	PS	Arus Pickup	TDS
Relay 1	1.250000912	2.431251774	0.171744759
Relay 2	1.250002189	3.381255921	0.182831114
Relay 3	1.250000614	7.800003834	0.05000445
Relay 4	1.314390941	3.93660087	0.10543947
Relay 5	1.252460522	5.0411536	0.143373818
Relay 6	1.276799502	3.093046794	0.132036663
Relay 7	1.250000099	2.431250193	0.199682301
Relay 8	1.257424067	3.401332101	0.104577892
Relay 9	1.250000278	7.800001736	0.140158083
Relay 10	1.267559057	3.796339375	0.147926914
Relay 11	1.250001405	5.031255654	0.050001193
Relay 12	1.250003742	3.028134065	0.122544132