



TESIS - TE142599

KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *RING FEEDER* BERBASIS *CHAOTIC FIREFLY ALGORITHM*

MAYA PRANANDA SARI
07111650010007

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng
Dr. Margo Pujiantara, ST. MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - TE142599

**KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *RING FEEDER*
BERBASIS *CHAOTIC FIREFLY ALGORITHM***

MAYA PRANANDA SARI
07111650010007

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM PENGATURAN
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Maya Prananda Sari
NRP. 07111650010007

Tanggal Ujian : 12 Juli 2018
Periode Wisuda: September 2018

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Pembimbing I)
NIP: 195809161986011001

2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. (Pembimbing II)
NIP: 196603181990101001

3. Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT. (Penguji)
NIP: 196308171990031001

4. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT. (Penguji)
NIP: 198109052005011002

5. Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D. (Penguji)
NIP: 198208292006042001



Dekan Fakultas Teknologi Elektro,

Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.

NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *RING FEEDER* BERBASIS *CHAOTIC FIREFLY ALGORITHM***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, Juli 2018

Maya Prananda Sari
07111650010007

Halaman ini sengaja dikosongkan

KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA *RING FEEDER* BERBASIS *CHAOTIC FIREFLY ALGORITHM*

Nama mahasiswa : Maya Prananda Sari
NRP : 07111650010007
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng
2. Dr. Margo Pujiantara, ST. MT.

ABSTRAK

Kontinuitas, kestabilan, dan ketersediaan energi listrik merupakan beberapa faktor penentu kualitas daya listrik yang digunakan oleh konsumen industri dan konsumen rumah tangga. Salah satu cara untuk mempertahankan ketiga faktor tersebut adalah dengan menggunakan *distributed generation* (DG). Penggunaan DG sendiri memiliki kekurangan yakni saat DG terlepas dari sistem, akan mengakibatkan berubahnya besar arus hubung singkat yang mengalir pada sistem. Hal ini akan mempengaruhi kinerja dari rele arus lebih yang bertugas mengamankan sistem kelistrikan. Sehingga dibutuhkan beberapa setting sebagai opsi untuk pengaturan waktu operasi rele dalam kondisi yang berbeda. Pengaturan waktu operasi rele akan berdasarkan pada kurva invers dengan nilai yang optimum.

Pemilihan waktu operasi rele dalam pembagian setting, diusulkan dengan menggunakan metode *artificial intelligence* yakni Chaotic Firefly Algorithm (CFA) dengan tent map iteration untuk mendapatkan nilai yang optimum. Metode CFA merupakan metode klasterisasi dengan partikel yang terus bergerak dan parameter alpha yang akan terus beriterasi untuk mendapatkan fungsi waktu pengaturan rele arus lebih sebagai fungsi objektif. Waktu pengaturan tersebut haruslah memperhatikan ketepatan dan kecepatan dalam rentang waktu yang diijinkan. Penelitian ini mengaplikasikan metode CFA pada sistem IEEE 9 bus *ring feeder* khususnya distribusi mesh sebagai studi kasus. Penggunaan metode CFA pada *mesh feeder* memiliki waktu total operasi rele sebesar 3,773 detik pada saat semua generator terhubung, 3,636 detik saat generator DG1 terlepas, 3,406 detik saat generator DG2 terlepas, dan 4,291 detik saat hanya generator utama yang terhubung.

Kata kunci: rele arus lebih, distribusi mesh, *distributed generatotion*, *chaotic firefly algorithm*, *tent map*

Halaman ini sengaja dikosongkan

OVER CURRENT RELAY COORDINATION IN RING FEEDER BASED ON CHAOTIC FIREFLY ALGORITHM

By : Maya Prananda Sari
Student Identity Number : 07111650010007
Supervisor(s) : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng
2. Dr. Margo Pujiantara, ST. MT.

ABSTRACT

Development of electrical power system is linear with the increasing number of Distribution Generation (DG), which is change the pattern of power system protection due to the power flow and short circuit, especially in meshed distribution system. The effectiveness of relays would be affected by the addition of DG. For maintaining the relays coordination in four conditions, a few option is needed to obtain a reliable power system protection.

This research proposed Chaotic Firefly with tent map algorithm (CFA) method to get the minimum overcurrent relays time operation using the inverse time current characteristic. CFA method is an cluster algorithm with moving particle and adaptif alpha parameter which always change in each iteration. This method is applied in IEEE 9 bus ring feeder, especially in mesh distribution. The result of total relay time operation using Chaotic Firefly with tent map algorithm is 3.464 seconds when all generator is connected, 3.6 seconds if DG1 is not connected, 3. 376 seconds while DG2 is not connected, and 4.156 seconds when only main generator is connected to the system.

Key words: over current relays, mesh distribution, distributed generatotion, chaotic firefly algorithm, tent map

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia yang tak terkira berupa kekuatan, kesabaran, dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Segenap keluarga, terutama kedua orang tua penulis, Prasetyo Wahyudie dan Vita Ratnasari, dan kedua adik tercinta, Talitha Puspita Sari serta Nadya Permata Sari yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng dan Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Bapak Prof. Dr. Imam Robandi, MT, bapak Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., dan Ibu Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
4. *Research partner* Gabriela Evania Sulistyio atas kerjasamanya selama penelitian dan *internship* di Thammasat University, Thailand.
5. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, para dosen, karyawan, serta rekan-rekan mahasiswa atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama masa kuliah dan proses pengerjaan tesis.
6. Seluruh rekan asisten dan warga LIPIST atas kebersamaan dan kerjasamanya selama 2 tahun ini.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, 15 Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait	5
2.2 Teori Dasar	6
2.2.1 Analisa Aliran Daya	6
2.2.2 Analisa Hubung Singkat	6
2.2.3 Metode Empiris Pengaturan Rele Arus Lebih	6
2.2.4 <i>Firefly Algorithm</i>	8
2.2.5 <i>Chaotic Firefly Algorithm</i>	9
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Metode Pelaksanaan Studi	13
3.2 Diagram Segaris IEEE 9 bus	16

3.3	Metode Optimasi dengan <i>Chaotic Firefly Algorithm</i>	18
3.3.1	Variabel kontrol.....	19
3.3.2	Pembentukan vektor <i>lb</i> dan <i>ub</i>	19
3.3.3	Fungsi Obyektif.....	21
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		23
4.1	Pemilihan <i>Setting</i> Rele Saat Kondisi 1	24
4.1.1	Validasi <i>Setting</i> TDS Kondisi 1.....	27
4.2	Pemilihan <i>Setting</i> Rele Saat Kondisi 2.....	43
4.2.1	Validasi <i>Setting</i> TDS Kondisi 2.....	47
4.3	Pemilihan <i>Setting</i> Rele Saat Kondisi 3.....	63
4.3.1	Validasi <i>Setting</i> TDS Kondisi 3.....	66
4.4	Pemilihan <i>Setting</i> Rele Saat Kondisi 4.....	81
4.4.1	Validasi <i>Setting</i> TDS Kondisi 4.....	85
BAB 5 KESIMPULAN		101
DAFTAR PUSTAKA.....		103
DAFTAR INDEKS.....		105
BIOGRAFI PENULIS.....		107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Segaris IEEE 9 bus.....	2
Gambar 2.1 Diagram alir <i>Chaotic Firefly Algorithm</i> [12].....	10
Gambar 2.2 Diagram alir <i>Initialitaion Box</i> hingga <i>Chaos Box</i> pada CFA.....	11
Gambar 2.3 <i>Pseudocode movement box</i>	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2 Diagram Alir penelitian (lanjutan)	16
Gambar 3.3 Diagram Segaris modifikasi IEEE 9 bus.....	17
Gambar 3.4 Diagram alir <i>Chaotic Firefly Algorithm</i> untuk koordinasi proteksi..	20
Gambar 4.1 Konfigurasi sistem pada kondisi 1	24
Gambar 4.2 Grafik iterasi <i>firefly</i> pada Rele 1A pada kondisi 1	26
Gambar 4.3 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi.....	27
Gambar 4.4 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 1.....	29
Gambar 4.5 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 1	30
Gambar 4.6 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 1.....	32
Gambar 4.7 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 1	33
Gambar 4.8 Hasil simulasi hubung singkat pada Bus 4 di kondisi 1	35
Gambar 4.9 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 1	35
Gambar 4.10 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 1.....	37
Gambar 4.11 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 1	37
Gambar 4.12 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 1.....	39
Gambar 4.13 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 1	40
Gambar 4.14 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 1.....	42
Gambar 4.15 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 1	43
Gambar 4.16 Konfigurasi sistem pada kondisi 2	44
Gambar 4.17 Grafik iterasi <i>firefly</i> pada Rele 1A pada kondisi 2	46
Gambar 4.18 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi.....	47
Gambar 4.19 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 2.....	49
Gambar 4.20 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 2.....	50
Gambar 4.21 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 2.....	52
Gambar 4.22 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 2.....	53
Gambar 4.23 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 2.....	55
Gambar 4.24 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 2.....	55
Gambar 4.25 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 2.....	57
Gambar 4.26 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 2.....	57
Gambar 4.27 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 2.....	59
Gambar 4.28 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 2.....	60
Gambar 4.29 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 2.....	62
Gambar 4.30 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 2.....	62
Gambar 4.31 Konfigurasi sistem pada kondisi 3	63
Gambar 4.32 Grafik iterasi <i>firefly</i> pada Rele 1A pada kondisi 3	65
Gambar 4.33 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi.....	66

Gambar 4.34 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 3	68
Gambar 4.35 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 3	69
Gambar 4.36 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 3	71
Gambar 4.37 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 3	72
Gambar 4.38 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 3	74
Gambar 4.39 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 3	74
Gambar 4.40 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 3	76
Gambar 4.41 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 3	76
Gambar 4.42 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 3	78
Gambar 4.43 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 3	78
Gambar 4.44 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 3	80
Gambar 4.45 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 3	81
Gambar 4.46 Konfigurasi sistem pada kondisi 4.....	82
Gambar 4.47 Grafik iterasi <i>firefly</i> pada Rele 1A pada kondisi 4	84
Gambar 4.48 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi	85
Gambar 4.49 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 4	87
Gambar 4.50 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 4	88
Gambar 4.51 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 4	90
Gambar 4.52 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 4	91
Gambar 4.53 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 4	93
Gambar 4.54 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 4	93
Gambar 4.55 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 4	95
Gambar 4.56 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 4	95
Gambar 4.57 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 4	97
Gambar 4.58 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 4	98
Gambar 4.59 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 4	100
Gambar 4.60 <i>Normalized TCC</i> saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 4	100

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien <i>trip curves</i>	7
Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit	17
Tabel 3.2 Data Kapasitas Transformator	18
Tabel 3.3 Data Kabel.....	18
Tabel 3.4 Data Beban.....	18
Tabel 4.1 Pasangan rele pada konfigurasi kelistrikan.....	23
Tabel 4.2 <i>Full Load Ampere</i> pada kondisi 1 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat.....	25
Tabel 4.3 Pasangan rele primer dan <i>backup</i> dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder kondisi 1.....	25
Tabel 4.4 Hasil CFA untuk <i>setting</i> rele pada kondisi 1	26
Tabel 4.5 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan <i>Backup</i> untuk kondisi 1	28
Tabel 4.6 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 6	29
Tabel 4.7 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 5	31
Tabel 4.8 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 4	34
Tabel 4.9 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 3	36
Tabel 4.10 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 2	38
Tabel 4.11 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 1	41
Tabel 4.12 Pasangan rele primer dan <i>backup</i> serta arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder pada kondisi 2	45
Tabel 4.13 <i>Full Load Ampere</i> pada kondisi 2 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat.....	45
Tabel 4.14 Hasil CFA untuk <i>setting</i> rele pada kondisi 2	46
Tabel 4.15 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan <i>Backup</i> untuk kondisi 2	48
Tabel 4.16 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 6	49
Tabel 4.17 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 5	51
Tabel 4.18 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 4	54
Tabel 4.19 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 3	56
Tabel 4.20 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 2	58
Tabel 4.21 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 1	61

Tabel 4.22 Pasangan rele primer dan <i>backup</i> serta arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder pada kondisi 3.....	64
Tabel 4.23 <i>Full Load Ampere</i> pada kondisi 3 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat	64
Tabel 4.24 Hasil CFA untuk <i>setting</i> rele pada kondisi 3.....	65
Tabel 4.25 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan <i>Backup</i> untuk kondisi 3	67
Tabel 4.26 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 6	68
Tabel 4.27 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 5	70
Tabel 4.28 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 4	73
Tabel 4.29 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 3	75
Tabel 4.30 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 2	77
Tabel 4.31 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 1	80
Tabel 4.32 Pasangan rele primer dan <i>backup</i> serta arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder pada kondisi 4.....	83
Tabel 4.33 <i>Full Load Ampere</i> pada kondisi 4 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat	83
Tabel 4.34 Hasil CFA untuk <i>setting</i> rele pada kondisi 4.....	84
Tabel 4.35 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan <i>Backup</i> untuk kondisi 4	86
Tabel 4.36 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 6	87
Tabel 4.37 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 5	89
Tabel 4.38 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 4	92
Tabel 4.39 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 3	94
Tabel 4.40 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 2	96
Tabel 4.41 Tabel rekapitulasi status dan <i>setting</i> rele saat hubung singkat di Bus 1	99

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

TDS	= <i>time dial setting</i>
TCC	= <i>time current curve</i>
FLA	= <i>full load ampere</i>
DG	= <i>distributed generation</i>
Isc	= <i>short circuit current</i>
Ipp	= <i>pickup current</i>
Iset	= <i>range arus yang diijinkan</i>
CW	= <i>clockwise</i>
CCW	= <i>counter clockwise</i>
BL	= <i>breaker loop</i>
CT	= <i>current transformer</i>
CTI	= <i>clearing time interval</i>
<i>seconds</i>	= detik
k	= Koefisien invers 1
α	= Koefisien invers 2
β	= Koefisien invers 3
I_{SC_3}	= arus hubung singkat 3 fasa
I_{SC_2}	= arus hubung singkat 2 fasa
I_{SC_1}	= arus hubung singkat 1 fasa
<i>VLN</i>	= <i>line to netral voltage</i>
X_1	= impedansi urutan positif (Ω)
X_2	= impedansi urutan negatif (Ω)
X_0	= impedansi urutan nol (Ω)
x_i	= partikel <i>firefly</i> ke- i
r_{ij}	= jarak Euclidian <i>firefly</i> i dan <i>firefly</i> j
I_0	= sumber intensitas cahaya
β_0	= parameter ketertarikan saat jarak bernilai nol
α	= parameter acak <i>firefly</i>
γ	= koefisien absorpsi cahaya <i>firefly</i>

$\beta(r)$	= pembaharuan faktor ketertarikan
β	= parameter ketertarikan <i>firefly</i>
n	= nomor iterasi
α_{n+1}	= pembaharuan nilai alpha di setiap iterasi $n+1$
α_n	= nilai iterasi alpha saat iterasi ke- n
μ	= faktor pengali <i>tent map iteration</i>
$f(x)$	= fungsi obyektif
Z_{1L}	= impedansi Z urutan positif (Ω/km)
Z_{2L}	= impedansi Z urutan negatif (Ω/km)
Z_{0L}	= impedansi Z urutan nol (Ω/km)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan saat ini dituntut untuk memiliki keandalan dan kualitas aliran daya yang baik walaupun terjadi gangguan pada sistem [1]. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan koordinasi sistem pengaman yang sensitif, selektif, serta dapat bekerja dengan cepat dan tepat [2]. Sejauh ini telah dilakukan penelitian pada sistem proteksi kelistrikan, baik menggunakan metode *nonstandard tripping characteristics* [1] maupun optimasi menggunakan *artificial intelligence* [1]–[4].

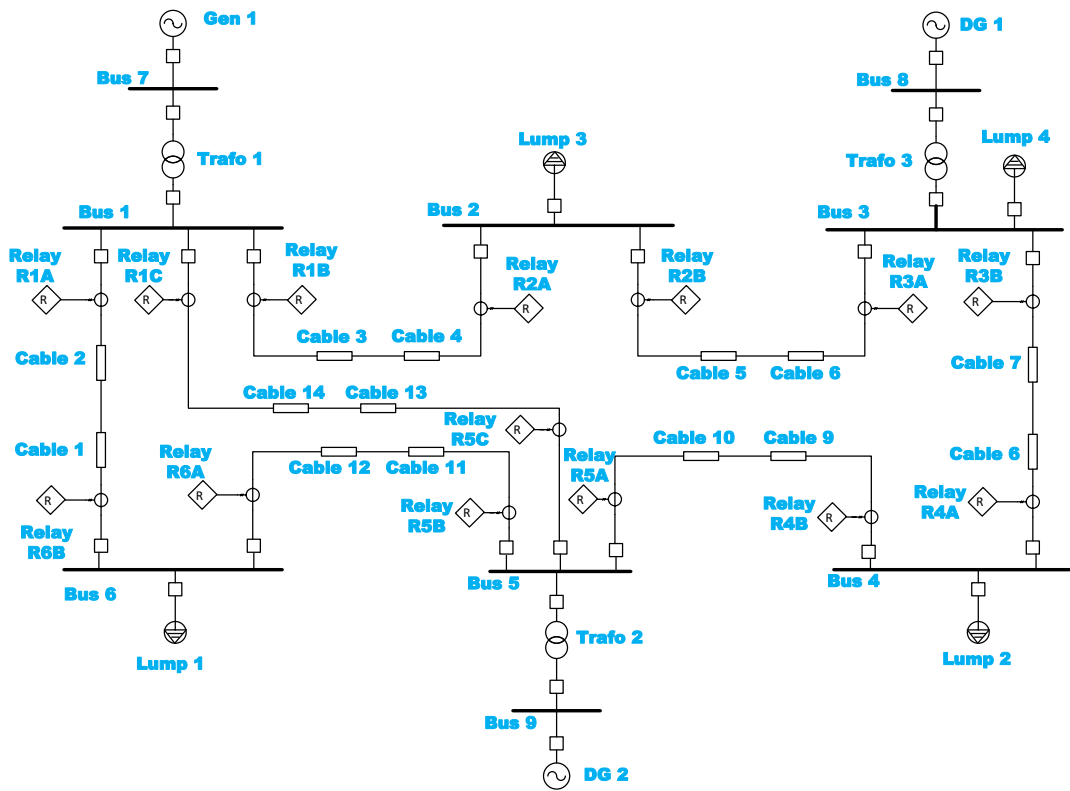
Selain itu, digunakan pula perhitungan manual untuk mendapatkan nilai pengaturan pada sistem proteksi kelistrikan dengan menggunakan rumusan yang ditetapkan oleh standar British BS-142. Akan tetapi, perhitungan manual cenderung memiliki nilai selisih waktu operasi yang lebih besar dibandingkan dengan nilai selisih waktu operasi kerja antar rele yang didapatkan dengan metode *artificial intelligence*.

Metode optimasi berdasarkan *artificial intelligence* biasanya digunakan pada rele arus lebih dan rele jarak, metode tersebut seperti: *Genetic Algorithm* (GA) [4], *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO) [5], *Modified Differential Evolution Program* [6], *Firefly Algorithm* (FA) [3], dan *Chaotic Firefly Algorithm* (CFA) [2].

CFA merupakan metode *artificial intelligence* yang memiliki tingkat keoptimalan lebih tinggi dikarenakan adanya pembagian otomatis antar partikel dan tingkat kecepatan yang tinggi untuk mencapai titik konvergen dengan melakukan kontrol pada tingkat kerandoman parameter inisial. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan metode CFA untuk diterapkan dalam sistem kelistrikan *ring feeder* sistem IEEE 9 bus, seperti pada Gambar 1.1.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah koordinasi proteksi pada *ring feeder* khususnya distribusi mesh dalam sistem IEEE 9 bus.



Gambar 1.1 Diagram Segaris IEEE 9 bus

Studi aliran daya dilakukan untuk mendapatkan nilai aliran daya pada kondisi semua generator terhubung, DG1 terlepas dari sistem, DG2 terlepas dari sistem, dan saat sistem hanya tersuplai oleh generator utama. Studi hubung singkat dilakukan pada setiap bus dalam setiap kondisi. Pengaturan koordinasi proteksi untuk optimasi waktu kerja rele didapatkan dengan menggunakan metode CFA dengan hasil studi aliran daya dan hasil studi hubung singkat sebagai penentu parameter input dan *setting* TDS sebagai parameter *output*.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *setting* TDS pada IEEE 9 bus distribusi *ring* dengan menggunakan metode CFA dan divalidasi menggunakan *software* ETAP. Fungsi objektif dari metode CFA adalah nilai minimum dari waktu kerja per rele dengan memperhatikan batas selisih waktu yang diijinkan.

1.4 Batasan Masalah

Sistem kelistrikan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *ring feeder* khususnya distribusi mesh pada sistem IEEE 9 bus yang memiliki 3 generator sebagai sumber dengan kapasitas 10 MW, 5 MW, dan 0,8 MW. Nilai arus hubung singkat yang didapatkan merupakan nilai arus hubung singkat yang terjadi pada *ring feeder* akibat adanya gangguan tiga fasa ke tanah dan gangguan antar fasa.

Metode *artificial intelligence* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *chaotic firefly algorithm* (CFA) dengan pengaturan pembaharuan variabel α menggunakan iterasi *tent map*. Nilai arus beban maksimum (FLA), arus hubung singkat (Isc), dan arus *pickup* rele (Ipp) merupakan variabel *input*. Sedangkan waktu kerja rele dan nilai TDS merupakan variabel output.

1.5 Kontribusi

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi berupa alternatif penggunaan metode *chaotic firefly algorithm* guna diterapkan pada sistem berstandar internasional, pada *ring feeder* khususnya distribusi mesh sistem IEEE 9 bus. Penelitian ini dapat memberikan masukan kepada pihak insinyur untuk mulai mempertimbangkan penggunaan CFA dalam koordinasi proteksi sistem kelistrikan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian meliputi pengumpulan data sistem, seperti: kapasitas generator, transformator, kabel, beban, dan diagram garis. Kemudian dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat untuk mendapatkan nilai arus beban penuh, arus kontribusi setiap rele, rasio CT, set rele primer dan rele *backup*. Data-data tersebut merupakan nilai *input* CFA yang nilai keluarannya merupakan nilai *setting* rele, dimana CFA diaplikasikan menggunakan bahasa pemrograman C++. Analisis data dilakukan untuk memvalidasi hasil *setting* yang didapatkan dari CFA dan pengaruh empat kondisi pembangkitan pada koordinasi proteksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Penelitian mengenai rele proteksi memperhatikan beberapa aspek, yaitu: proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal [7]. Penggunaan rele arus lebih umumnya digunakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi di industri dan terbagi atas beberapa area proteksi dengan peralatan yang tepat agar dapat mengatasi gangguan yang mungkin terjadi pada peralatan dan generator [8]. Koordinasi proteksi dapat diklasifikasikan menjadi dua zona, yaitu: zona primer dan zona backup. Zona primer merupakan sistem pengaman utama terhadap gangguan untuk mengisolasi gangguan. Zona primer umumnya didominasi oleh rele berkecepatan tinggi dengan waktu operasi satu hingga tiga cycle. Jika sesaat setelah gangguan, arus gangguan masih mengalir, maka zona backup akan bekerja dengan melakukan trip circuit breaker terdekat dari zona primer.

Selain penggunaan metode nonstandard tripping characteristics [1], penelitian pada bidang proteksi juga menggunakan metode *artificial intelligence*. Seperti pada penelitian [5] yang menyelesaikan koordinasi sistem proteksi pada sistem kelistrikan menggunakan metode *modified particle swarm optimization*. Pada penelitian [3], penulis menggunakan *firefly algorithm* (FA) dengan initial random parameter, sedangkan pada penelitian [2] menggunakan *chaotic firefly algorithm* (CFA) dengan metode iterasi *tent map* untuk mendapatkan nilai pembaharuan alfa sehingga mendapatkan nilai yang lebih optimal.

Penggunaan FA dan CFA tidak hanya digunakan pada optimasi sistem proteksi tetapi juga berkembang pesat di dalam bidang *economic dispatch* [9] dan *image compressing* [10]. Hal ini disebabkan karena klusterisasi yang dilakukan oleh FA, dimana partikel kunang kunang akan mengelompok secara otomatis dan terus bergerak untuk mencapai nilai global optimization yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil pergerakan partikel dari Particle Swarm Optimization

(PSO) dan Artificial Bee Colony (ABC) [11]. Pendekatan partikel FA ini kemudian disempurnakan dengan chaotic variables untuk mendapatkan nilai parameter ketertarikan yang lebih optimal [12].

Penelitian yang akan dikerjakan selanjutnya merupakan penerapan penelitian CFA pada ring feeder sistem IEEE 9 bus. Batasan batasan sistem akan dipertimbangkan seperti bertambahnya beban dan nilai arus hubung singkat. Penelitian ini menghitung waktu operasi dan selisih waktu operasi antar rele yang optimum dengan mempertimbangkan parameter aliran daya dan arus hubung singkat yang didapatkan dari simulasi.

2.2 Teori Dasar

2.2.1 Analisa Aliran Daya

Analisa aliran daya merupakan langkah awal untuk menentukan analisa suatu sistem baik saat sebelum terjadi gangguan dan saat setelah terjadi gangguan. Tujuan dari pelaksanaan analisa aliran daya adalah untuk memastikan tegangan dan sudut fasa setiap bus serta memeriksa kemampuan peralatan dalam sistem.

2.2.2 Analisa Hubung Singkat

Analisa hubung singkat dilakukan untuk mendapatkan nilai arus yang mengalir saat terjadinya gangguan hubung singkat tiga fasa, antar fasa, maupun satu fasa ke tanah.

$$I_{SC_3} = \frac{VLN}{X_1} \quad (2.1)$$

$$I_{SC_2} = \frac{VLN}{X_1+X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{SC_3} \approx 0,866 I_{SC_3} \quad (2.2)$$

$$I_{SC_0} = \frac{3VLN}{X_1+X_2+X_0} \quad (2.3)$$

Persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3 merupakan persamaan nilai arus hubung singkat tiga fasa, hubung singkat antar fasa, dan hubung singkat satu fasa ke tanah.

2.2.3 Metode Empiris Pengaturan Rele Arus Lebih

Prinsip kerja rele arus lebih adalah memberikan sinyal kepada *circuit breaker* untuk memutus aliran daya ketika terdapat arus yang mengalir melebihi batas yang diijinkan oleh rele. Penggunaan rele arus lebih terdiri dari rele arus lebih

waktu tertentu, rele arus lebih waktu instan, dan rele arus lebih waktu *inverse*. Standar waktu yang dipergunakan untuk pengaturan rele arus lebih ialah IEEE 242, dimana standar ini membahas mengenai koordinasi proteksi arus lebih dengan perbedaan waktu minimum antara 0,3-0,4 detik unyuk rele mekanik dan 0,2-0,3 untuk rele digital berbasis mikroprocessor.

Pengaturan rele arus lebih, rele mekanik maupun rele digital, mencakup waktu *inverse* dan waktu instan. Pengaturan saat waktu *inverse* menggunakan standar British BS-142, yakni [13] :

$$1,05 \times FLA \text{ Peralatan} < I_{set} < 1,3 \times FLA \text{ Peralatan} \quad (2.4)$$

Penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih didapatkan dari persamaan (2.5): [14]

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

Dimana:

- I_{set} = Arus *pickup* (Ampere)
- k = Koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- α = Koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)
- β = Koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien *trip curves*

<i>Curvet Type</i>	<i>Coefficient Values</i>		
	K	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
<i>Long Time Inverse</i>	120	1	13,33
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0,808
<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5	1

Sedangkan untuk pengaturan rele arus lebih waktu instan menggunakan arus hubung singkat minimum, yakni hubung singkat dua fasa pada pembangkitan minimum. Nilai *setting pickup point* ditentukan menggunakan persamaan 2.6.

$$1,6 \times FLA \text{ Peralatan} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min}} \quad (2.6)$$

Koordinasi rele arus lebih merupakan nilai selisih waktu kerja antara rele sekunder dan waktu kerja rele primer, dengan batas minimum yang ditentukan dalam [7] yakni minimum 0,2 detik dan batas maksimum 0,5 detik [5].

2.2.4 Firefly Algorithm

Firefly Algorithm (FA) merupakan algoritma yang dikembangkan oleh [15] terinspirasi oleh perilaku kunang-kunang pada alam bebas yang tersebar dalam berbagai posisi dan memiliki intensitas cahaya yang berbeda. Representasi dari partikel kunang kunang dimodelkan oleh [16] dengan persamaan 2.7, dimana besaran populasi adalah n and D merupakan dimensi permasalahan.

$$x_i = (x_1, \dots, x_n), \text{ untuk } (i = 1, \dots, n) \quad (2.7)$$

Pergerakan kunang-kunang didasari oleh perbedaan intensitas cahaya, yang juga menjadi parameter ketertarikan antar kunang-kunang, dimana kunang-kunang dengan intensitas cahaya yang tinggi akan didekati oleh kunang-kunang dengan intensitas cahaya yang lebih redup. Intensitas cahaya dan parameter ketertarikan kunang kunang bergantung pada jarak antar kunang-kunang. Kedua parameter tersebut di modelkan dalam persamaan 2.8 dan persamaan 2.9.

$$I(r) = I_0 \cdot e^{-\gamma r^2} \quad (2.8)$$

$$\beta(r) = \beta_0 \cdot e^{-\gamma r^2} \quad (2.9)$$

dimana I_0 merupakan sumber intensitas cahaya, γ merupakan koefisien absorpsi cahaya, dan β_0 merupakan nilai ketertarikan saat $r = 0$. Partikel kunang-kunang akan terpisahkan dengan jarak Euclidian, seperti yang tertera pada persamaan 2.10. Sedangkan perubahan posisi pada kunang-kunang tersebut dirumuskan dalam persamaan 2.11.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| \quad (2.10)$$

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon \quad (2.11)$$

Nilai i dan j adalah posisi kunang kunang serta posisi kunang kunang pembanding. Sedangkan β_0 merupakan faktor ketertarikan kunang kunang yang mempengaruhi faktor kecepatan kunang-kunang untuk mendekati kunang-kunang lain, γ adalah faktor penyerapan cahaya, r adalah jarak antara kunang-kunang i dan j , $\alpha \epsilon$ adalah faktor pengali dari nilai vektor kunang kunang yang juga sebagai fungsi parameter pergerakan kunang-kunang.

2.2.5 Chaotic Firefly Algorithm

Chaotic Firefly Algorithm (CFA) merupakan algoritma pengembangan dari *Firefly Algorithm* yang menggunakan nilai alpha dan beta yang adaptif. Nilai alpha sendiri adalah nilai faktor perpindahan partikel kunang-kunang dan nilai beta adalah nilai intensitas cahaya sebagai parameter ketertarikan kunang-kunang. Faktor ketertarikan pada CFA akan terus diperbarui dengan formula

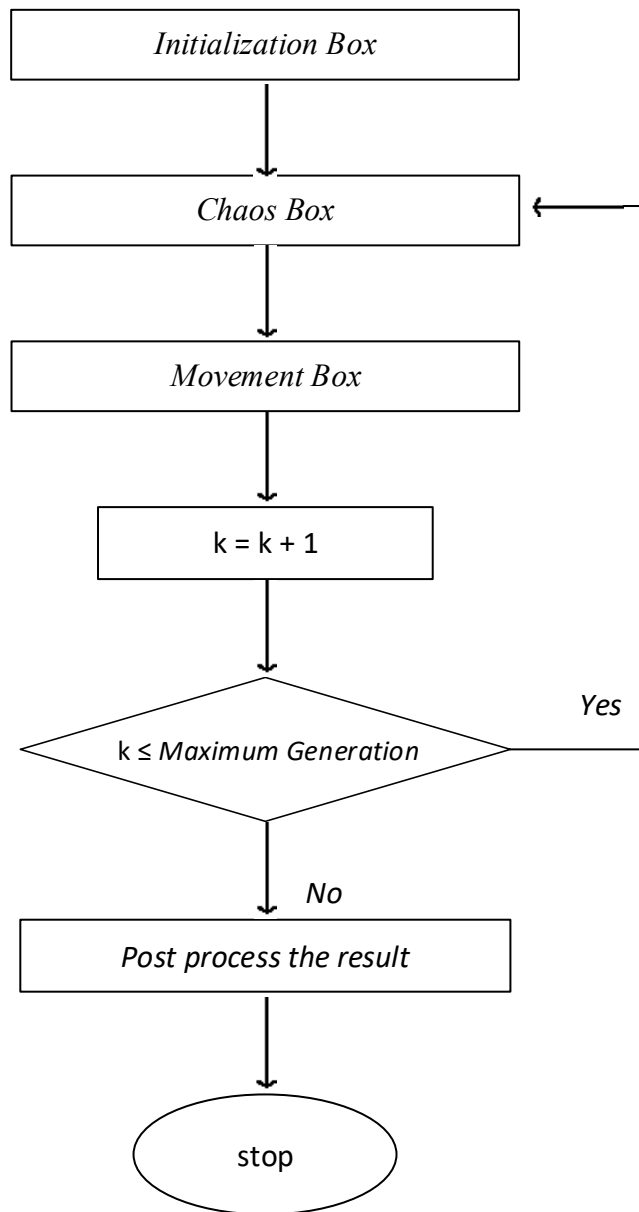
$$\beta(r) = (\beta_0 - \beta) \cdot e^{-\gamma r^2} + \beta_0 \quad (2.12)$$

dan nilai alpha akan yang akan terus diperbarui dengan metode *chaotic iteration map* yang bermacam-macam [16], salah satunya adalah *tent map iteration* yang dijabarkan pada persamaan 2.12 dan 2.13.

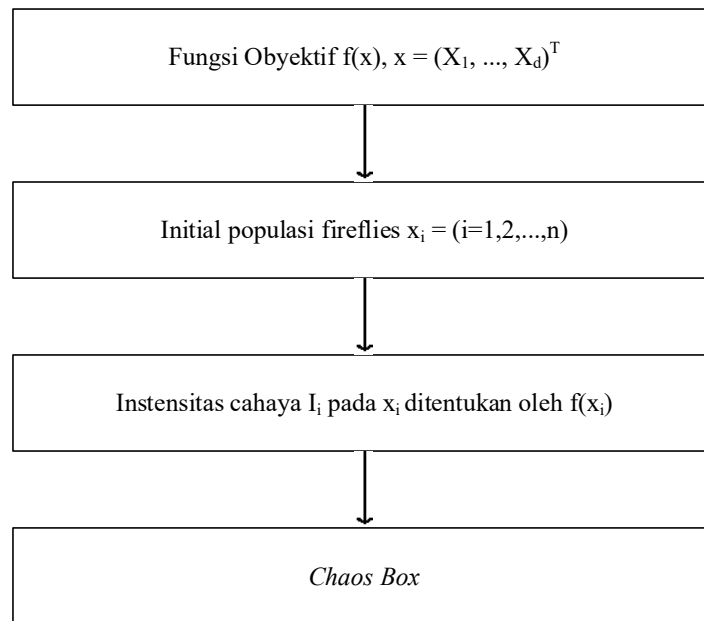
$$\alpha_{n+1} = 2\mu\alpha_n \text{ untuk } \alpha_n < 0,5 \quad (2.12)$$

$$\alpha_{n+1} = 2\mu(1 - \alpha_n) \text{ untuk } \alpha_n \geq 0,5 \quad (2.13)$$

Dimana n merupakan nomor iterasi dan μ adalah nilai konstan positif. Nilai α_n akan diproses dalam kondisi antara 0 dan 1 sampai mendapatkan nilai α yang telah diperbarui. Perbedaan inilah yang mendasari antara konvensional *Firefly Algorithm* (FA) dengan *Chaotic Firefly Algorithm* (CFA), dimana nilai populasi dalam FA ditentukan secara acak sedangkan pada CFA didapatkan dari distribusi *chaotic* dan *tent map* [2], [3]. Diagram alir dari CFA diberikan secara umum pada Gambar 2.1, yang dijelaskan secara mendetail pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 mengenai isi dari *initialitaion box* dan *pseudocode* CFA.



Gambar 2.1 Diagram alir *Chaotic Firefly Algorithm* [12]



Gambar 2.2 Diagram alir *Initialitaion Box* hingga *Chaos Box* pada CFA

```

for i = 1 : no. fireflies
  for j = 1 : no. fireflies
    if  $(I_j > I_i)$ ,
      Move firefly toward j in d-dimension;
    end if
    Attractiveness varies with distance r via  $e^{-\gamma r}$ 
    Evaluate new solutions and update light intensity
  end for j
end for i
Rank the fireflies and find the current best
  
```

Gambar 2.3 Pseudocode movement box

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai metodologi penelitian mengenai koordinasi rele arus lebih pada *ring feeder* sistem IEEE 9 bus dengan sistem kelistrikan dan data peralatan yang tertera di Bab 1. Diagram alir pelaksanaan studi penelitian ini dijabarkan pada sub-bab 3.1 dan ditunjukkan oleh Gambar 3.1. Sedangkan metode optimasi *Chaotic Firefly Algorithm* akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab 3.2. Perkembangan penelitian akan dijelaskan pada sub-bab 3.3.

3.1 Metode Pelaksanaan Studi

Metode pelaksanaan studi yang digunakan dalam tesis ini adalah:

1. Studi literatur

Mengumpulkan buku serta referensi yang berhubungan dengan koordinasi proteksi dan metode *chaotic firefly algorithm*. Melakukan kajian pustaka mengenai koordinasi proteksi dan metode *chaotic firefly algorithm*.

2. Pengumpulan data

Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan mengenai sistem IEEE 9 bus, baik single line diagram maupun spesifikasi dan kapasitas peralatan seperti: generator, transformator, kabel, dan beban.

3. Pemodelan dan simulasi

Memodelkan dan mensimulasikan sistem IEEE 9 bus yang telah terkoneksi membentuk *ring feeder*. Setelah dilakukan simulasi studi aliran daya, didapatkan nilai arus beban maksimum saat kondisi normal maupun saat terjadinya hubung singkat di salah satu bus. Hasil tersebut akan menjadi patokan untuk menentukan *range* FLA yang digunakan dalam penentuan nilai arus *pickup* pada setiap rele. Selain nilai *pickup*, dibutuhkan juga nilai kontribusi arus hubung singkat pada rele primer dan rele *backup*. Nilai kontribusi pada setiap rele primer dan *backup sistem* didapatkan dari studi hubung singkat.

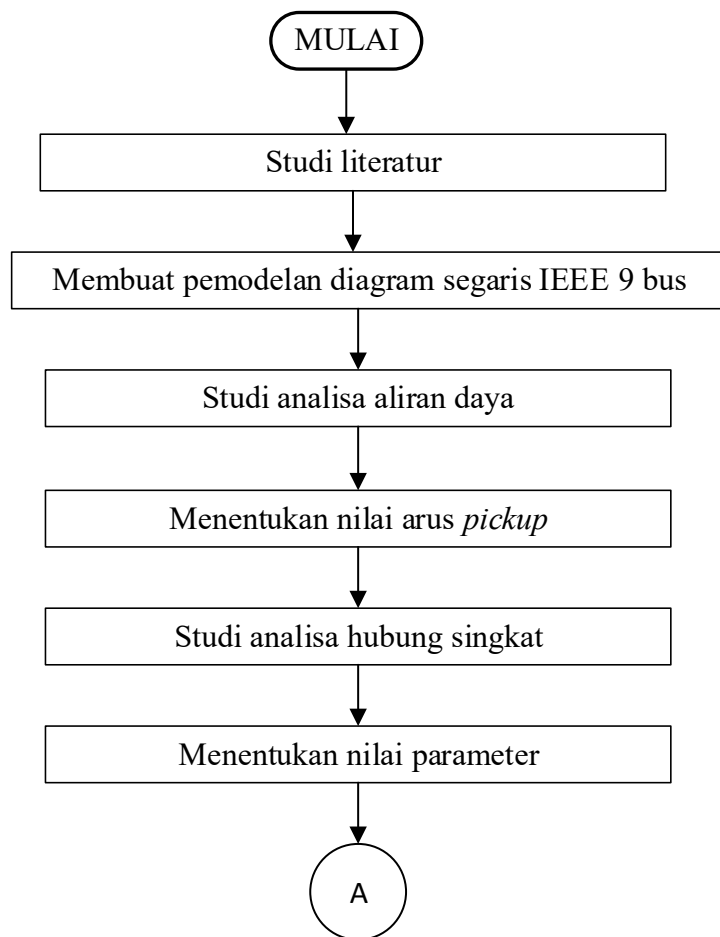
Nilai yang didapatkan dari pemodelan dan simulasi tersebut, menjadi nilai *input* dalam metode *chaotic firefly algorithm* (CFA). Nilai *input* akan diolah untuk didapatkan hasil keluaran berupa *setting* TDS pada setiap rele.

4. Analisis simulasi

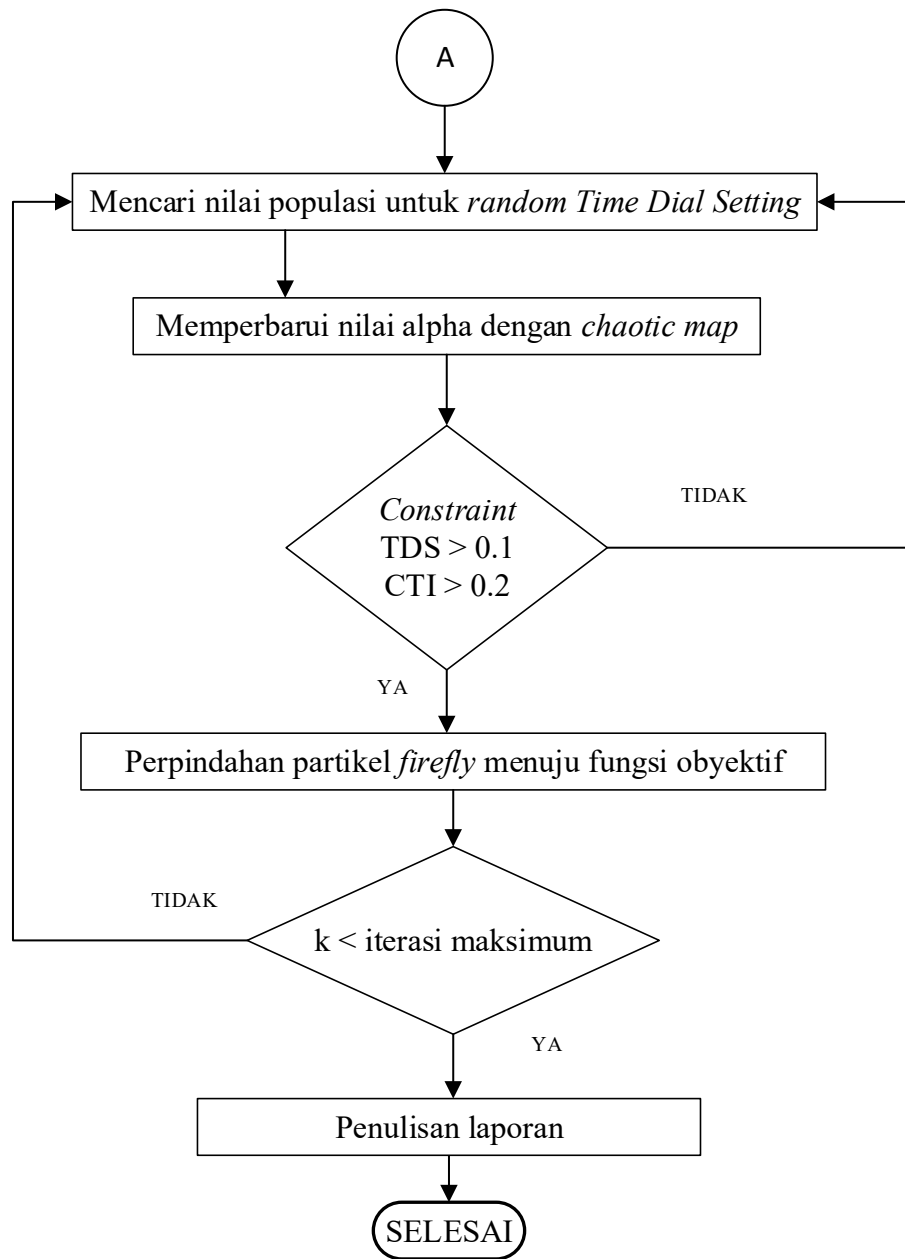
Hasil pengaturan waktu operasi rele pada sistem IEEE 9 bus yang telah didapatkan dengan metode *chaotic firefly algorithm* pada tahapan tiga selanjutnya dilakukan validasi dengan menggunakan *software* ETAP. Analisa simulasi pada *software* ETAP dapat membuktikan hasil pengaturan waktu operasi rele telah memenuhi standar dan dapat bekerja dengan cepat, tepat, dan efisien. Pada tahapan ini juga akan di analisa mengenai efek penambahan atau pelepasan generator terhadap koordinasi proteksi rele arus lebih.

5. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan mengenai pengaturan koordinasi rele dengan metode *chaotic firefly algorithm* yang telah divalidasi dengan simulasi *ring feeder* sistem IEEE 9 bus. Serta memberikan saran untuk pengaturan waktu operasi optimum rele.



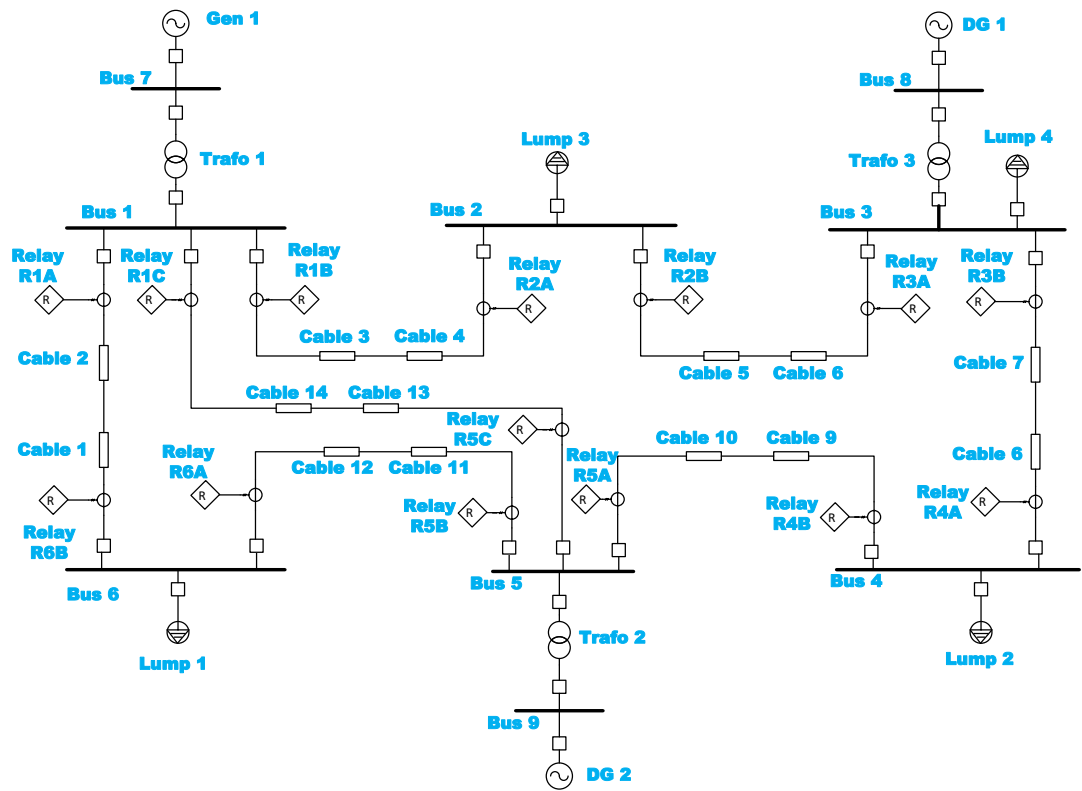
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir penelitian (lanjutan)

3.2 Diagram Segaris IEEE 9 bus

Diagram segaris IEEE 9 bus yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 merupakan sistem dengan konfigurasi *multi loop*. Penelitian ini akan mengimplementasi *Chaotic Firefly Algorithm* pada sistem IEEE 9 bus yang telah termodifikasi. Modifikasi yang dilakukan pada sistem adalah menghubungkan antara Bus 1 dan Bus 5 menggunakan kabel 13 dan kabel 14.



Gambar 3.3 Diagram Segaris modifikasi IEEE 9 bus

Sistem IEEE 9 bus pada Gambar 3.3 memiliki 3 pembangkit yaitu Generator 1, DG-2, dan DG-2 yang saling terhubung guna memenuhi kebutuhan listrik pada sistem. Ketiga generator akan dioperasikan secara bersamaan maupun dioperasikan secara terpisah, untuk mensimulasikan jika terjadinya pelepasan generator dalam sistem. Nilai kapasitas pembangkit, kapasitas transformer, data beban dan data kabel dijelaskan dengan rinci pada Tabel 3.1 hingga Tabel 3.4. Sistem modifikasi IEEE 9 bus merupakan sistem dengan karakteristik *multi loop*, dikarenakan memiliki tiga *loop* pada sistem dengan arah arus yang berbeda-beda.

Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit

No	ID	Lokasi	Tegangan (KV)	Kapasitas (MW)	Power Factor (%)
1	Gen 1	Bus 1	6,3	10	85
2	DG-1	Bus 3	6,3	0.8	85
3	DG-2	Bus 5	6,3	5	85

Tabel 3.2 Data Kapasitas Transformator

No	ID	MVA	Voltage Rating (Kv)		Z(%)
			Primer	Sekunder	
1	T1	10	6,3	20	7,15
2	T2	6	6,3	20	7,15
3	T3	1	6,3	20	5

Tabel 3.3 Data Kabel

No	ID	Panjang (km)	Impedansi Z (Ω/km)	
			$Z_{1L} = Z_{2L}$	Z_{0L}
1	Kabel 1 & 2	0.5	0,128+j0,098	0,204+j0,251
2	Kabel 3 & 4	0.5	0,204+j0,251	0,204+j0,251
3	Kabel 5 & 6	2	0,247+j0,109	0,393+j0,277
4	Kabel 7 & 8	2	0,247+j0,109	0,393+j0,277
5	Kabel 9 & 10	1	0,128+j0,098	0,204+j0,251
6	Kabel 11 & 12	1	0,128+j0,098	0,204+j0,251
7	Kabel 13 & 14	1	0,128+j0,098	0,204+j0,251
8	Kabel 15 & 16	1	0,128+j0,098	0,204+j0,251

Tabel 3.4 Data Beban

No	ID	Lokasi	Tegangan (KV)	Kapasitas (MVA)
1	Lump 1	Bus 6	20	2
2	Lump 2	Bus 4	20	3
3	Lump 3	Bus 2	20	3
4	Lump 4	Bus 3	20	2

3.3 Metode Optimasi dengan *Chaotic Firefly Algorithm*

Penelitian ini menggunakan sistem kelistrikan pada sistem IEEE 9 bus yang telah terkoneksi dan membentuk *ring feeder*. Setelah dilakukan simulasi studi aliran daya, didapatkan nilai arus beban maksimum saat kondisi normal maupun

saat terjadinya hubung singkat di salah satu bus. Hasil tersebut akan menjadi patokan untuk menentukan *range* FLA yang digunakan dalam penentuan nilai arus *pickup* pada setiap rele. Selain nilai *pickup*, dibutuhkan juga nilai kontribusi arus hubung singkat pada rele primer dan rele *backup*. Nilai kontribusi pada setiap rele primer dan *backup sistem* didapatkan dari studi hubung singkat.

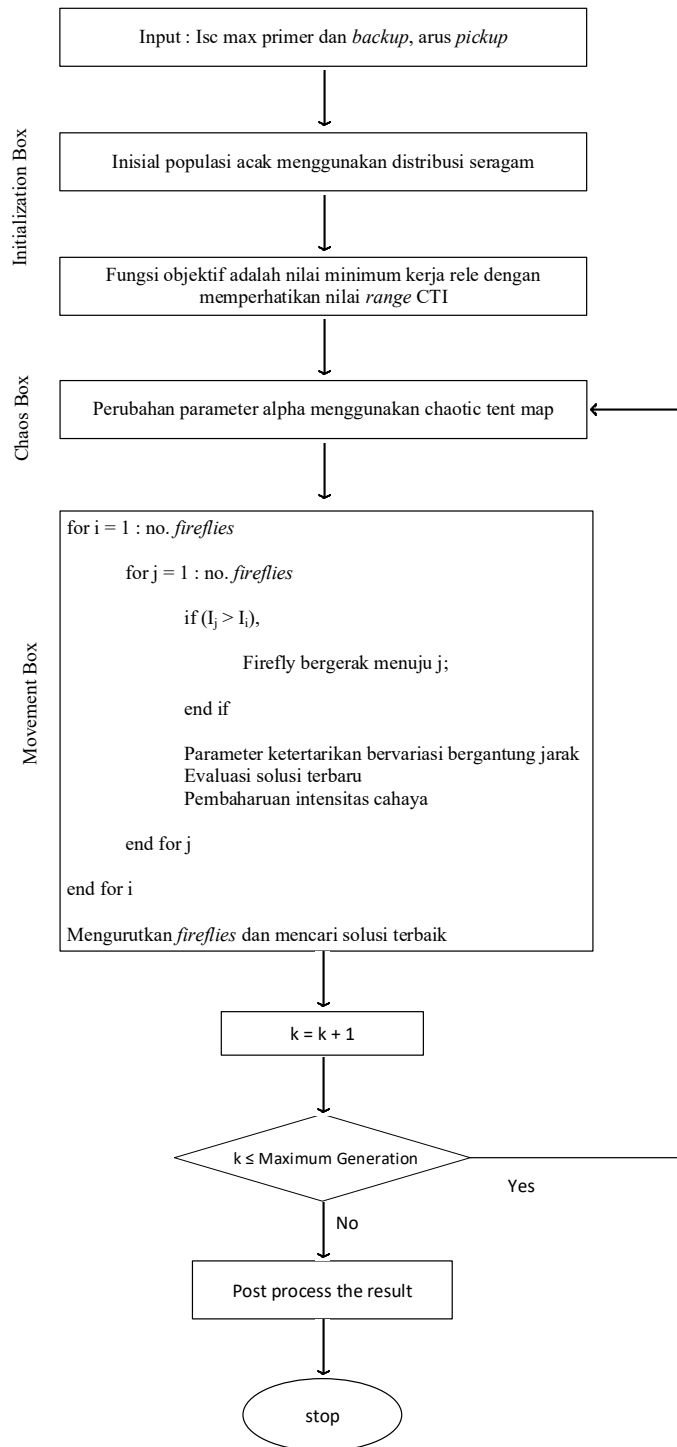
Inisialisasi populasi ditentukan secara acak dengan metode distribusi seragam. Partikel yang tersebar kemudian akan menuju titik fungsi objektif yang ditargetkan dalam 60 iterasi. Akan tetapi, setiap iterasinya memiliki nilai alpha yang terus diperbarui dengan persamaan 2.8 dan 2.9. Sehingga fungsi objektif akan kembali bergerak untuk mendapatkan nilai yang lebih minimum. Dengan adanya perubahan nilai alpha pada setiap iterasi, diagram alir untuk metode optimasi *chaotic firefly algorithm* berubah menjadi seperti Gambar 3.4.

3.3.1 Variabel kontrol

Variabel yang dioptimasi disebut juga dengan variabel kontrol. Pada permasalahan proteksi sistem tenaga listrik, variabel kontrol berupa jenis kurva, tipe kurva, arus *pickup* rele, arus gangguan primer dan sekunder, waktu tunda, nilai *range Time Dial Setting* (TDS), batas waktu tunda rele. Sedangkan untuk variabel kontrol dalam CFA yaitu: alpha sebagai parameter kontrol acak, beta sebagai parameter ketertarikan, gamma sebagai parameter absorptifitas cahaya dan mu sebagai koefisien untuk peubah nilai alpha dalam iterasi berikutnya. Nilai variabel kontrol untuk algoritma ditetapkan sebagai berikut: $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.2$, $\gamma = 0.1$, $\mu = 0.88$.

3.3.2 Pembentukan vektor *lb* dan *ub*

Vektor *lb* dan *ub* merupakan batas atas dan batas bawah pengaturan yang dipergunakan sebagai *constraint* dalam CFA. Panjang vektor *lb* dan *ub* adalah sepanjang jumlah *n* rele yang akan dikoordinasikan dan memiliki dimensi sepanjang parameter yang diberikan batasan.



Gambar 3.4 Diagram alir *Chaotic Firefly Algorithm* untuk koordinasi proteksi

3.3.2.1 *Constraint* parameter standar kurva rele

Constraint parameter standar kurva rele merupakan matriks yang tersusun dari konstanta k , a , dan b yang nilainya bergantung pada jenis kurva rele dan standar yang digunakan seperti yang tertera pada Tabel 2.5.

3.3.2.2 *Constraint* parameter TDS dan CTI

Constraint parameter TDS ditentukan berdasarkan *setting* rele yang digunakan, sedangkan *constraint* CTI mengacu pada standar IEEE 242. Kedua *constraint* tersebut dituliskan dalam formula 3.1.

$$TDS > 0.1 \quad (3.1)$$

$$CTI > 0.1 \quad (3.2)$$

3.3.3 Fungsi Obyektif

Fungsi obyektif dari CFA adalah mencari nilai minimum operasi suatu rele dengan memperhatikan batasan *constraint* yang ditentukan. Formula fungsi obyektif tertera dalam persamaan 3.3.

$$\min td = \frac{k \times TDS}{\beta \times \left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{pp}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (3.3)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, kondisi sistem kelistrikan terbagi dalam empat kondisi yakni: semua sumber generator terhubung ke sistem, DG1 (*voltage control*) terlepas, DG2 (*voltage control*) terlepas, dan hanya generator utama (*swing*) yang terhubung dengan sistem. Keempat kondisi sistem memberikan nilai besaran arus beban maksimum dan besaran arus hubung singkat yang berbeda. Selain itu, penentuan pasangan rele yang bekerja sebagai primer dan sekunder terbagi atas arah arus *clockwise* (CW), *counter clockwise* (CCW), dan *break point loop* (BPL) juga menjadi parameter penting yang mempengaruhi nilai *setting* TDS. Pembagian pasangan rele pada sistem IEEE 9 bus modifikasi secara rinci terbagi atas 17 pasang seperti yang dituliskan dalam Tabel 4.1.

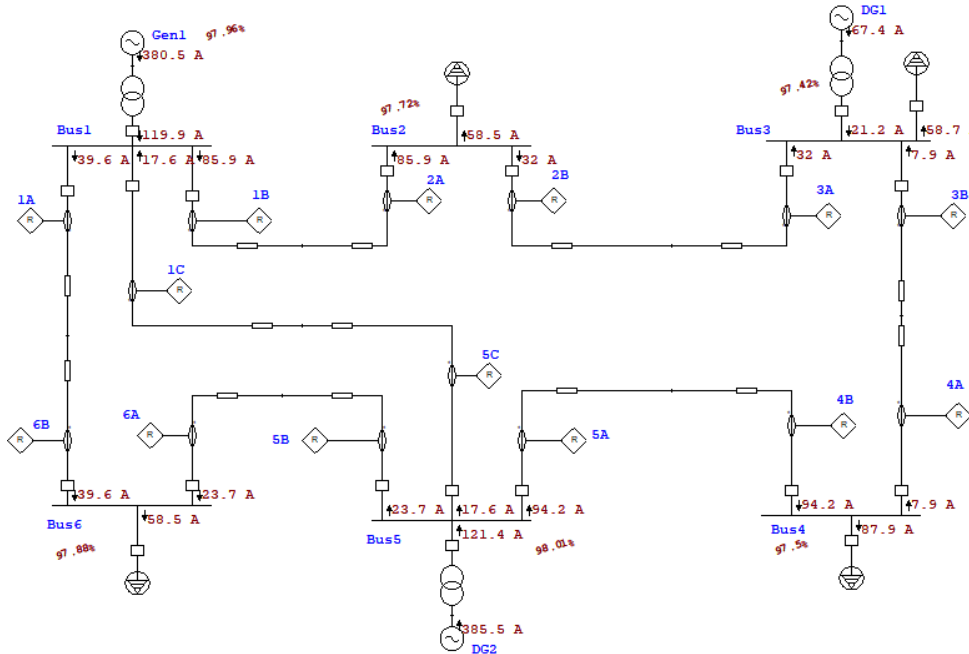
Tabel 4.1 Pasangan rele pada konfigurasi kelistrikan

Bus Fault	Rele Primer			Rele Sekunder		
	CW	CCW	BPL	CW	CCW	BPL
6	5B	1A	X	4B	2A	x
5	4B	6A	1C	3B	1A	2A
4	3B	5A	X	2B	6A	1C
3	2B	4A	X	1B	5A	x
2	1B	3A	X	6B	4A	5C
1	6B	2A	5C	5B	3A	4B

Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai TDS adalah *Chaotic Firefly Algorithm* (CFA) dengan metode *tent map iteration* yang mengakibatkan nilai *alpha* menjadi parameter yang adaptif. Metode CFA akan diterapkan pada tiap rele untuk mendapatkan nilai minimum, kemudian akan diberikan pinalti apabila tidak memenuhi *constraint time interval* (selisih waktu kerja antara rele primer dan rele *backup*).

4.1 Pemilihan *Setting* Rele Saat Kondisi 1

Konfigurasi sistem ditunjukkan pada Gambar 4.1, dimana generator utama (*swing*), DG1 dan DG2 (*voltage control*) terhubung dengan sistem IEEE 9 bus.



Gambar 4.1 Konfigurasi sistem pada kondisi 1

Pada konfigurasi kondisi 1, terdapat 14 rele yang berfungsi untuk mengamankan sistem saat terjadi gangguan hubung singkat yang terjadi pada setiap bus. Setiap relenya akan dibatasi dalam *range* arus *pickup* (I_{pp}) yang diijinkan pada sistem, arus *pickup* pada sistem ini diambil berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir pada kabel. Seperti yang ditunjukkan pada perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA \text{ kabel} &< I_{pp} < 1,3 \times FLA \text{ kabel} \\
 1,05 \times 140,3 \text{ A} &< I_{pp} < 1,3 \times 140,3 \text{ A} \\
 147,315 \text{ A} &< I_{pp} < 182,39 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Nilai tap rele bergantung pada *range* I_{pp} dan nilai CT yang terpasang pada rele. Rele 3B dan Rele 4A menggunakan CT 150/5, sedangkan rele lainnya menggunakan CT 250/5. Nilai I_{pp} setiap rele dijabarkan dalam Tabel 4.2.

Saat terjadinya hubung singkat di suatu bus, semakin jauh lokasi rele maka akan semakin kecil arus yang akan dirasakan. Hal tersebut mempermudah rele

untuk menentukan fungsi rele primer atau rele *backup* seperti yang tertera pada Tabel 4.3. Akan tetapi, pasangan Rele 1A sebagai rele primer dan Rele 5C sebagai *backup* diabaikan karena arus kontribusi yang dirasakan lebih kecil daripada FLA. Nilai *input* CFA didapatkan dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 untuk mendapatkan keluaran *setting* TDS kondisi 1 pada setiap rele yang dirangkum pada Tabel 4.4.

Tabel 4.2 *Full Load Ampere* pada kondisi 1 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat

Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)	Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)
1A	140,3	1910	4A	140,3	1280
1B	140,3	2310	4B	140,3	766
1C	140,3	1070	5A	140,3	1930
2A	140,3	700	5B	140,3	1070
2B	140,3	1460	5C	140,3	711
3A	140,3	667	6A	140,3	811
3B	140,3	843	6B	140,3	672

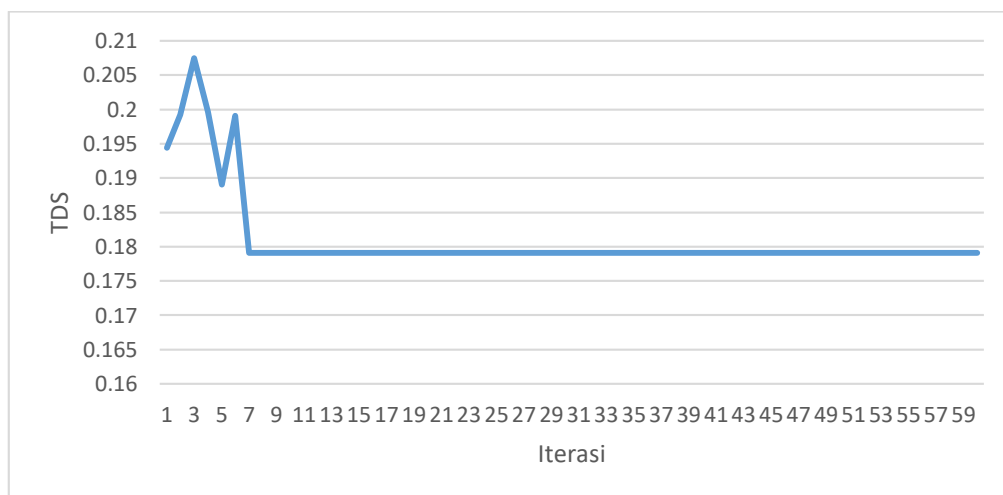
Tabel 4.3 Pasangan rele primer dan *backup* dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder kondisi 1

Rele Primer	Rele Backup	Isc 3 Fasa (A)	Rele Primer	Rele Backup	Isc 3 Fasa (A)
1A	2A	584	4A	5A	856
1A	5C	113	2B	1B	1180
5B	4B	544	3A	4A	264
6A	1A	517	1B	6B	554
1C	2A	372	1B	5C	540
4B	3B	324	2A	3A	403
5A	1C	724	5C	4B	441
5A	6A	578	6B	5B	375
3B	2B	444			

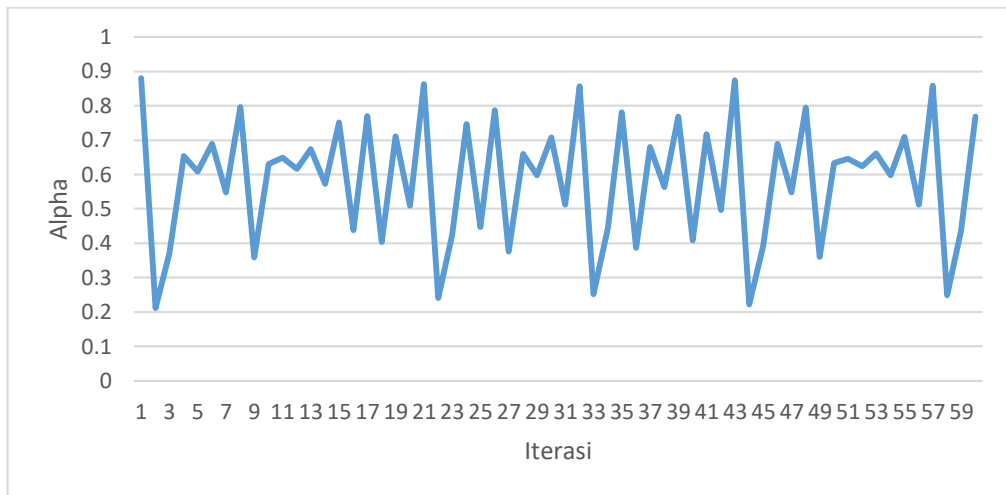
Tabel 4.4 Hasil CFA untuk *setting* rele pada kondisi 1

Rele	TAP	TDS	Rele	TAP	TDS
1A	0,60	0,18	4A	0,99	0,15
1B	0,60	0,33	4B	0,60	0,16
1C	0,61	0,23	5A	0,60	0,28
2A	0,63	0,11	5B	0,60	0,12
2B	0,60	0,14	5C	0,60	0,16
3A	0,60	0,11	6A	0,60	0,17
3B	0,99	0,22	6B	0,60	0,17

Chaotic Firefly Algorithm memiliki 40 partikel dan di iterasi sebanyak 60 kali pada setiap rele hingga konvergen, dimana tingkat konvergen rele adalah nilai operasi minimum tiap relenya. Salah satu grafik *chaotic firefly algorithm* di setiap iterasi ditunjukkan pada Gambar 4.2 yang menunjukkan bahwa CFA akan mencapai titik konvergen pada iterasi ketujuh. Perubahan nilai yang terjadi dari iterasi pertama bergantung pada nilai alpha yang di perbarui pada setiap iterasinya. Pembaharuan nilai alpha pada setiap iterasinya ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Grafik iterasi *firefly* pada Rele 1A pada kondisi 1



Gambar 4.3 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi

4.1.1 Validasi *Setting* TDS Kondisi 1

Setelah didapatkan nilai *setting* TDS dengan menggunakan CFA, maka dilakukan validasi untuk melihat status saat terjadi hubung singkat dan status selisih waktu kerja antar rele primer dan *backup*. Validasi dilakukan dengan kondisi hubung singkat pada bus, yang dilakukan secara berurutan dari Bus 6 hingga Bus 1 dengan memperhatikan parameter rele yang telah ditentukan di dalam program. Hasil dari waktu operasi rele primer dan *backup* terangkum dalam Tabel 4.5. Selisih waktu antara rele primer dan rele sekunder semuanya dalam batas *range* yang diijinkan, dengan nilai selisih terendah 0,228 detik yakni Rele 1A sebagai primer dan Rele 2A sebagai *backup* saat terjadi hubung singkat di Bus 6. Sedangkan selisih waktu terbesar yakni 0,384 detik adalah Rele 6B sebagai primer dan Rele 5B sebagai sekunder. Total operasi waktu rele primer dan rele *backup* saat terjadi hubung singkat didalam sistem sebesar 3,464 detik dan 8,714 detik.

Tabel 4.5 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan *Backup* untuk kondisi 1

Bus Fault	Rele		Waktu Operasi (detik)		
	Primer	<i>Backup</i>	Primer	<i>Backup</i>	CTI
6	1A	2A	0,138	0,366	0,228
	5B	4B	0,176	0,548	0,372
5	6A	1A	0,347	0,662	0,315
	4B	3B	0,351	0,659	0,308
	1C	2A	0,344	0,728	0,384
4	3B	2B	0,293	0,644	0,351
	5A	6A	0,212	0,537	0,325
	5A	1C	0,212	0,552	0,34
3	2B	1B	0,144	0,433	0,289
	4A	5A	0,161	0,535	0,374
2	1B	6B	0,207	0,568	0,361
	1B	5C	0,287	0,612	0,325
	3A	4A	0,207	0,554	0,347
1	2A	3A	0,44	0,721	0,281
	5C	4B	0,288	0,587	0,299
	6B	5B	0,385	0,741	0,356

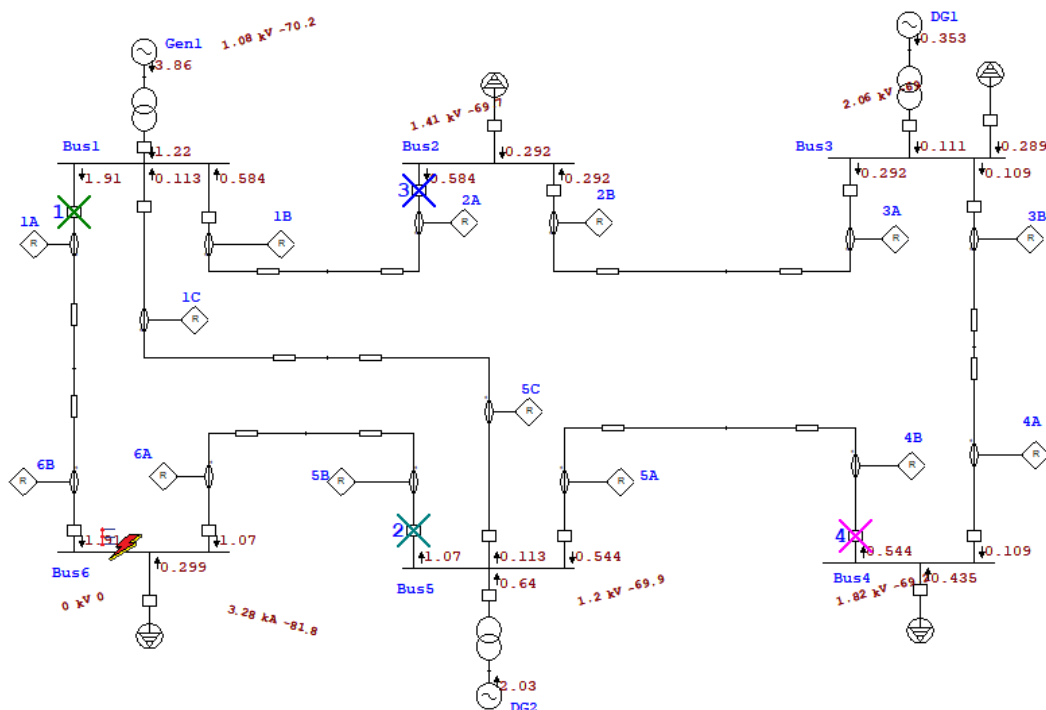
Berikut adalah status validasi per kejadian hubung singkat di tiap bus, disertai dengan nilai arus kontribusi yang dirasakan rele primer dan rele *backup*.

- Hubung singkat di Bus 6

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 6, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 1A sebagai rele primer dengan Rele 2A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 5B sebagai primer dengan Rele 4B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Rele bekerja sebagai rele primer atau sekunder, bergantung pada arus kontribusi yang dirasakan ketika terjadi hubung singkat, arus tersebut disebut sebagai arus *sensed*. Rekapitulasi status rele, beserta dengan tipe kurva, *setting* TDS, serta waktu operasi tertera dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.6 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 6

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 1A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,18	0,60	0,138	1914
	Rele 2A	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,63	0,366	584
<i>Clockwise</i>	Rele 5B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,176	1070
	Rele 4B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,60	0,548	544

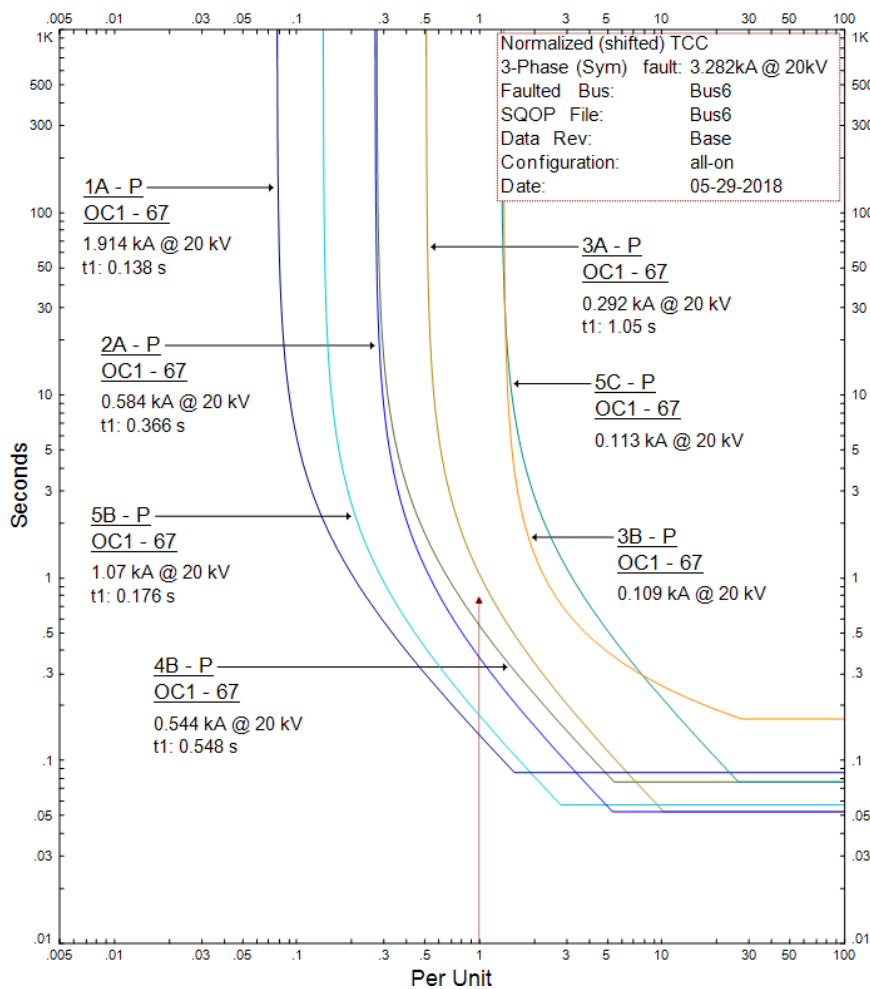


Gambar 4.4 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 1

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.4. yang menunjukkan urutan *tripping*

atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat yang terjadi di Bus 6 sebesar 3282A yang berasal dari kontribusi arus dari tiga saluran. Pada kondisi ini, Bus 6 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,228 detik dan 0,372 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise* dan *clockwise*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.5 dengan arus hubung singkat di Bus 6 sebesar 1 pu.



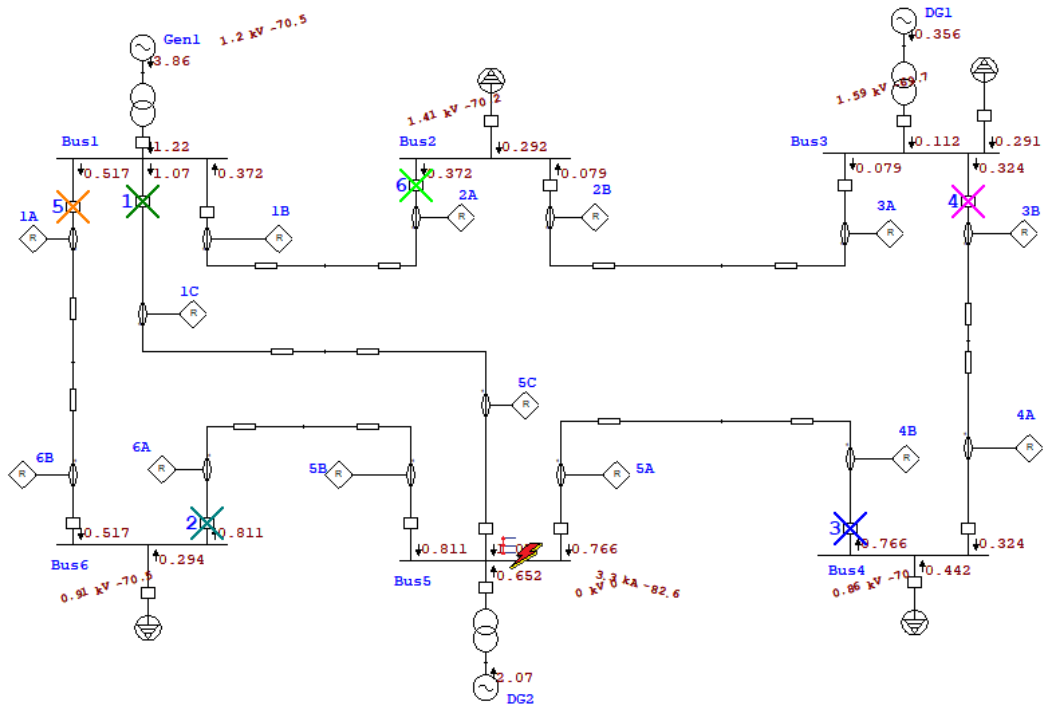
Gambar 4.5 *Normalized TCC* saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 1

- Hubung singkat di Bus 5

Hubung singkat 3 fasa yang terjadi di Bus 5, dimana setiap saluran merasakan arus kontribusi yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi mengakibatkan rele bekerja sebagai rele primer atau sebagai rele sekunder bergantung dari arus *sensed* masing-masing rele. Pasangan rele tersebut adalah Rele 6A sebagai rele primer dengan Rele 1A sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise* dan Rele 4B sebagai primer dengan Rele 3B sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 1C sebagai primer dan Rele 2A sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 5

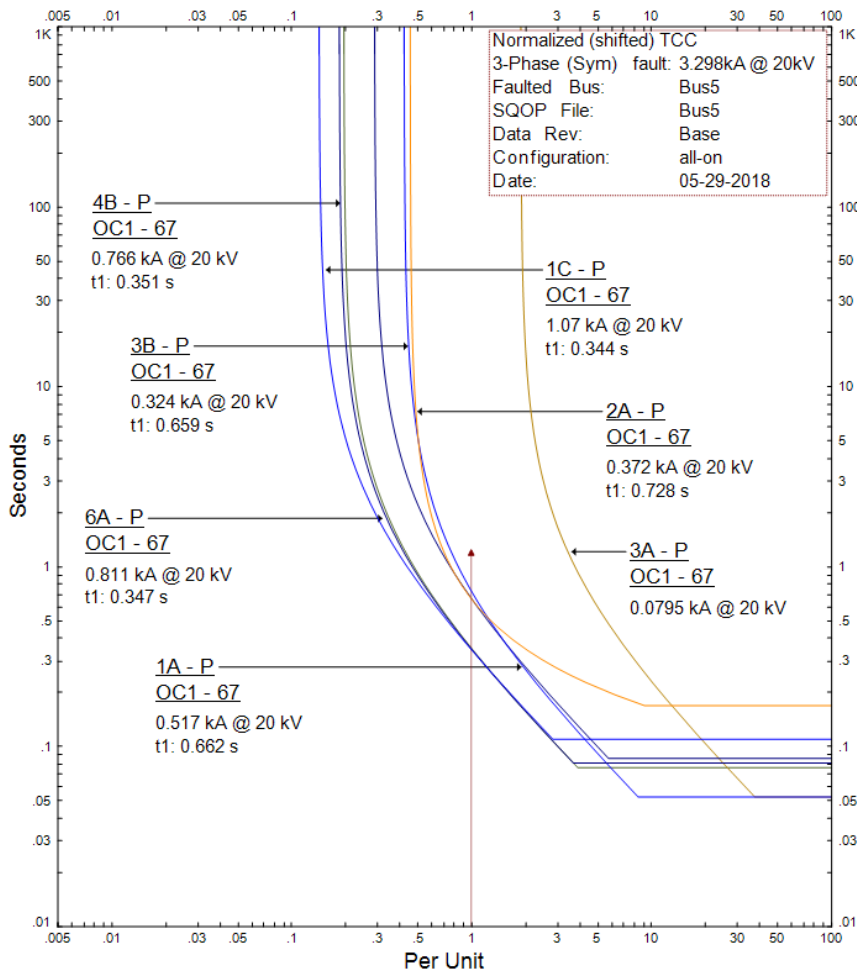
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 6A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,17	0,60	0,347	811
	Rele 1A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,18	0,60	0,662	517
<i>Clockwise</i>	Rele 4B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,60	0,351	766
	Rele 3B	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,22	0,99	0,659	324
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1C	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,23	0,61	0,344	1070
	Rele 2A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,63	0,728	372



Gambar 4.6 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 1

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.6. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat di Bus 5 mengakibatkan arus hubung singkat sebesar 3298A, Bus 5 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,315 detik, 0,308 detik dan 0,384 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Grafik kerja rele ditunjukkan secara mendetail pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.7 dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu.



Gambar 4.7 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 1

- Hubung singkat di Bus 4

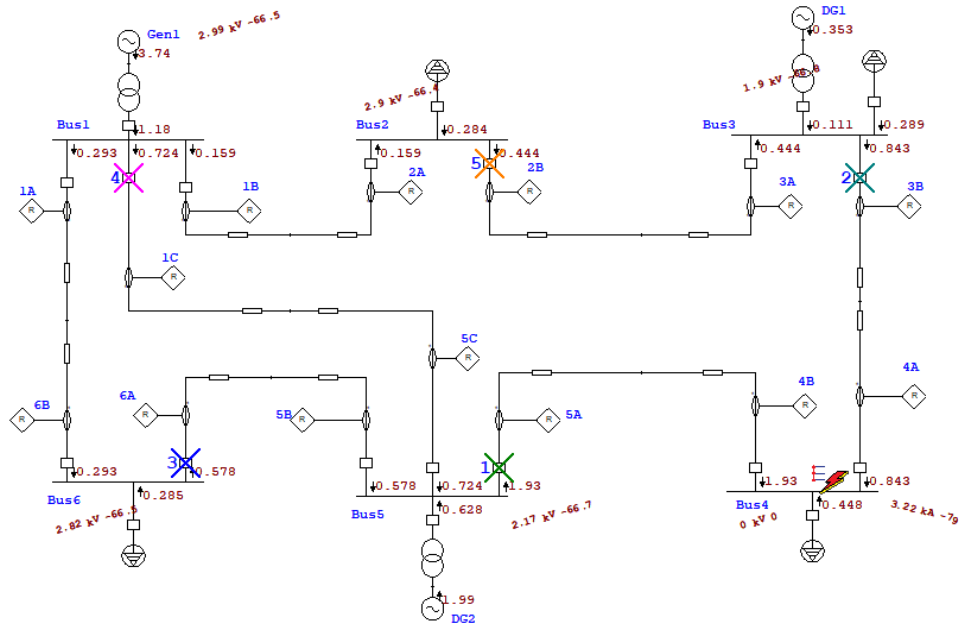
Saat Bus 4 terjadi arus hubung singkat 3 fasa, setiap saluran merasakan arus kontribusi tetapi dengan nilai yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi membagi rele menjadi beberapa pasang rele primer dan rele *backup*. Pasangan rele tersebut adalah Rele 5A sebagai rele primer dengan Rele 6A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 3B sebagai primer dengan Rele 2B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5A sebagai primer dan Rele 1C sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 4

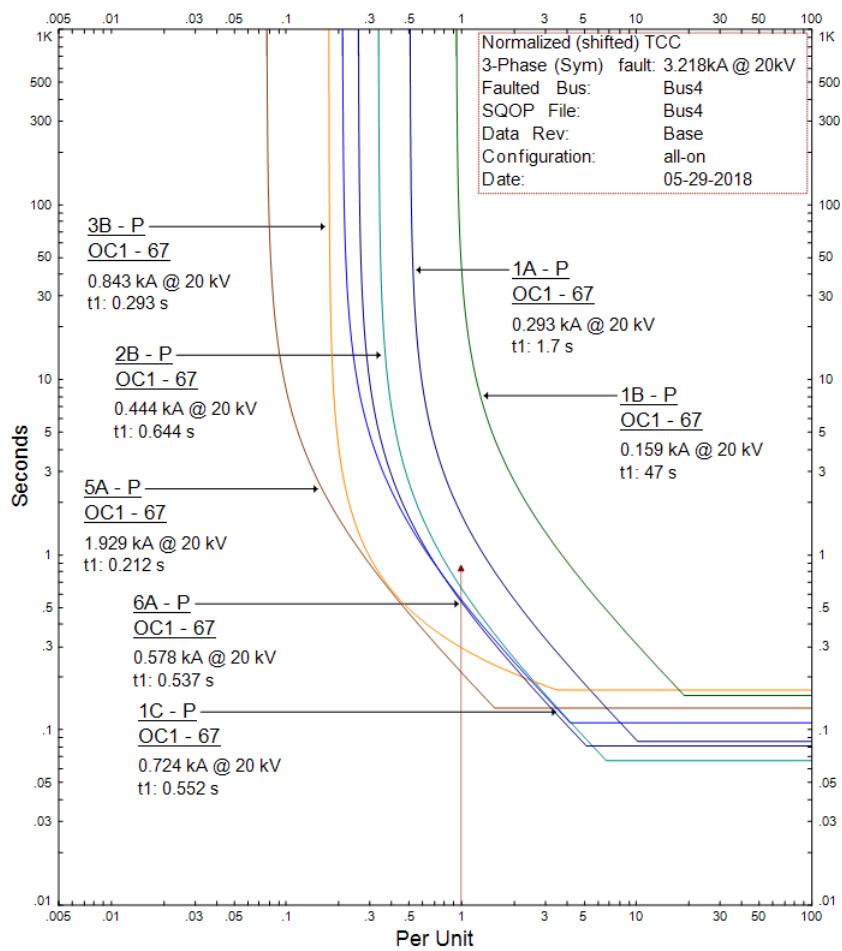
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,28	0,60	0,212	1929
	Rele 6A	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,17	0,60	0,537	578
<i>Clockwise</i>	Rele 3B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,22	0,99	0,293	843
	Rele 2B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,14	0,60	0,644	444
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,28	0,60	0,212	1929
	Rele 1C	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,23	0,61	0,552	724

Gambar 4.8 menunjukkan visualisasi *tripping* hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 4. Terlihat bahwa Rele 5A, Rele 3B dan Rele 1C bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 6, Rele 2B dan Rele 1C bertindak sebagai rele *backup*.

Bus 4 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,325 detik, 0,351 detik dan 0,34 detik sesuai dengan urutan *clockwise*, *counter clockwise*, dan *break loop current*. Kurva *normalized TCC* menunjukkan grafik kerja rele dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Hasil simulasi hubung singkat pada Bus 4 di kondisi 1



Gambar 4.9 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 1

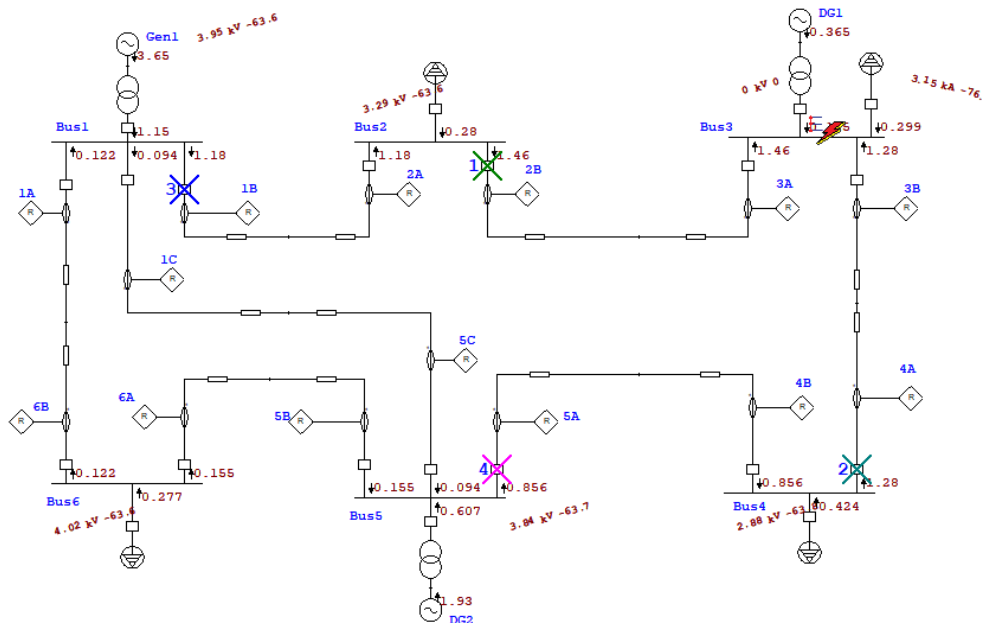
- Hubung singkat di Bus 3

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 3, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 4A sebagai rele primer dengan Rele 5A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 2B sebagai primer dengan Rele 1B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.10. Terlihat bahwa Rele 4A, dan Rele 2B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 5A dan Rele 1B bertindak sebagai rele *backup*. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan pada Tabel 4.9 sebagai berikut:

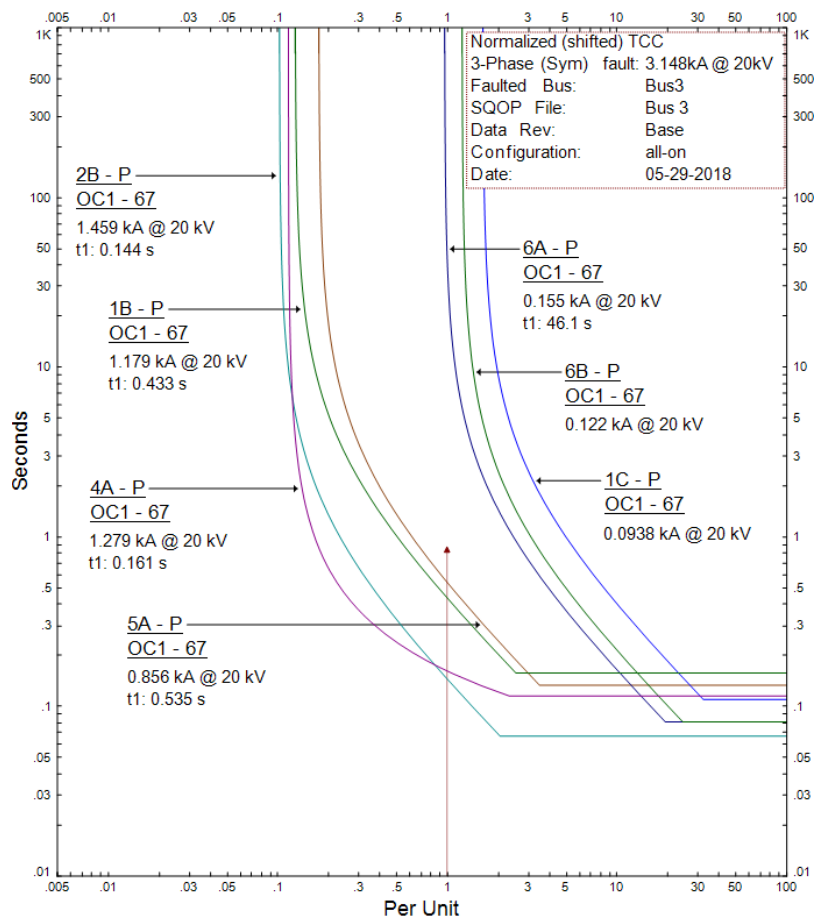
Tabel 4.9 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 3

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 4A	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,15	0,99	0,161	1279
	Rele 5A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,28	0,60	0,535	856
<i>Clockwise</i>	Rele 2B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,14	0,60	0,144	1459
	Rele 1B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,33	0,60	0,433	1179

Arah arus *counter clockwise* membuat Rele 4A bekerja dalam waktu 0.161 detik sebagai rele primer ketika merasakan arus *sensed* sebesar 1279 A dan ketika Rele 4A gagal bekerja mengakibatkan Rele 5A bekerja saat detik ke 0,535 dan merasakan arus *sensed* sebesar 856A. Sedangkan saat arah arus *clockwise*, Rele 2B bekerja sebagai primer saat detik ke 0,144 dan merasakan arus *sensed* sebesar 1459A. Ketika Rele 2B gagal bekerja, maka Rele 1B bekerja sebagai rele *backup* saat arus *sensed* mencapai 1179A dan bekerja saat 0,433 detik.



Gambar 4.10 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 1



Gambar 4.11 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 1

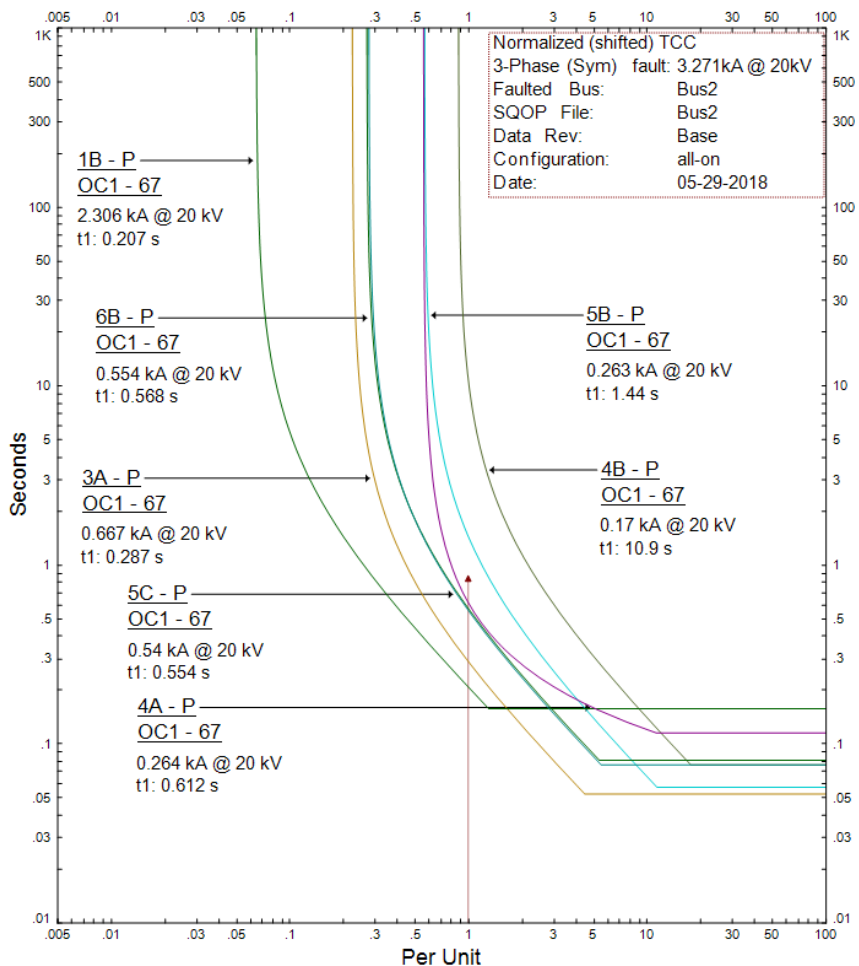
Bus 3 diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,374 detik dan 0,289 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, dan *clockwise*. Pada Gambar 4.11 ditunjukkan kurva *normalized* TCC dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu.

- Hubung singkat di Bus 2

Hubung singkat 3 fasa di Bus 2 mengakibatkan setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 3A sebagai rele primer dengan Rele 4A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 1B sebagai primer dengan Rele 6B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Gambar 4.12 menunjukkan hasil validasi urutan kerja pasangan rele. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 2

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 3A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,60	0,287	667
	Rele 4A	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,15	0,99	0,612	264
<i>Clockwise</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,33	0,60	0,207	2306
	Rele 6B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,17	0,60	0,568	554
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,33	0,60	0,207	2306
	Rele 5C	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,60	0,554	540



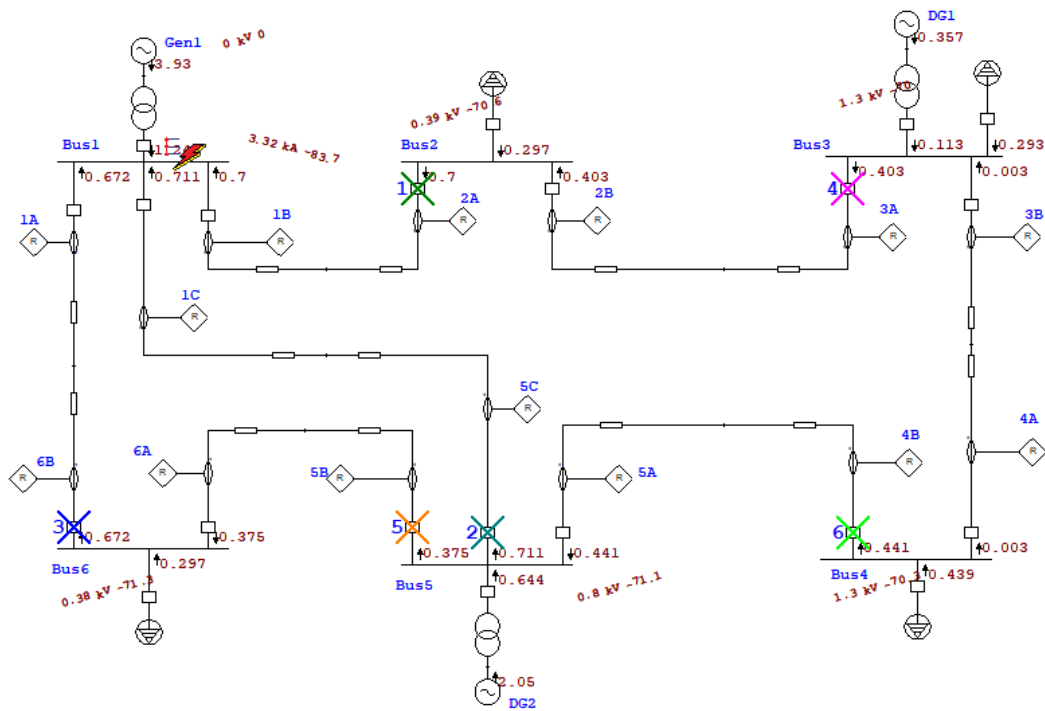
Gambar 4.13 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 1

- Hubung singkat di Bus 1

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 1, setiap saluran merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 2A sebagai rele primer dengan Rele 3A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 6B sebagai primer dengan Rele 5B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5C sebagai primer dan Rele 4C sebagai rele *backup*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.14. Terlihat bahwa Rele 2A, Rele 6B, dan Rele 5C bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 3A, Rele 5B, dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan dalam Tabel 4.11 sebagai berikut:

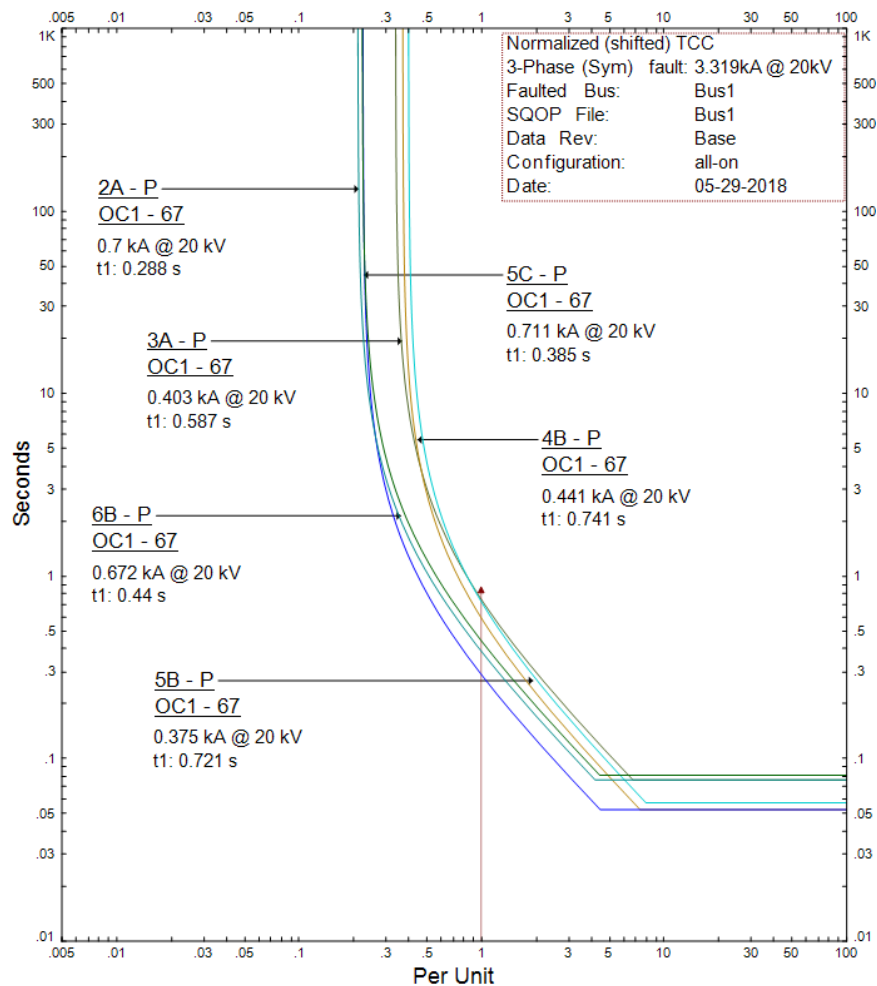
Tabel 4.11 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 1

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TDS	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 2A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,63	0,314	700
	Rele 3A	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,60	0,533	403
<i>Clockwise</i>	Rele 6B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,17	0,60	0,388	672
	Rele 5B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,721	375
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5C	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,60	0,337	711
	Rele 4B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,60	0,602	441



Gambar 4.14 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 1

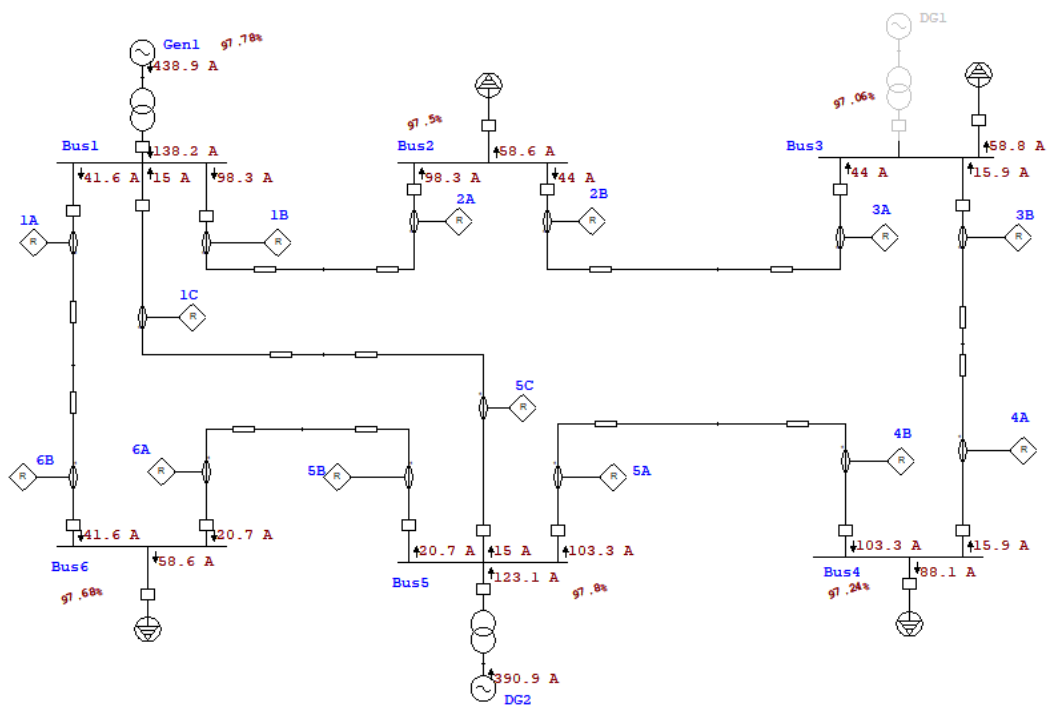
Hubung singkat yang terjadi di Bus 1 sebesar 3319A yang berasal dari kontribusi arus dari tiga saluran. Pada kondisi ini, Bus 1 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,299 detik, 0,281 detik dan 0,356 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise* dan *breaker loop*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.15 dengan arus hubung singkat di Bus 1 sebesar 1 pu.



Gambar 4.15 *Normalized TCC* saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 1

4.2 Pemilihan *Setting* Rele Saat Kondisi 2

Desain konfigurasi pada kondisi 2 memiliki perbedaan suplai daya yang terhubung dengan sistem jika dibandingkan dengan kondisi 1. Kondisi 2 sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.16 adalah kondisi dimana sistem tidak mendapatkan suplai daya dari DG1, hal ini mengakibatkan terjadinya perbedaan nilai arus hubung singkat 3 fasa yang terjadi. Perbedaan nilai hubung singkat ini mengharuskan untuk dilakukannya perhitungan ulang guna mendapatkan *setting* rele yang tepat.



Gambar 4.16 Konfigurasi sistem pada kondisi 2

Saat terjadinya hubung singkat di suatu bus, semakin jauh lokasi rele maka akan semakin kecil arus yang akan dirasakan. Hal tersebut mempermudah rele untuk menentukan fungsi rele primer atau rele *backup* seperti yang tertera pada Tabel 4.12. Nilai FLA dipilih berdasarkan *range* yang diijinkan dan dilakukan *setting* berdasarkan tap CT yang sama seperti kondisi 1. Akan tetapi, pasangan Rele 1A sebagai rele primer dan Rele 5C sebagai *backup* diabaikan karena arus kontribusi yang dirasakan lebih kecil daripada FLA. Nilai *input* CFA didapatkan dari Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 untuk mendapatkan keluaran *setting* TDS kondisi 2 pada setiap rele yang dirangkum pada Tabel 4.14.

Tabel 4.12 Pasangan rele primer dan *backup* serta arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder pada kondisi 2

Rele Primer	Rele Backup	Isc 3 Fasa (A)	Rele Primer	Rele Backup	Isc 3 Fasa (A)
1A	2A	523	4A	5A	856
1A	5C	106	2B	1B	1180
5B	4B	496	3A	4A	301
6A	1A	495	1B	6B	540
1C	2A	317	1B	5C	518
4B	3B	268	2A	3A	337
5A	1C	703	5C	4B	396
5A	6A	564	6B	5B	357
3B	2B	480			

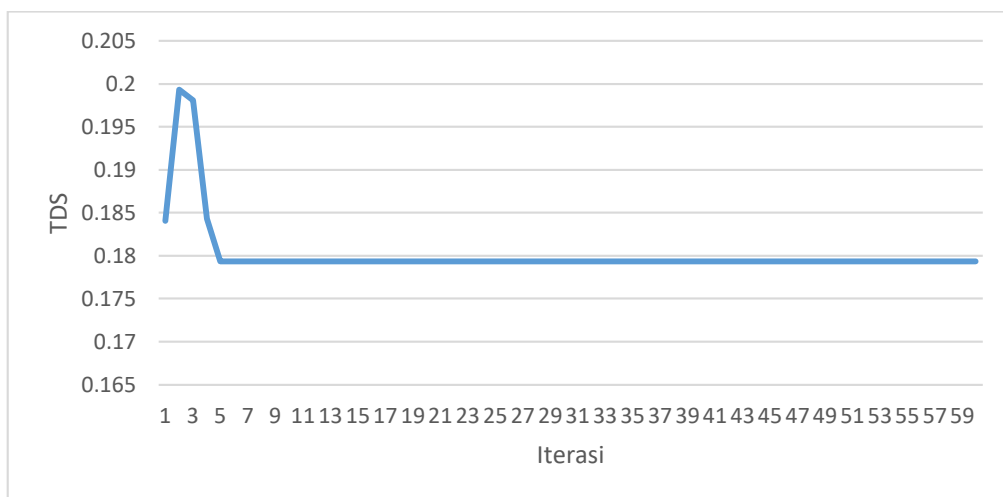
Tabel 4.13 *Full Load Ampere* pada kondisi 2 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat

Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)	Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)
1A	140,3	1850	4A	148,5	140,3
1B	140,3	2270	4B	149,815	140,3
1C	140,3	1040	5A	149,815	140,3
2A	140,3	634	5B	149,815	140,3
2B	140,3	1460	5C	149,815	140,3
3A	140,3	593	6A	149,815	140,3
3B	140,3	770	6B	149,815	140,3

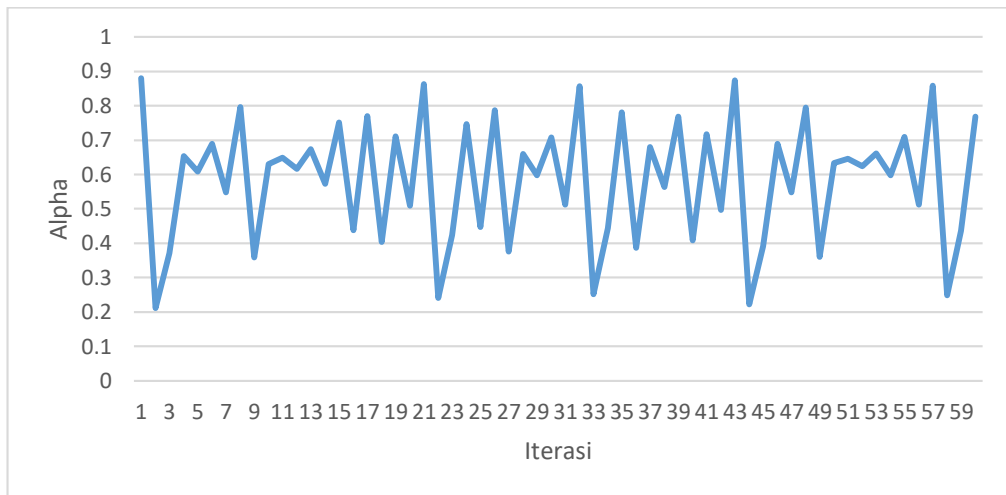
Tabel 4.14 Hasil CFA untuk *setting* rele pada kondisi 2

Rele	TAP	TDS	Rele	TAP	TDS
1A	0,60	0,16	4A	0,99	0,17
1B	0,60	0,33	4B	0,60	0,12
1C	0,61	0,20	5A	0,60	0,26
2A	0,63	0,13	5B	0,60	0,12
2B	0,60	0,12	5C	0,60	0,14
3A	0,60	0,11	6A	0,60	0,15
3B	0,99	0,15	6B	0,60	0,15

Chaotic Firefly Algorithm memiliki 40 partikel dan di iterasi sebanyak 60 kali pada setiap rele hingga konvergen, dimana tingkat konvergen rele adalah nilai operasi minimum tiap relenya. Gambar Salah satu grafik *chaotic firefly algorithm* di setiap iterasi ditunjukkan pada Gambar 4.17 yang menunjukkan bahwa CFA akan mencapai titik konvergen pada iterasi kelima. Perubahan nilai yang terjadi dari iterasi pertama bergantung pada nilai alpha yang di perbarui pada setiap iterasinya. Pembaharuan nilai alpha pada setiap iterasinya ditunjukkan oleh Gambar 4.18.



Gambar 4.17 Grafik iterasi *firefly* pada Rele 1A pada kondisi 2



Gambar 4.18 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi

4.2.1 Validasi *Setting* TDS Kondisi 2

Setelah didapatkan nilai *setting* TDS dengan menggunakan CFA, maka dilakukan validasi untuk melihat status saat terjadi hubung singkat dan status selisih waktu kerja antar rele primer dan *backup*. Validasi dilakukan dengan kondisi hubung singkat pada bus, yang dilakukan secara berurutan dari Bus 6 hingga Bus 1 dengan memperhatikan parameter rele yang telah ditentukan di dalam program. Hasil dari waktu operasi rele primer dan *backup* terangkum dalam Tabel 4.15. Selisih waktu antara rele primer dan rele sekunder semuanya dalam batas *range* yang diijinkan, dengan nilai selisih terendah 0,236 detik yakni Rele 1B sebagai primer dan Rele 5C sebagai *backup* saat terjadi hubung singkat di Bus 2. Sedangkan selisih waktu terbesar yakni 0,74 detik adalah Rele 1C sebagai primer dan Rele 2A sebagai *backup*. Hal ini diperbolehkan karena jika Rele 2A bekerja terlalu cepat, ditakutkan akan terjadi *blackout* pada sistem. Total operasi waktu rele primer dan rele *backup* saat terjadi hubung singkat didalam sistem sebesar 3,6 detik dan 9,425 detik.

Tabel 4.15 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan *Backup* untuk kondisi 2

Bus Fault	Rele		Waktu Operasi (detik)		
	Primer	<i>Backup</i>	Primer	<i>Backup</i>	CTI
6	1A	2A	0,127	0,471	0,344
	5B	4B	0,184	0,468	0,284
5	6A	1A	0,316	0,625	0,309
	4B	3B	0,289	0,597	0,308
	1C	2A	0,31	1,05	0,74
4	3B	2B	0,211	0,49	0,279
	5A	6A	0,201	0,489	0,288
	5A	1C	0,201	0,498	0,297
3	2B	1B	0,124	0,433	0,309
	4A	5A	0,182	0,497	0,315
2	1B	6B	0,21	0,519	0,309
	1B	5C	0,328	0,564	0,236
	3A	4A	0,21	0,513	0,303
1	2A	3A	0,402	0,783	0,381
	5C	4B	0,362	0,769	0,407
	6B	5B	0,354	0,659	0,305

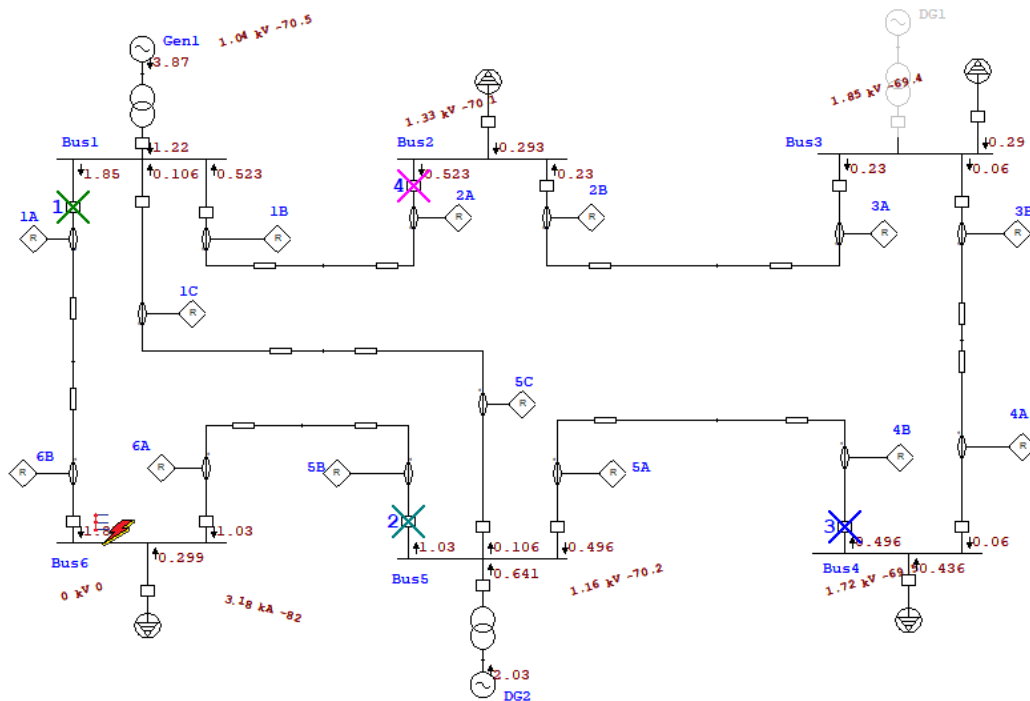
Berikut adalah status validasi per kejadian hubung singkat di tiap bus, disertai dengan nilai arus kontribusi yang dirasakan rele primer dan rele *backup*.

- Hubung singkat di Bus 6

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 6, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 1A sebagai rele primer dengan Rele 2A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 5B sebagai primer dengan Rele 4B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Rele bekerja sebagai rele primer atau sekunder, bergantung pada arus kontribusi yang dirasakan ketika terjadi hubung singkat, arus tersebut disebut sebagai arus *sensed*. Rekapitulasi status rele, beserta dengan tipe kurva, *setting* TDS, serta waktu operasi tertera dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.16 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 6

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
Counter Clockwise	Rele 1A	Rele Primer	Very Inverse	0,16	0,60	0,127	1847
	Rele 2A	Rele Backup	Very Inverse	0,13	0,63	0,471	523
Clockwise	Rele 5B	Rele Primer	Very Inverse	0,12	0,60	0,184	1030
	Rele 4B	Rele Backup	Very Inverse	0,12	0,60	0,468	496

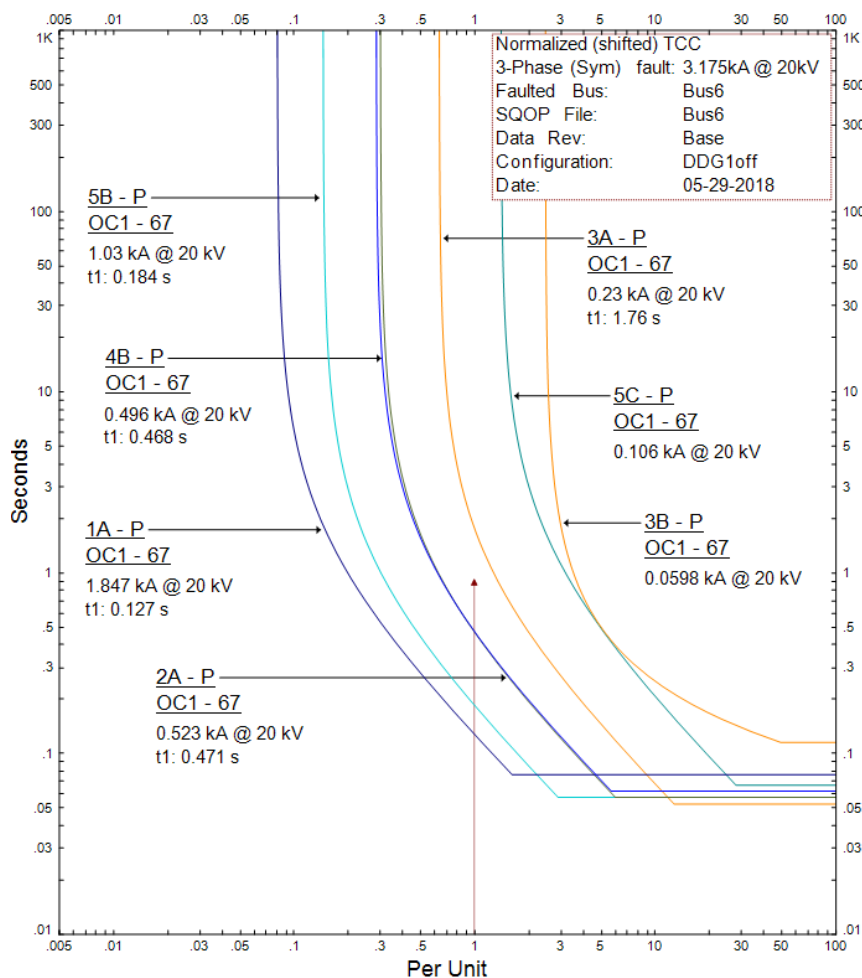


Gambar 4.19 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 2

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.3. yang menunjukkan urutan *tripping*

atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat yang terjadi di Bus 6 sebesar 3175A yang berasal dari kontribusi arus dari tiga saluran. Pada kondisi ini, Bus 6 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,222 detik dan 0,301 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise* dan *clockwise*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.20 dengan arus hubung singkat di Bus 6 sebesar 1 pu.



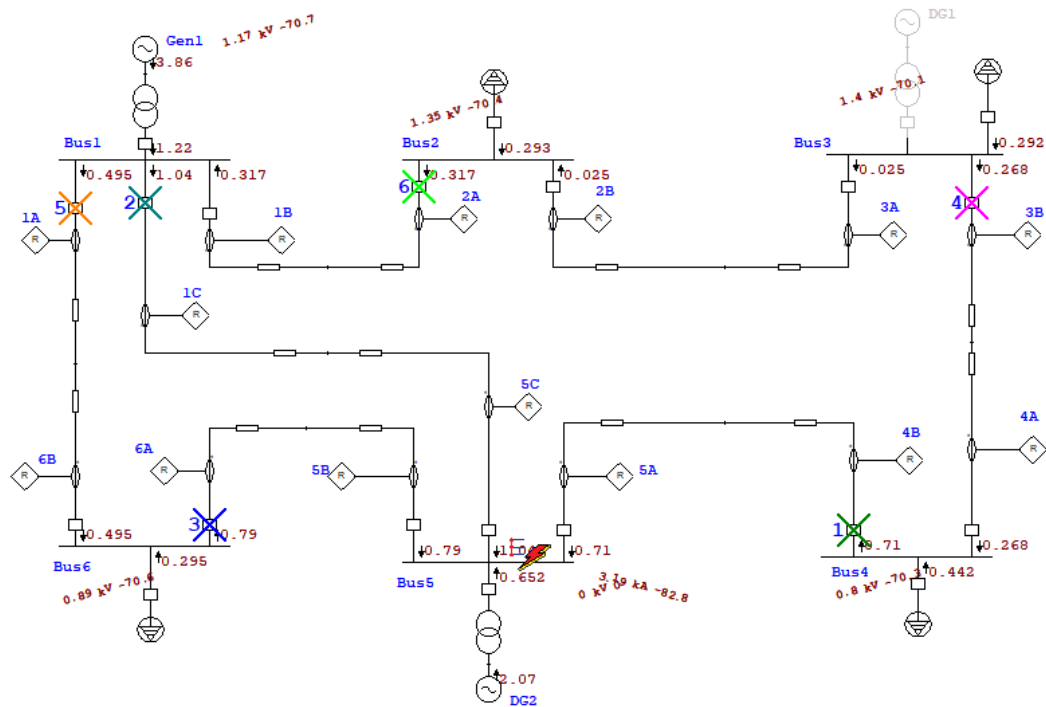
Gambar 4.20 *Normalized TCC* saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 2

- Hubung singkat di Bus 5

Hubung singkat 3 fasa yang terjadi di Bus 5, dimana setiap saluran merasakan arus kontribusi yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi mengakibatkan rele bekerja sebagai rele primer atau sebagai rele sekunder bergantung dari arus *sensed* masing-masing rele. Pasangan rele tersebut adalah Rele 6A sebagai rele primer dengan Rele 1A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 4B sebagai primer dengan Rele 3B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 1C sebagai primer dan Rele 2A sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 5

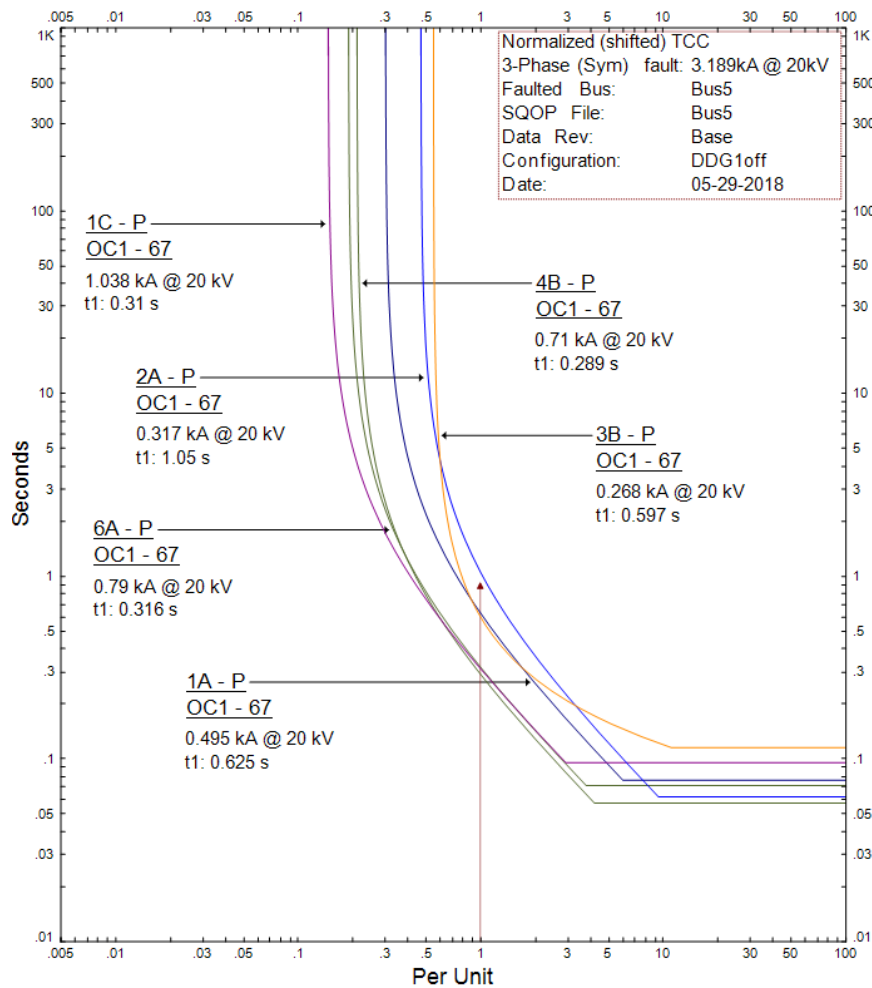
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 6A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,316	790
	Rele 1A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,63	0,625	495
<i>Clockwise</i>	Rele 4B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,289	710
	Rele 3B	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,15	0,99	0,597	268
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1C	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,20	0,61	0,31	1038
	Rele 2A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,13	0,63	1,05	317



Gambar 4.21 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 2

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 5 ditunjukkan oleh Gambar 4.21. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat di Bus 5 mengakibatkan arus hubung singkat sebesar 3282A, Bus 5 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,309 detik, 308 detik dan 0,74 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Grafik kerja rele ditunjukkan secara mendetail pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.22 dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu.



Gambar 4.22 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 2

- Hubung singkat di Bus 4

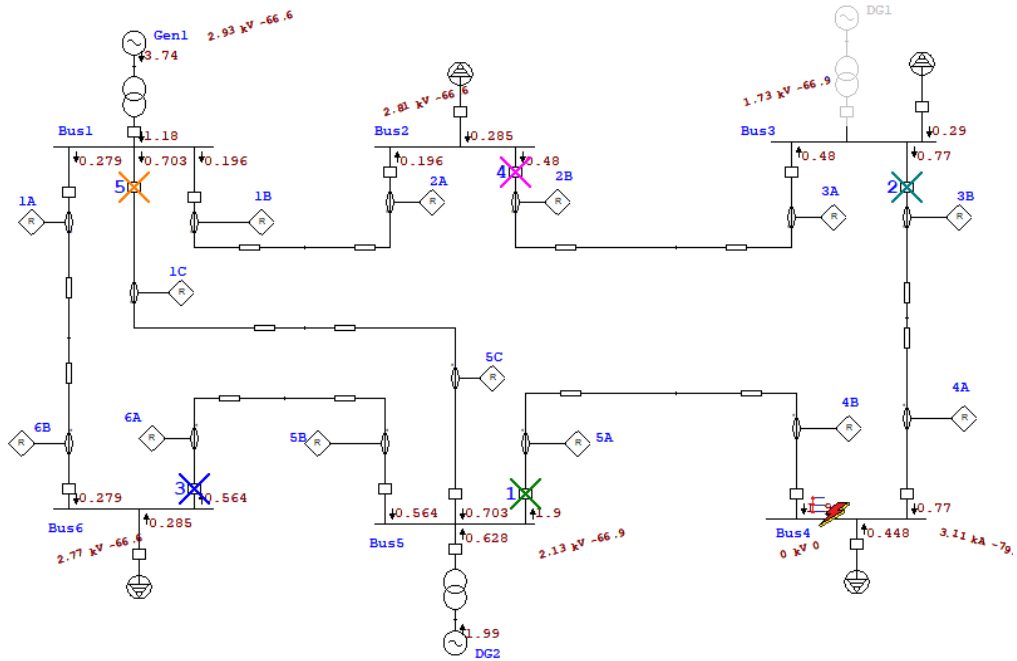
Saat Bus 4 terjadi arus hubung singkat 3 fasa, setiap saluran merasakan arus kontribusi tetapi dengan nilai yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi membagi rele menjadi beberapa pasang rele primer dan rele *backup*. Pasangan rele tersebut adalah Rele 5A sebagai rele primer dengan Rele 6A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 3B sebagai primer dengan Rele 2B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5A sebagai primer dan Rele 1C sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 4

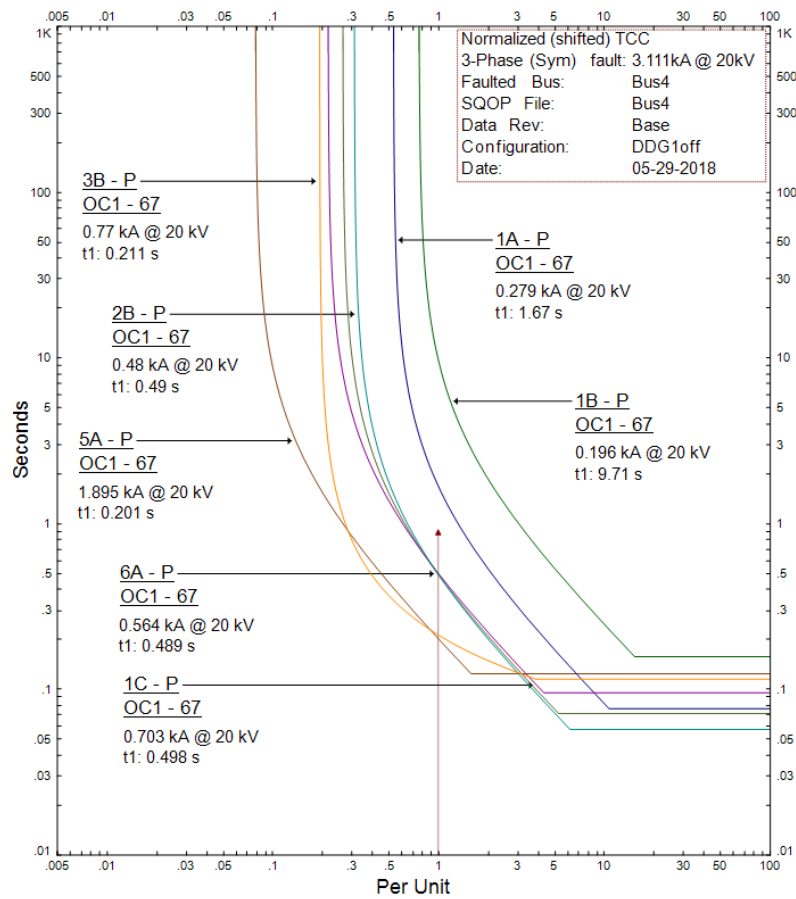
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,26	0,60	0,201	1895
	Rele 6A	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,489	564
<i>Clockwise</i>	Rele 3B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,15	0,99	0,211	770
	Rele 2B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,49	480
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,26	0,60	0,201	1895
	Rele 1C	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,20	0,61	0,498	703

Gambar 4.23 menunjukkan visualisasi *tripping* hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 4. Terlihat bahwa Rele 5A, Rele 3B dan Rele 1C bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 6A, Rele 2B dan Rele 1C bertindak sebagai rele *backup*.

Bus 4 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,228 detik, 0,234 detik dan 0,372 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Kurva *normalized TCC* menunjukkan grafik kerja rele dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu yang ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.23 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 2



Gambar 4.24 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 2

- Hubung singkat di Bus 3

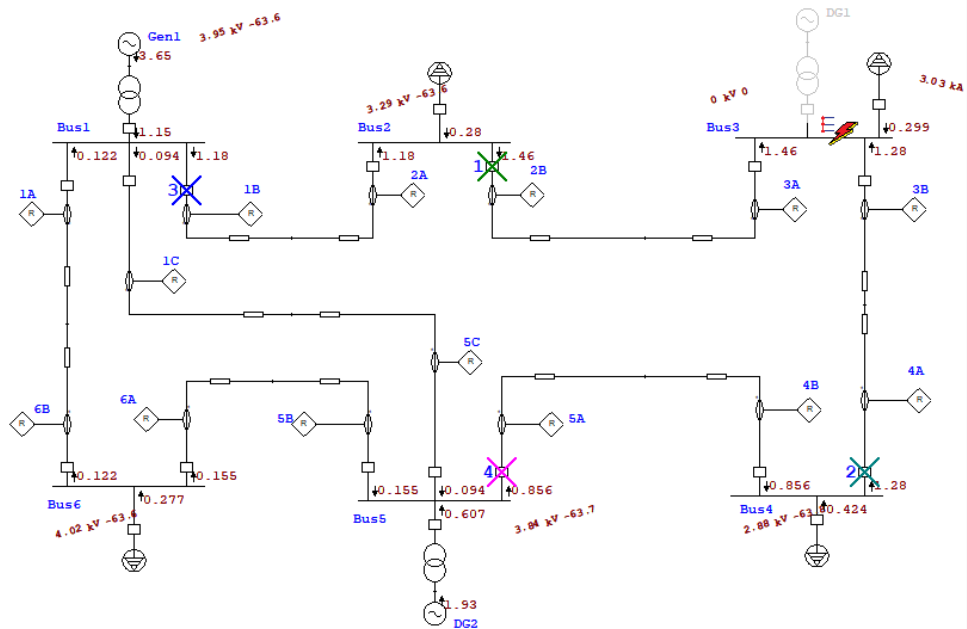
Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 3, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 4A sebagai rele primer dengan Rele 5A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 2B sebagai primer dengan Rele 1B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.25. Terlihat bahwa Rele 4A, dan Rele 2B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 5A dan Rele 1B bertindak sebagai rele *backup*. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan dalam Tabel 4.19 sebagai berikut:

Tabel 4.19 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 3

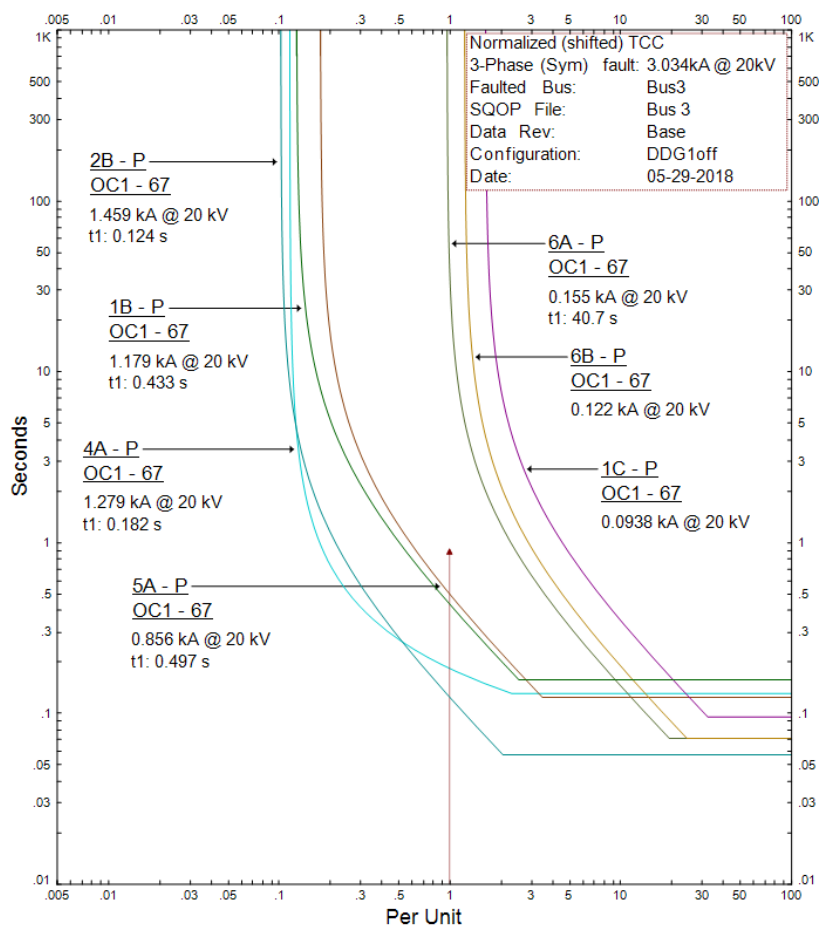
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 4A	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,17	0,99	0,182	1279
	Rele 5A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,26	0,60	0,497	856
<i>Clockwise</i>	Rele 2B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,124	1459
	Rele 1B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,33	0,60	0,433	1179

Gambar 4.25 menunjukkan visualisasi *tripping* hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 3. Rele 4A, dan Rele 5AB sebagai rele primer, sedangkan Rele 2B dan Rele 1C bertindak sebagai rele *backup*.

Bus 3 diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,309 detik, 0,315 detik dan 0,372 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Pada Gambar 4.26 ditunjukkan kurva *normalized* TCC dengan arus hubung singkat di Bus 3 sebesar 1 pu.



Gambar 4.25 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 2



Gambar 4.26 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 2

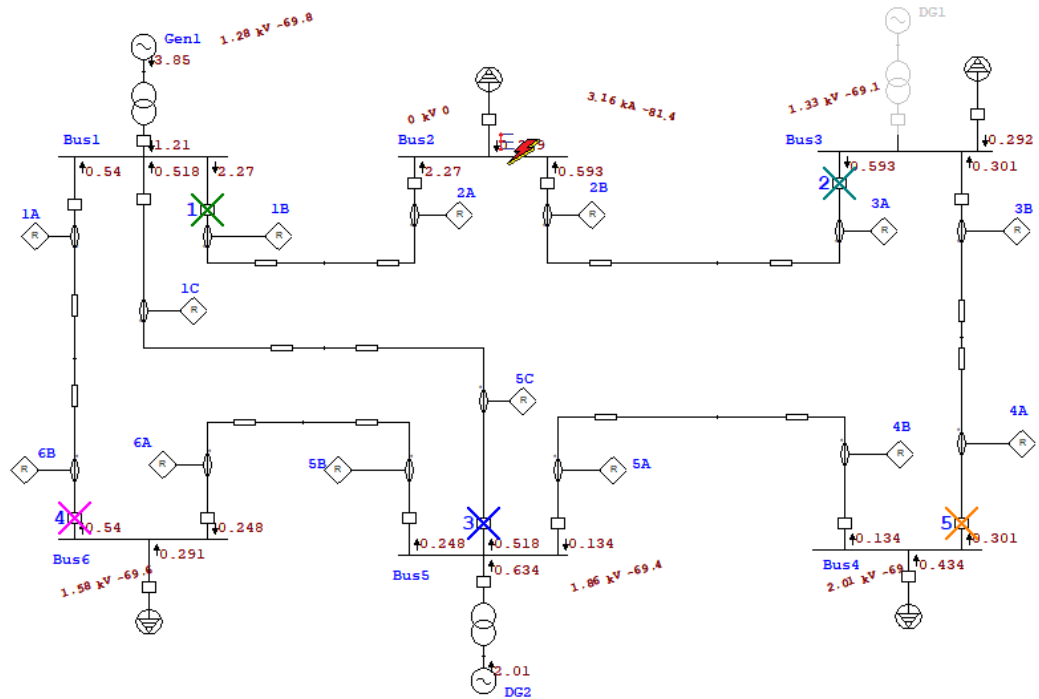
- Hubung singkat di Bus 2

Hubung singkat 3 fasa di Bus 2 mengakibatkan setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 3A sebagai rele primer dengan Rele 4A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 1B sebagai primer dengan Rele 6B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Gambar 4.27 menunjukkan hasil validasi urutan kerja pasangan rele. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 2

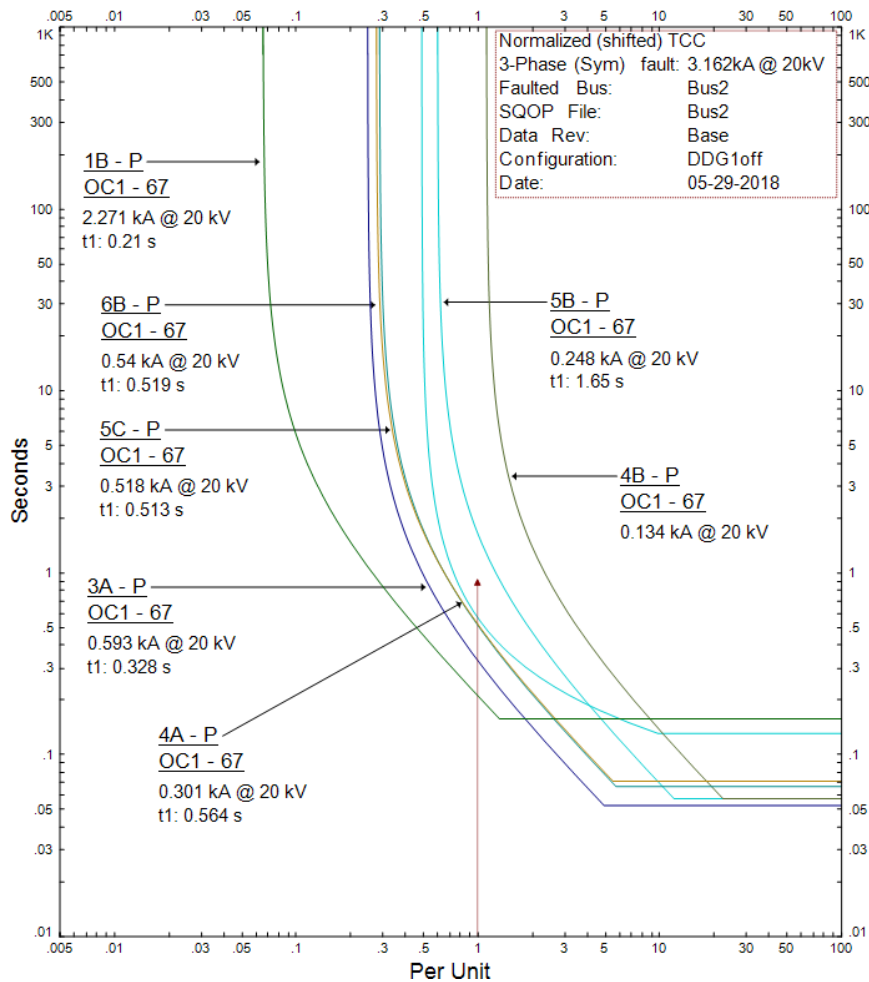
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 3A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,60	0,328	593
	Rele 4A	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,17	0,99	0,564	301
<i>Clockwise</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,33	0,60	0,21	2271
	Rele 6B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,519	540
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,33	0,60	0,21	2271
	Rele 5C	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,14	0,60	0,783	518

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.27. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.



Gambar 4.27 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 2

Hubung singkat yang terjadi di Bus 2 sebesar 3162A yang berasal dari kontribusi arus dari dua saluran. Pada kondisi ini, Bus 2 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,236 detik, 0,309 detik dan 0,303 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise* dan *breaker loop*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.28 dengan arus hubung singkat di Bus 2 sebesar 1 pu.



Gambar 4.28 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 2

- Hubung singkat di Bus 1

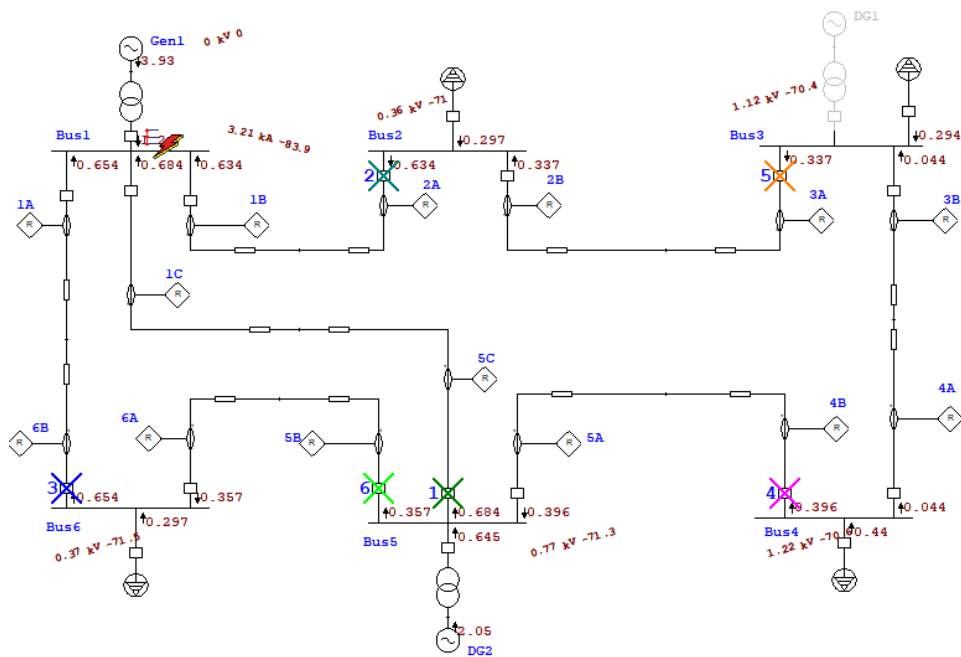
Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 1, setiap saluran merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 2A sebagai rele primer dengan Rele 3A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 6B sebagai primer dengan Rele 5B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5C sebagai primer dan Rele 4C sebagai rele *backup*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.13. Terlihat bahwa Rele 2A, Rele 6B, dan Rele 5C bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 3A, Rele 5B, dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*. Tabel 4.21 menjelaskan tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS.

Tabel 4.21 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 1

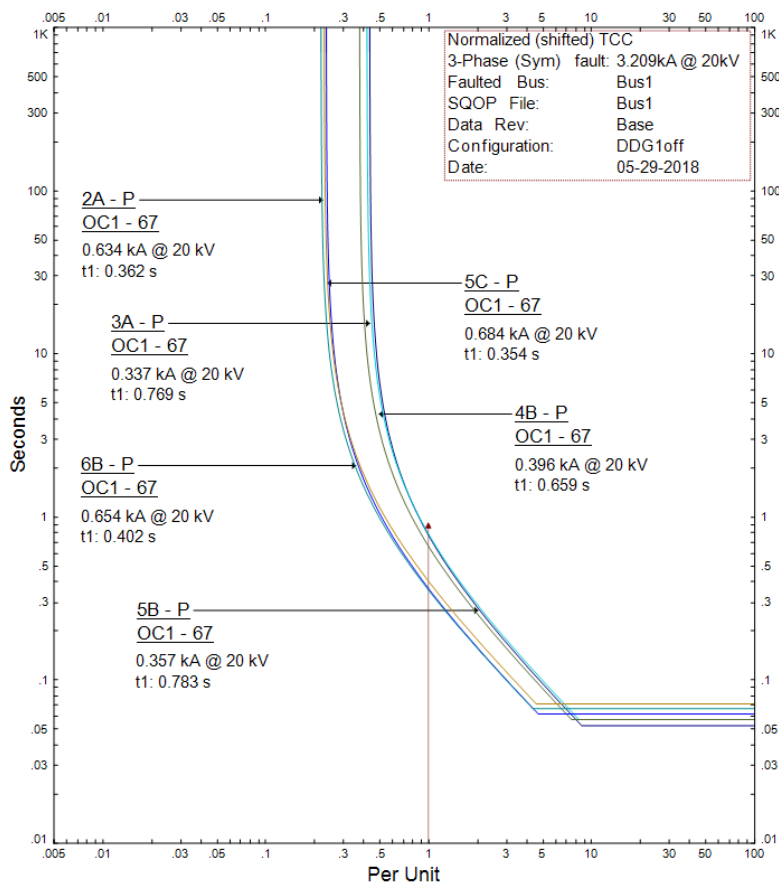
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 2A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,13	0,362	634
	Rele 3A	Rele Backup	<i>Standard Inverse</i>	0,11	0,769	337
<i>Clockwise</i>	Rele 6B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,402	654
	Rele 5B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,783	357
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5C	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,14	0,354	684
	Rele 4B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,659	396

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.29. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat yang terjadi di Bus 1 sebesar 3209A yang berasal dari kontribusi arus dari tiga saluran. Pada kondisi ini, Bus 1 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,407 detik, 0,381 dan 0,305 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *breaker loop*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.30 dengan arus hubung singkat di Bus 1 sebesar 1 pu.



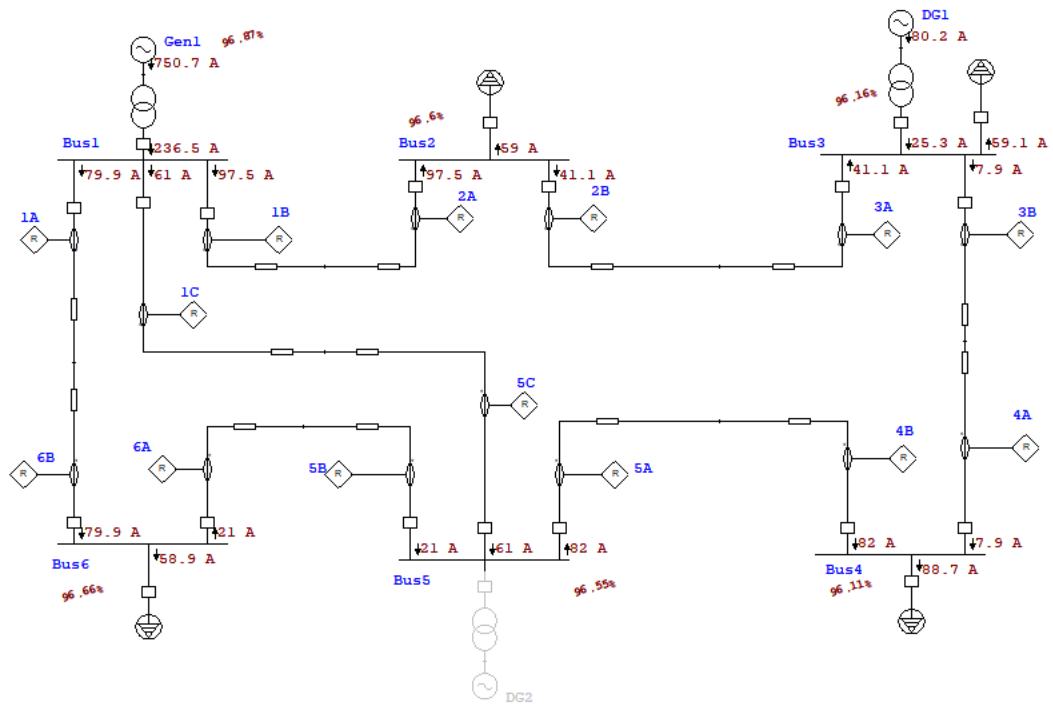
Gambar 4.29 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 2



Gambar 4.30 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 2

4.3 Pemilihan *Setting* Rele Saat Kondisi 3

Desain konfigurasi pada kondisi 3, suplai daya yang terhubung dengan sistem adalah generator utama dan DG1 sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.31. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya perbedaan nilai arus hubung singkat 3 fasa yang terjadi jika dibandingkan dengan dua kondisi sebelumnya. Perbedaan nilai hubung singkat ini mengharuskan untuk dilakukannya perhitungan ulang guna mendapatkan *setting* rele yang tepat. Nilai FLA dipilih berdasarkan *range* yang diijinkan dan dilakukan *setting* berdasarkan tap CT yang sama seperti kondisi 1.



Gambar 4.31 Konfigurasi sistem pada kondisi 3

Saat terjadinya hubung singkat di suatu bus, semakin jauh lokasi rele maka akan semakin kecil arus yang akan dirasakan. Hal tersebut mempermudah rele untuk menentukan fungsi rele primer atau rele *backup* seperti pasangan rele yang tertera pada Tabel 4.22. Akan tetapi, pasangan Rele 1A sebagai rele primer dan Rele 5C sebagai *backup* diabaikan karena arus kontribusi yang dirasakan lebih kecil daripada FLA. Nilai *input* CFA didapatkan dari Tabel 4.22 dan Tabel 4.23 untuk mendapatkan keluaran *setting* TDS kondisi 3 pada setiap rele yang dirangkum pada Tabel 4.24.

Tabel 4.22 Pasangan rele primer dan *backup* serta arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder pada kondisi 3

Rele Primer	Rele Backup	Isc 3 Fasa (A)	Rele Primer	Rele Backup	Isc 3 Fasa (A)
1A	2A	544	4A	5A	557
5B	1C	118	2B	1B	896
5B	4B	589	3A	4A	151
6A	1A	517	1B	6B	349
1C	2A	372	1B	5C	230
4B	3B	324	2A	3A	341
5A	1C	793	5C	4B	507
5A	6A	624	6B	5B	143
3B	2B	344			

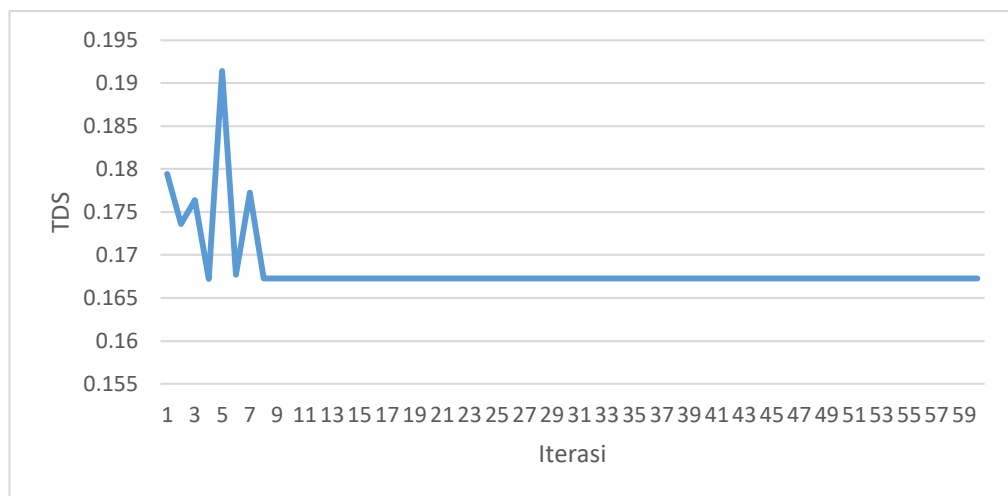
Tabel 4.23 *Full Load Ampere* pada kondisi 3 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat

Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)	Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)
1A	140,3	1650	4A	140,3	987
1B	140,3	1800	4B	140,3	766
1C	140,3	1070	5A	140,3	1420
2A	140,3	638	5B	140,3	706
2B	140,3	1180	5C	140,3	363
3A	140,3	556	6A	140,3	811
3B	140,3	746	6B	140,3	441

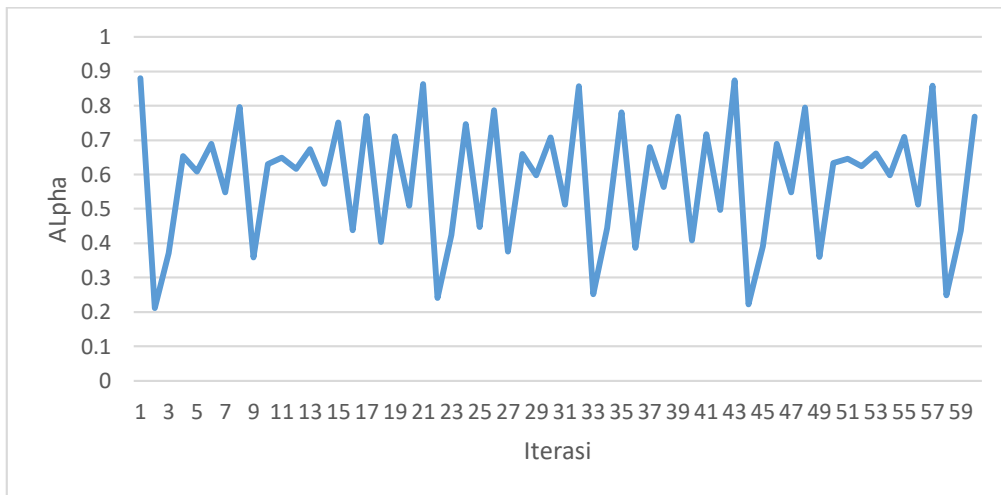
Tabel 4.24 Hasil CFA untuk *setting* rele pada kondisi 3

Rele	TAP	TDS	Rele	TAP	TDS
1A	0,60	0,17	4A	0,70	0,10
1B	0,66	0,20	4B	0,73	0,13
1C	0,61	0,20	5A	0,60	0,12
2A	0,64	0,10	5B	0,41	0,11
2B	0,59	0,10	5C	0,60	0,10
3A	0,59	0,10	6A	0,60	0,15
3B	0,98	0,21	6B	0,60	0,18

Chaotic Firefly Algorithm memiliki 40 partikel dan di iterasi sebanyak 60 kali pada setiap rele hingga konvergen, dimana tingkat konvergen rele adalah nilai operasi minimum tiap relenya. Gambars salah satu grafik rele pada *chaotic firefly algorithm* di setiap iterasi ditunjukkan pada Gambar 4.32 yang menunjukkan bahwa CFA akan mencapai titik konvergen pada iterasi kedelapan. Perubahan nilai yang terjadi dari iterasi pertama bergantung pada nilai alpha yang di perbaharui pada setiap iterasinya. Pembaharuan nilai alpha pada setiap iterasinya ditunjukkan oleh Gambar 4.33.



Gambar 4.32 Grafik iterasi *firefly* pada Rele 1A pada kondisi 3



Gambar 4.33 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi

4.3.1 Validasi *Setting* TDS Kondisi 3

Validasi diperlukan untuk mengetahui keakuratan dari hasil keluaran CFA. Validasi dilakukan dengan kondisi hubung singkat pada bus, yang dilakukan secara berurutan dari Bus 6 hingga bus1 dengan mengecek status selisih waktu kerja antar rele primer dan *backup* yang telah di atur sesuai dengan parameter rele yang telah ditentukan di dalam program. Hasil dari waktu operasi rele primer dan *backup* terangkum dalam Tabel 4.16. Selisih waktu antara rele primer dan rele sekunder semuanya dalam batas *range* yang diijinkan, dengan nilai selisih terendah 0,222 detik yakni Rele 1A sebagai primer dan Rele 2A sebagai *backup* saat terjadi hubung singkat di Bus 6. Sedangkan selisih waktu terbesar yakni 0,395 detik adalah Rele 6B sebagai primer dan Rele 5B sebagai *backup*. Total operasi waktu rele primer dan rele *backup* saat terjadi hubung singkat didalam sistem sebesar 3,376 detik dan 8,973 detik.

Tabel 4.25 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan *Backup* untuk kondisi 3

Bus Fault	Rele		Waktu Operasi (detik)		
	Primer	<i>Backup</i>	Primer	<i>Backup</i>	CTI
6	1A	2A	0,153	0,375	0,222
	5B	4B	0,132	0,526	0,394
5	6A	1A	0,306	0,626	0,32
	4B	3B	0,366	0,621	0,255
	1C	2A	0,299	0,681	0,382
4	3B	2B	0,3	0,674	0,374
	5A	6A	0,128	0,427	0,299
	5A	1C	0,128	0,429	0,301
3	2B	1B	0,128	0,406	0,278
	4A	5A	0,103	0,398	0,295
2	1B	6B	0,182	0,498	0,316
	1B	5C	0,325	0,646	0,321
	3A	4A	0,182	0,548	0,366
1	2A	3A	0,389	0,773	0,384
	5C	4B	0,301	0,686	0,385
	6B	5B	0,264	0,659	0,395

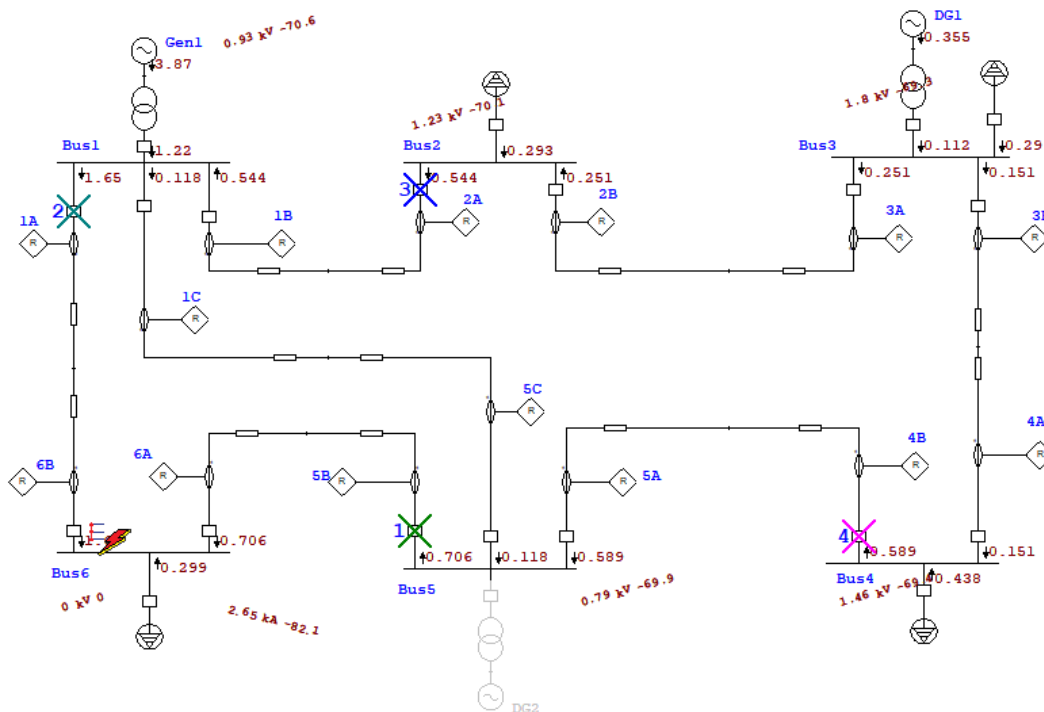
Berikut adalah status validasi per kejadian hubung singkat di tiap bus, disertai dengan nilai arus kontribusi yang dirasakan rele primer dan rele *backup*.

- Hubung singkat di Bus 6

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 6, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 1A sebagai rele primer dengan Rele 2A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 5B sebagai primer dengan Rele 4B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Rele bekerja sebagai rele primer atau sekunder, bergantung pada arus kontribusi yang dirasakan ketika terjadi hubung singkat, arus tersebut disebut sebagai arus *sensed*. Rekapitulasi status rele, beserta dengan tipe kurva, *setting* TDS, serta waktu operasi tertera dalam Tabel 4.26 sebagai berikut:

Tabel 4.26 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 6

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 1A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,17	0,60	0,153	1646
	Rele 2A	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,10	0,64	0,375	544
<i>Clockwise</i>	Rele 5B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,11	0,41	0,132	706
	Rele 4B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,13	0,73	0,526	589

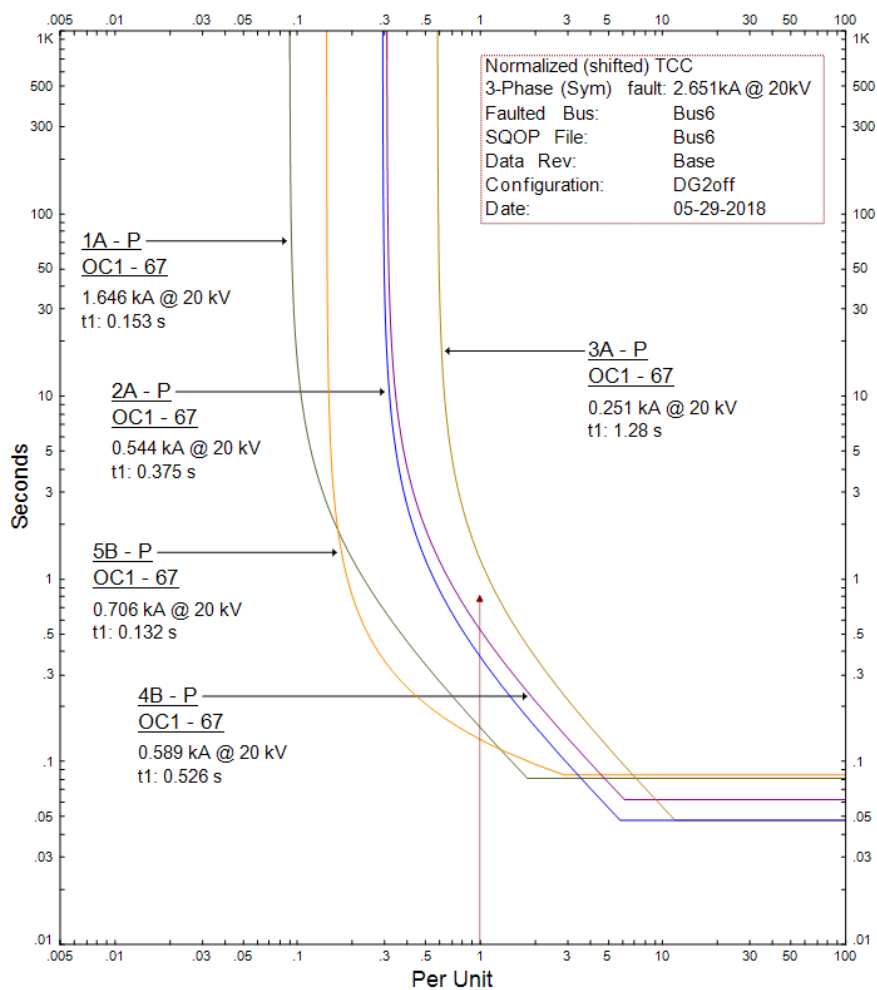


Gambar 4.34 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 3

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.34. yang menunjukkan urutan *tripping*

atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat yang terjadi di Bus 6 sebesar 2651A yang berasal dari kontribusi arus dari dua saluran. Pada kondisi ini, Bus 6 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,222 detik dan 0,394 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise* dan *clockwise*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.35 dengan arus hubung singkat di Bus 6 sebesar 1 pu.



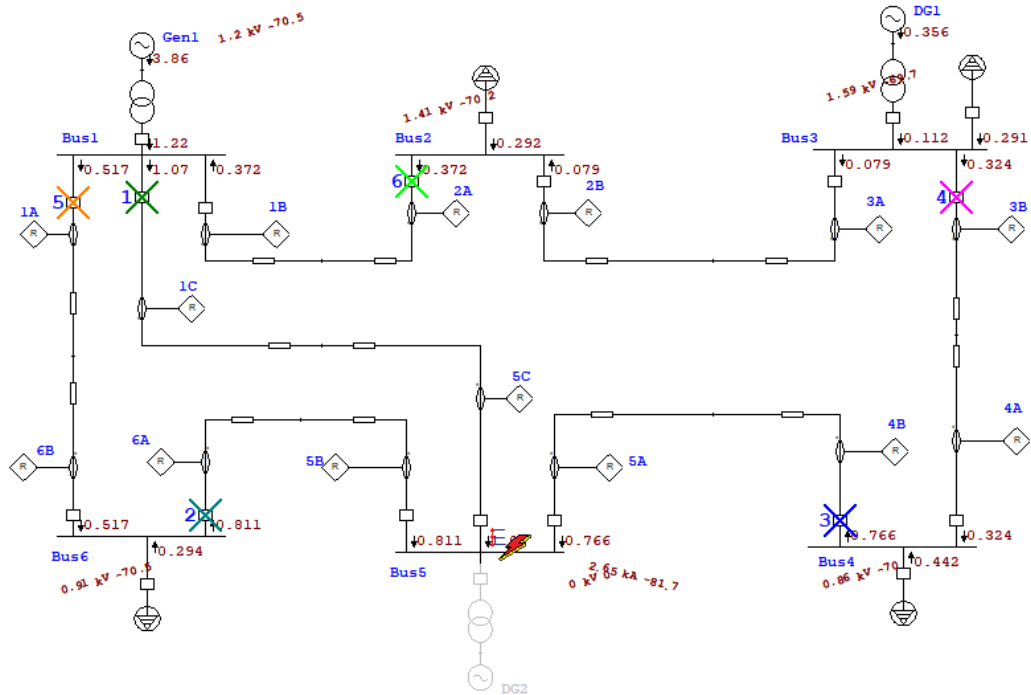
Gambar 4.35 *Normalized TCC* saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 3

- Hubung singkat di Bus 5

Hubung singkat 3 fasa yang terjadi di Bus 5, dimana setiap saluran merasakan arus kontribusi yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi mengakibatkan rele bekerja sebagai rele primer atau sebagai rele *backup* bergantung dari arus *sensed* masing-masing rele. Pasangan rele tersebut adalah Rele 6A sebagai rele primer dengan Rele 1A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 4B sebagai primer dengan Rele 3B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 1C sebagai primer dan Rele 2A sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 5

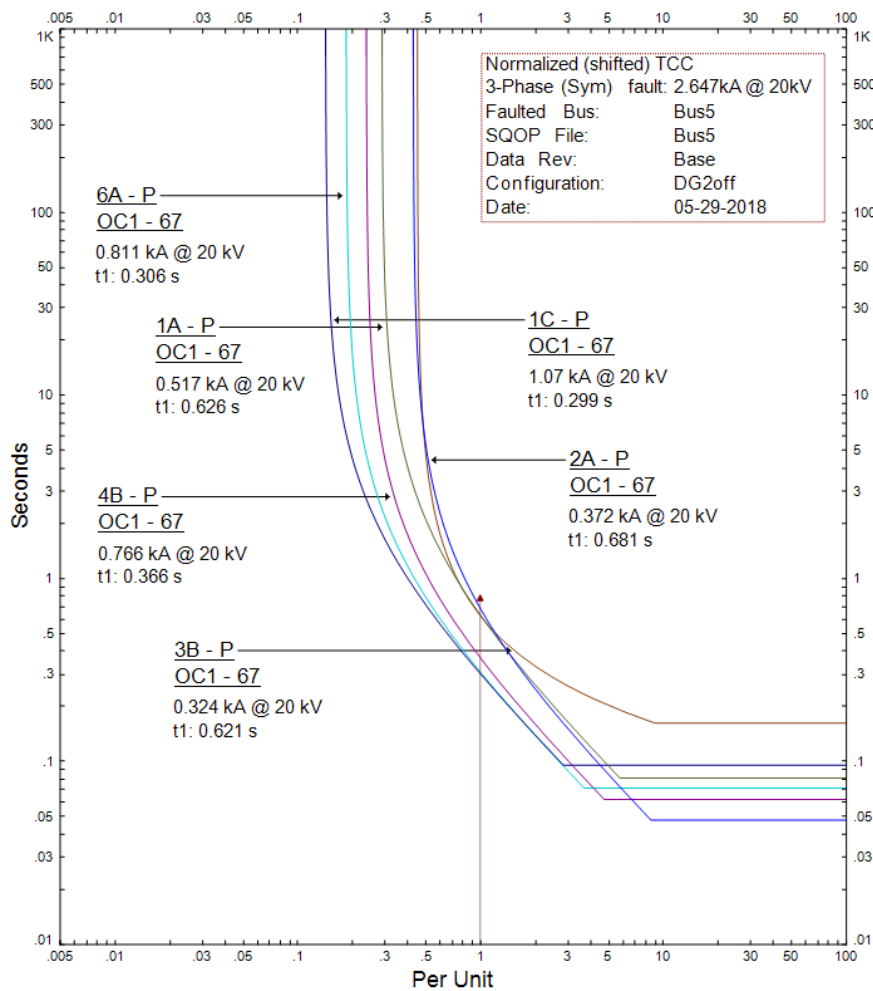
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 6A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,18	0,60	0,306	811
	Rele 1A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,17	0,60	0,626	517
<i>Clockwise</i>	Rele 4B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,13	0,73	0,366	766
	Rele 3B	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,21	0,98	0,621	324
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1C	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,20	0,61	0,299	1070
	Rele 2A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,10	0,64	0,681	372



Gambar 4.36 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 3

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 5 ditunjukkan oleh Gambar 4.36. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat di Bus 5 mengakibatkan arus hubung singkat sebesar 2647A, Bus 5 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,32 detik, 0,255 detik dan 0,382 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Grafik kerja rele ditunjukkan secara mendetail pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.37 dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu.



Gambar 4.37 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 3

- Hubung singkat di Bus 4

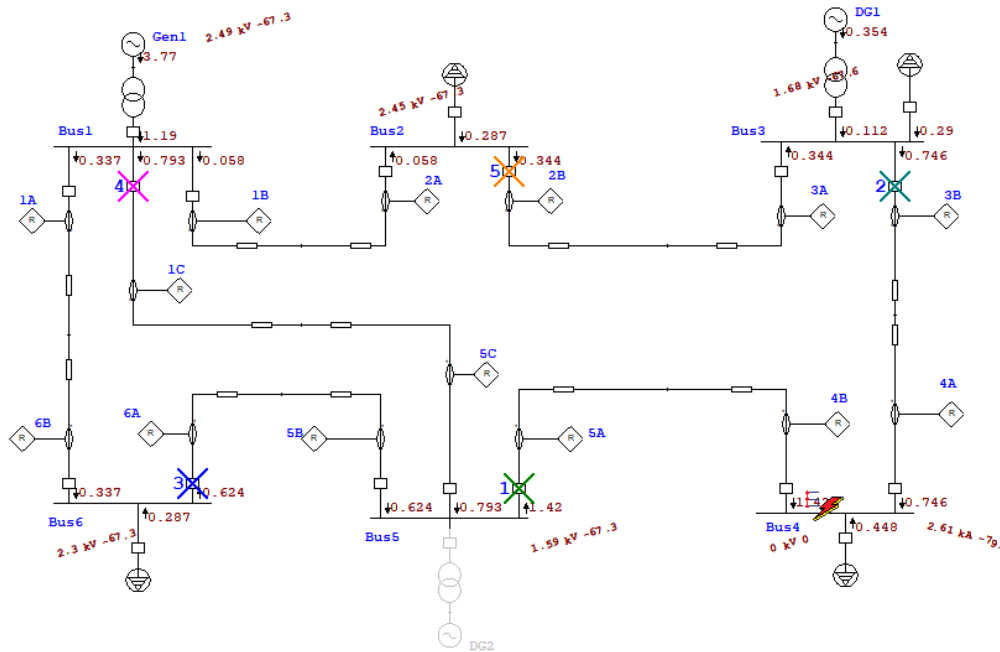
Saat Bus 4 terjadi arus hubung singkat 3 fasa, setiap saluran merasakan arus kontribusi tetapi dengan nilai yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi membagi rele menjadi beberapa pasang rele primer dan rele *backup*. Pasangan rele tersebut adalah Rele 5A sebagai rele primer dengan Rele 6A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 3B sebagai primer dengan Rele 2B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5A sebagai primer dan Rele 1C sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 4

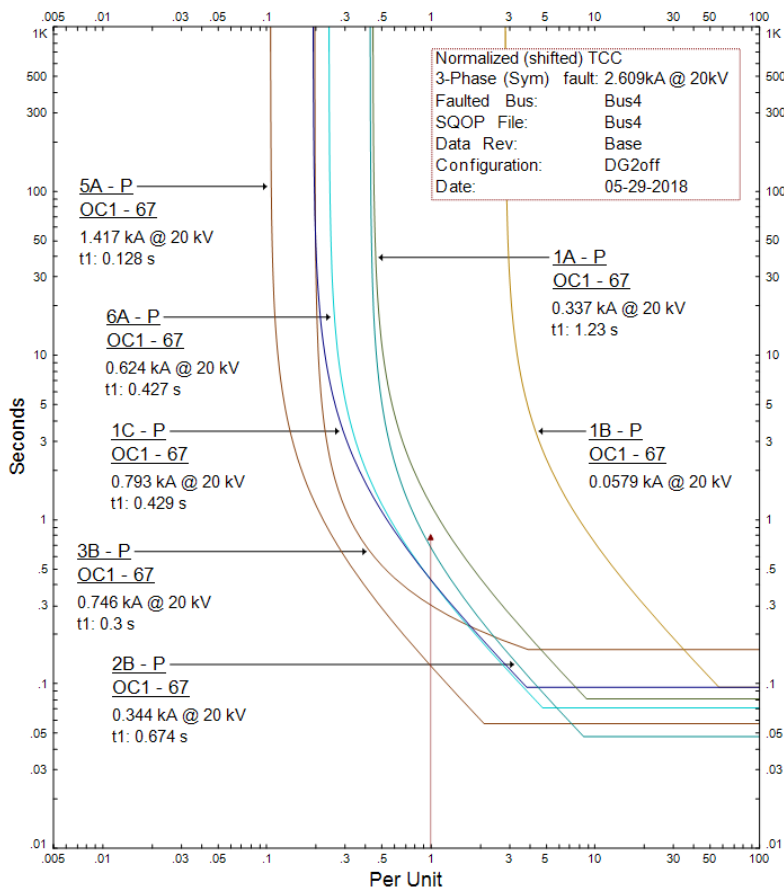
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,128	1417
	Rele 6A	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,427	624
<i>Clockwise</i>	Rele 3B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,21	0,21	0,3	746
	Rele 2B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,10	0,59	0,674	344
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,128	1417
	Rele 1C	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,20	0,61	0,429	793

Gambar 4.38 menunjukkan visualisasi *tripping* hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 4. Terlihat bahwa Rele 5A, Rele 3B dan Rele 1C bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 6, Rele 2B dan Rele 1C bertindak sebagai rele *backup*.

Bus 4 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,228 detik, 0,234 detik dan 0,372 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Kurva *normalized TCC* menunjukkan grafik kerja rele dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu yang ditunjukkan pada Gambar 4.39.



Gambar 4.38 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 3



Gambar 4.39 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 3

- Hubung singkat di Bus 3

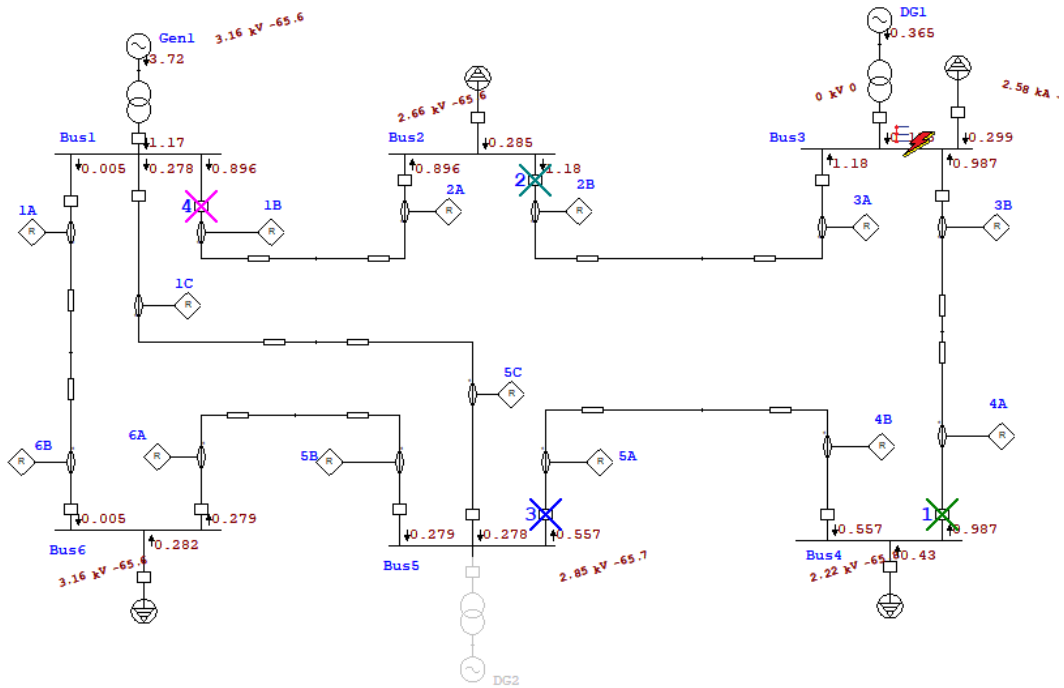
Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 3, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 4A sebagai rele primer dengan Rele 5A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 2B sebagai primer dengan Rele 1B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.25. Terlihat bahwa Rele 4A, dan Rele 2B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 5A dan Rele 1B bertindak sebagai rele *backup*. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan dalam Tabel 4.29 sebagai berikut:

Tabel 4.29 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 3

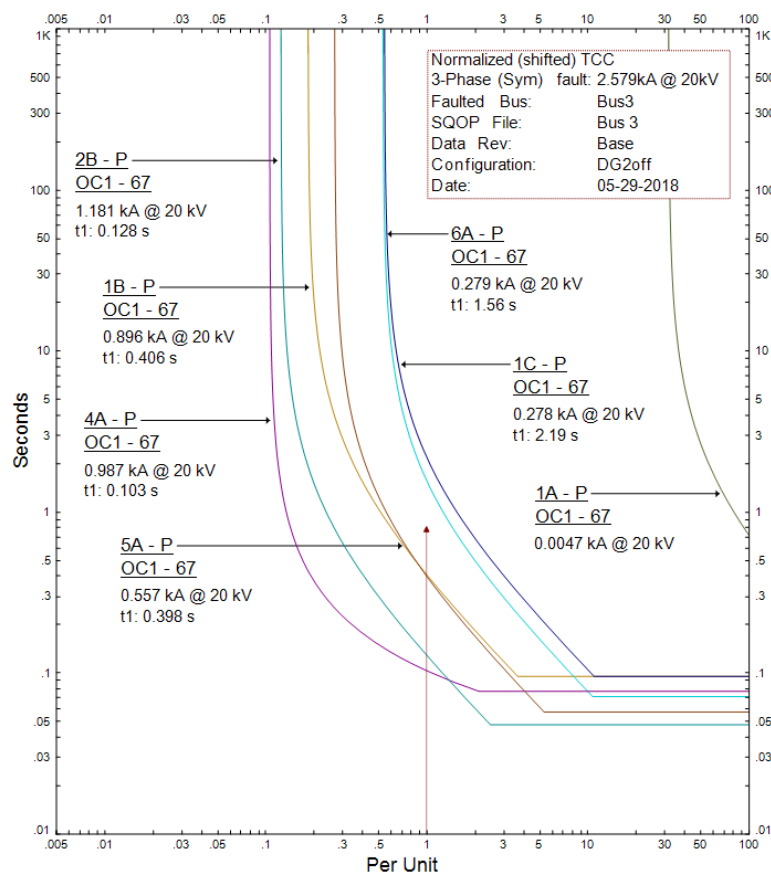
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 4A	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,10	0,70	0,103	987
	Rele 5A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,12	0,60	0,398	557
<i>Clockwise</i>	Rele 2B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,10	0,59	0,128	1181
	Rele 1B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,20	0,66	0,406	896

Gambar 4.40 menunjukkan visualisasi *tripping* hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 3. Rele 4A, dan Rele 5AB sebagai rele primer, sedangkan Rele 2B dan Rele 1C bertindak sebagai rele *backup*.

Bus 3 diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,295 detik dan 0,278 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise* dan *clockwise*. Pada Gambar 4.41 ditunjukkan kurva *normalized* TCC dengan arus hubung singkat di Bus 3 sebesar 1 pu.



Gambar 4.40 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 3



Gambar 4.41 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 3

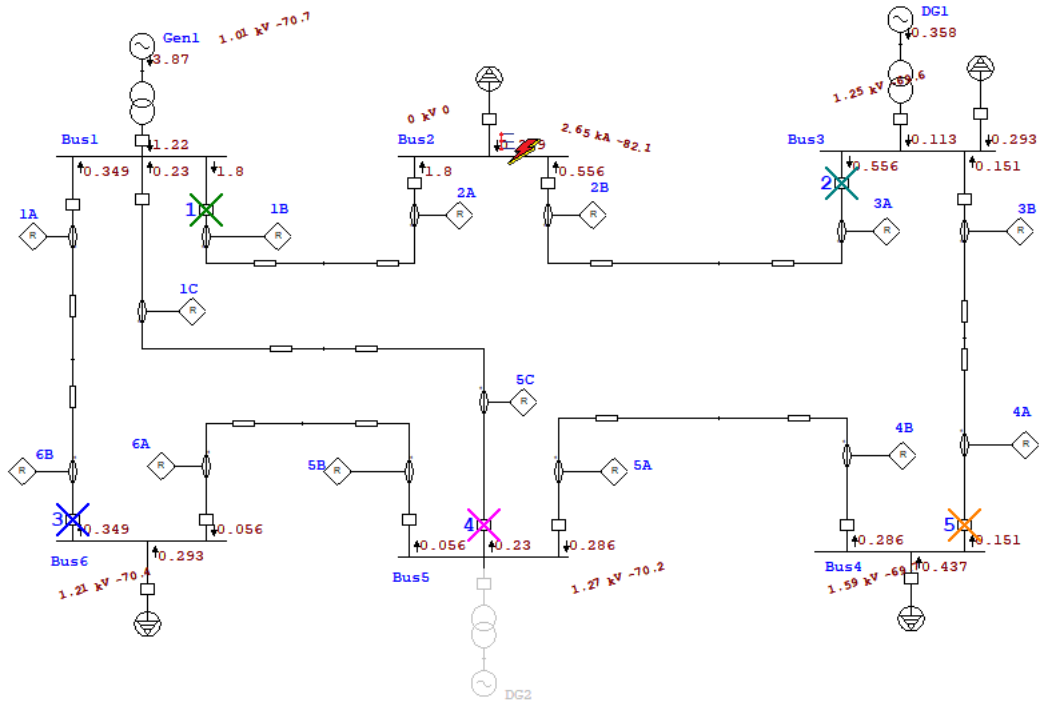
- Hubung singkat di Bus 2

Hubung singkat 3 fasa di Bus 2 mengakibatkan setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 3A sebagai rele primer dengan Rele 4A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 1B sebagai primer dengan Rele 6B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Gambar 4.42 menunjukkan hasil validasi urutan kerja pasangan rele. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan pada Tabel 4.30.

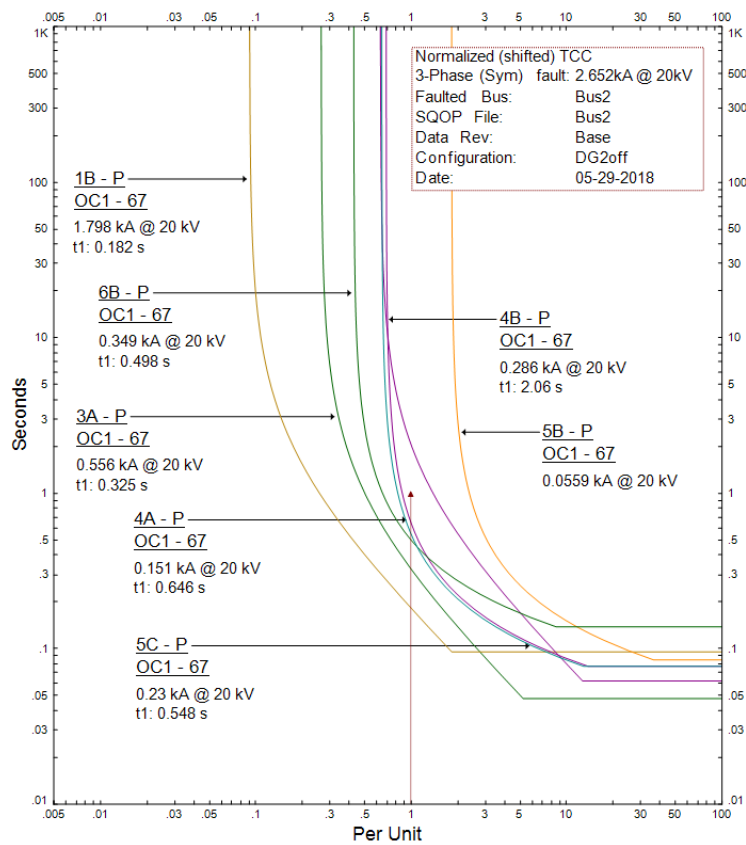
Tabel 4.30 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 2

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 3A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,10	0,59	0,325	556
	Rele 4A	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,10	0,70	0,646	151
<i>Clockwise</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,20	0,66	0,182	1798
	Rele 6B	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,18	0,60	0,498	349
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,20	0,66	0,182	1798
	Rele 5C	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,10	0,60	0,498	230

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.43. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 3A dan Rele 1B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 4A, Rele 6B dan 5C bertindak sebagai rele *backup*.



Gambar 4.42 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 3



Gambar 4.43 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 3

Hubung singkat yang terjadi di Bus 2 sebesar 2652A yang berasal dari kontribusi arus dari dua saluran. Pada kondisi ini, Bus 2 akan diamankan oleh dua rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,321 detik, 0,316 detik dan 0,366 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise* dan *breaker loop*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.44 dengan arus hubung singkat di Bus 2 sebesar 1 pu.

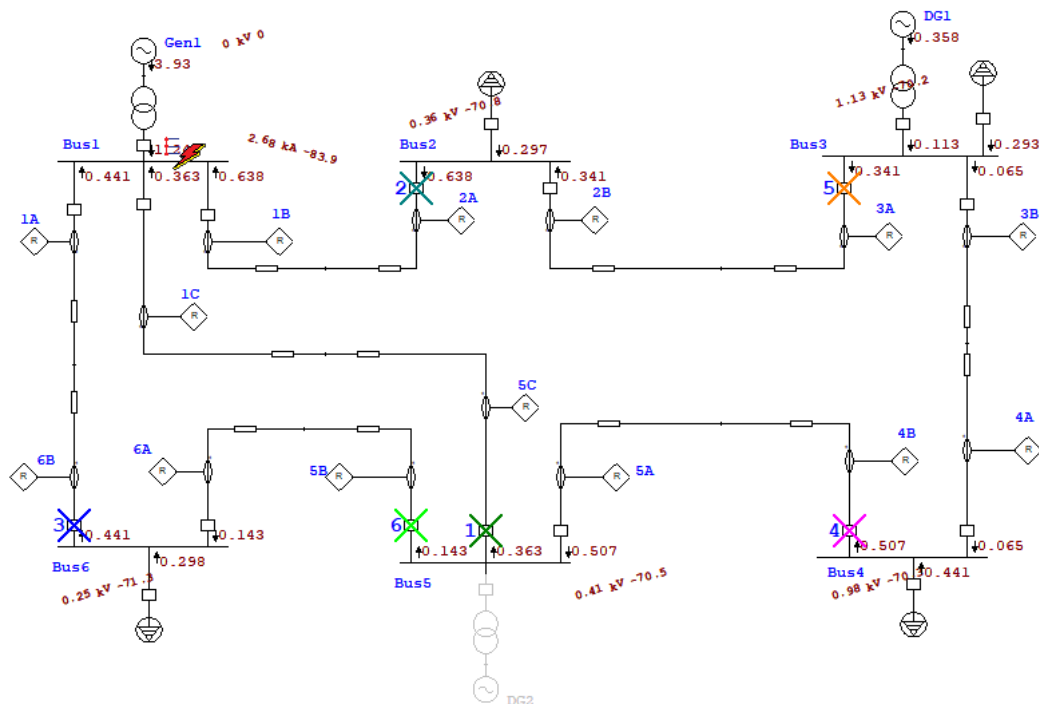
- Hubung singkat di Bus 1

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 1, setiap saluran merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 2A sebagai rele primer dengan Rele 3A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 6B sebagai primer dengan Rele 5B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5C sebagai primer dan Rele 4C sebagai rele *backup*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.44. Terlihat bahwa Rele 2A, Rele 6B, dan Rele 5C bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 3A, Rele 5B, dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS direkapitulasi dalam Tabel 4.31.

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.44. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

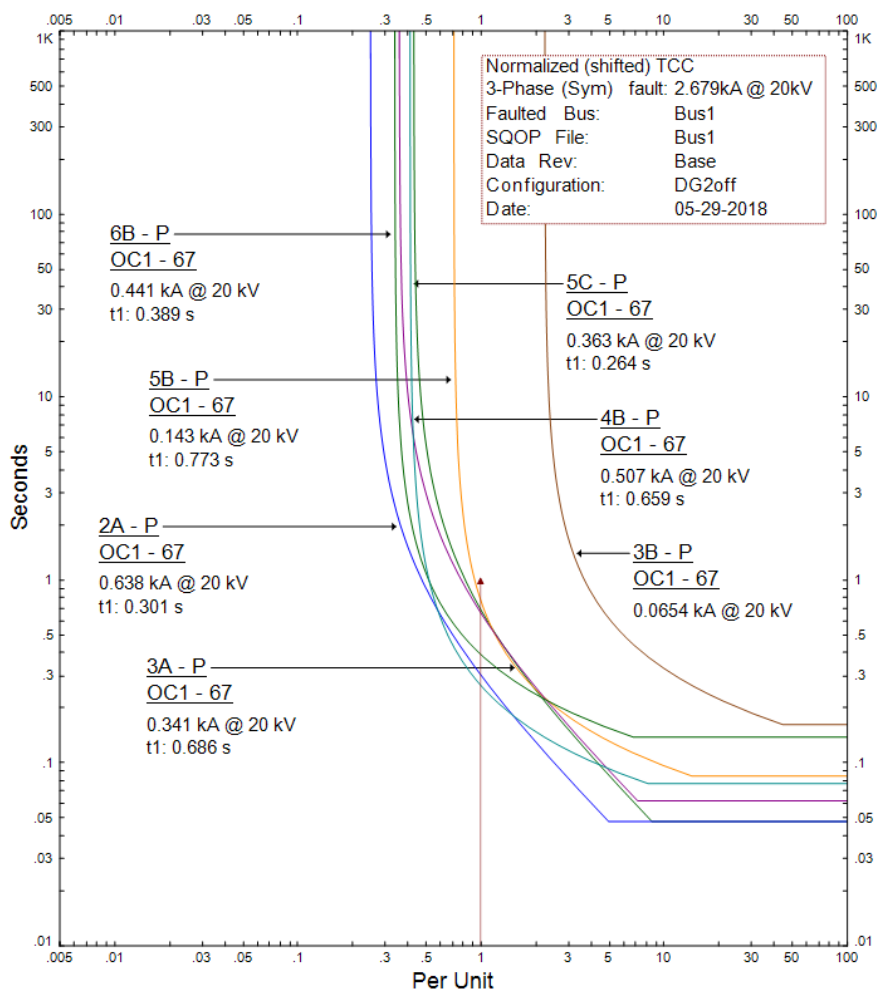
Tabel 4.31 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 1

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 2A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,10	0,64	0,301	638
	Rele 3A	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,10	0,59	0,686	341
<i>Clockwise</i>	Rele 6B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,18	0,60	0,389	441
	Rele 5B	Rele Backup	<i>Standard Inverse</i>	0,11	0,41	0,773	143
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5C	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,10	0,60	0,264	363
	Rele 4B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,13	0,73	0,659	507



Gambar 4.44 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 3

Hubung singkat yang terjadi di Bus 1 sebesar 2679A yang berasal dari kontribusi arus dari tiga saluran. Pada kondisi ini, Bus 1 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,385 detik, 0,384 dan 0,395 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *breaker loop*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.45 dengan arus hubung singkat di Bus 1 sebesar 1 pu.

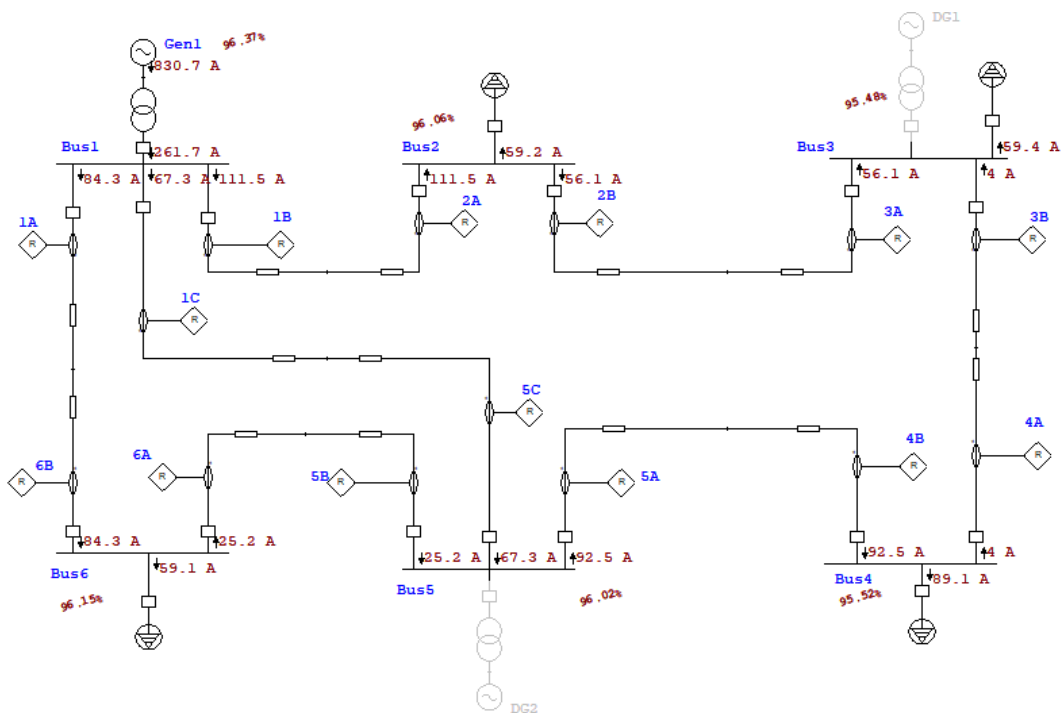


Gambar 4.45 *Normalized TCC* saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 3

4.4 Pemilihan *Setting* Rele Saat Kondisi 4

Desain konfigurasi pada kondisi 4, suplai daya yang terhubung dengan sistem hanyalah generator utama sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.46. Kondisi

ini mengakibatkan terjadinya perbedaan nilai arus hubung singkat 3 fasa yang terjadi jika dibandingkan dengan dua kondisi sebelumnya. Perbedaan nilai hubung singkat ini mengharuskan untuk dilakukannya perhitungan ulang guna mendapatkan *setting* rele yang tepat. Rekap nilai hubung singkat dituliskan dalam Tabel 4.13 bersamaan dengan nilai FLA pada sistem. Nilai FLA dipilih berdasarkan *range* yang diijinkan dan dilakukan *setting* berdasarkan tap CT yang sama seperti kondisi 1.



Gambar 4.46 Konfigurasi sistem pada kondisi 4

Saat terjadinya hubung singkat di suatu bus, semakin jauh lokasi rele maka akan semakin kecil arus yang akan dirasakan. Hal tersebut mempermudah rele untuk menentukan fungsi rele primer atau rele *backup* seperti pasangan rele yang tertera pada Tabel 4.32. Pasangan Rele 1A sebagai rele primer dan Rele 5C sebagai *backup* diabaikan karena arus kontribusi yang dirasakan lebih kecil daripada FLA. Akan tetapi, pasangan Rele 3A sebagai rele primer dan Rele 4A sebagai rele *backup*, serta Rele 6B sebagai rele primer dan Rele 5B sebagai *backup* tidak dapat diabaikan karena merupakan pasangan rele pengaman utama sistem. Nilai *input*

CFA didapatkan dari Tabel 4.32 dan Tabel 4.33 untuk mendapatkan keluaran *setting* TDS kondisi 4 pada setiap rele yang dirangkum pada Tabel 4.34.

Tabel 4.32 Pasangan rele primer dan *backup* serta arus kontribusi yang dirasakan oleh rele sekunder pada kondisi 4

Rele Primer	Rele <i>Backup</i>	Isc 3 Fasa (A)	Rele Primer	Rele <i>Backup</i>	Isc 3 Fasa (A)
1A	2A	483	4A	5A	315
5B	1C	125	2B	1B	896
5B	4B	541	3A	4A	188
6A	1A	495	1B	6B	335
1C	2A	317	1B	5C	209
4B	3B	268	2A	3A	275
5A	1C	772	5C	4B	461
5A	6A	610	6B	5B	125
3B	2B	381			

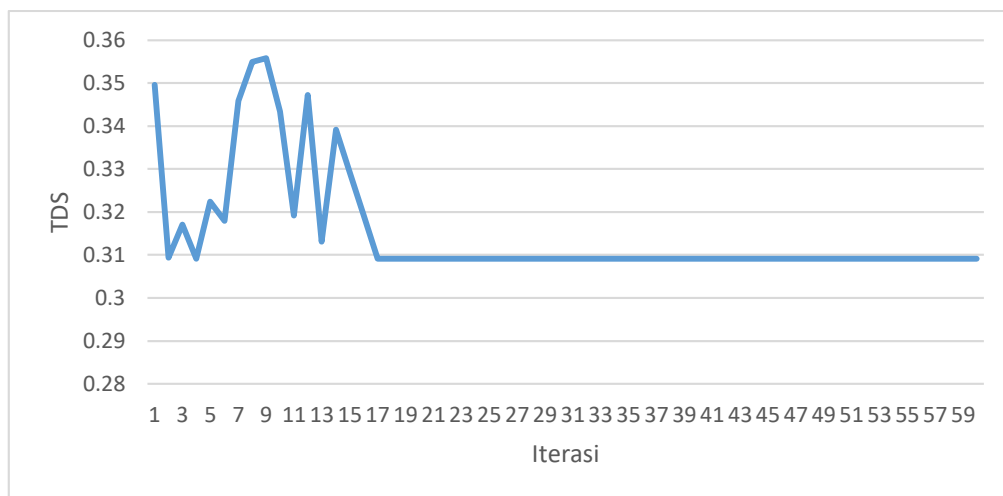
Tabel 4.33 *Full Load Ampere* pada kondisi 4 dan arus kontribusi yang dirasakan oleh rele primer ketika hubung singkat

Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)	Rele	FLA (A)	Isc 3 Fasa (A)
1A	140,3	1580	4A	140,3	987
1B	140,3	1760	4B	140,3	710
1C	140,3	1040	5A	140,3	1380
2A	140,3	572	5B	140,3	665
2B	140,3	1180	5C	140,3	336
3A	140,3	482	6A	140,3	790
3B	140,3	672	6B	140,3	423

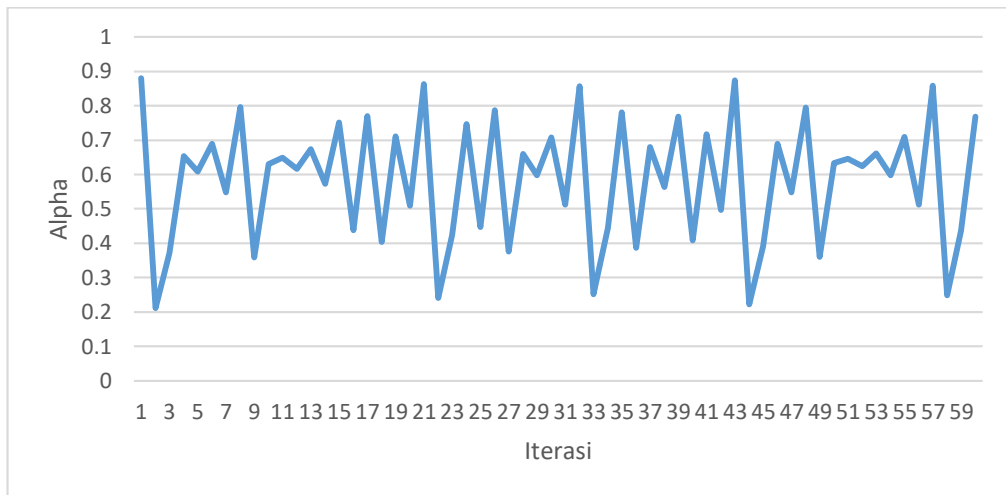
Tabel 4.34 Hasil CFA untuk *setting* rele pada kondisi 4

Rele	TAP	TDS	Rele	TAP	TDS
1A	0,62	0,31	4A	0,90	0,11
1B	0,60	0,24	4B	0,60	0,15
1C	0,64	0,22	5A	0,60	0,15
2A	0,59	0,32	5B	0,23	0,23
2B	0,60	0,11	5C	0,59	0,10
3A	0,60	0,23	6A	0,59	0,16
3B	0,98	0,17	6B	0,61	0,17

Chaotic Firefly Algorithm memiliki 40 partikel dan di iterasi sebanyak 60 kali pada setiap rele hingga konvergen, dimana tingkat konvergen rele adalah nilai operasi minimum tiap relenya. Gambar salah satu grafik rele pada *chaotic firefly algorithm* di setiap iterasi ditunjukkan pada Gambar 4.48 yang menunjukkan bahwa CFA akan mencapai titik konvergen pada iterasi ketujuh belas. Perubahan nilai yang terjadi dari iterasi pertama bergantung pada nilai alpha yang di perbaharui pada setiap iterasinya. Pembaharuan nilai alpha pada setiap iterasinya ditunjukkan oleh Gambar 4.49.



Gambar 4.47 Grafik iterasi *firefly* pada Rele 1A pada kondisi 4



Gambar 4.48 Grafik perubahan nilai alpha setiap iterasi

4.4.1 Validasi *Setting* TDS Kondisi 4

Validasi diperlukan untuk mengetahui keakuratan dari hasil keluaran CFA. Validasi dilakukan dengan kondisi hubung singkat pada bus, yang dilakukan secara berurutan dari Bus 6 hingga bus1 dengan mengecek status selisih waktu kerja antar rele primer dan *backup* yang telah di atur sesuai dengan parameter rele yang telah ditentukan di dalam program. Hasil dari waktu operasi rele primer dan *backup* terangkum dalam Tabel 4.35. Selisih waktu antara rele primer dan rele sekunder semuanya dalam batas *range* yang diijinkan, dengan nilai selisih terendah 0,29 detik yakni Rele 6A sebagai primer dan Rele 1A sebagai *backup* saat terjadi hubung singkat di Bus 6 dan Rele 2B sebagai primer dan Rele 1B sebagai *backup* saat terjadi hubung singkat di Bus 3. Sedangkan selisih waktu terbesar yakni 0,616 detik adalah Rele 1C sebagai primer dan Rele 2A sebagai *backup*, selisih waktu yang besar ini diijinkan karena jika terjadi hubung singkat di Bus 5 tetapi Rele 1C gagal beroperasi akan mengakibatkan sistem *blackout*. Total operasi waktu rele primer dan rele *backup* saat terjadi hubung singkat didalam sistem sebesar 4,156 detik dan 10,16 detik.

Tabel 4.35 Hasil Validasi Waktu Operasi Rele Primer dan *Backup* untuk kondisi 4

Bus Fault	Rele		Waktu Operasi (detik)		
	Primer	<i>Backup</i>	Primer	<i>Backup</i>	CTI
6	1A	2A	0,308	0,629	0,321
	5B	4B	0,216	0,519	0,303
5	6A	1A	0,331	0,621	0,29
	4B	3B	0,362	0,665	0,303
	1C	2A	0,361	0,977	0,616
4	3B	2B	0,26	0,642	0,382
	5A	6A	0,164	0,459	0,295
	5A	1C	0,164	0,518	0,354
3	2B	1B	0,144	0,434	0,29
	4A	5A	0,128	0,497	0,369
2	1B	6B	0,201	0,506	0,305
	1B	5C	0,459	0,781	0,322
	3A	4A	0,201	0,679	0,478
1	2A	3A	0,389	0,693	0,304
	5C	4B	0,549	0,889	0,34
	6B	5B	0,284	0,651	0,367

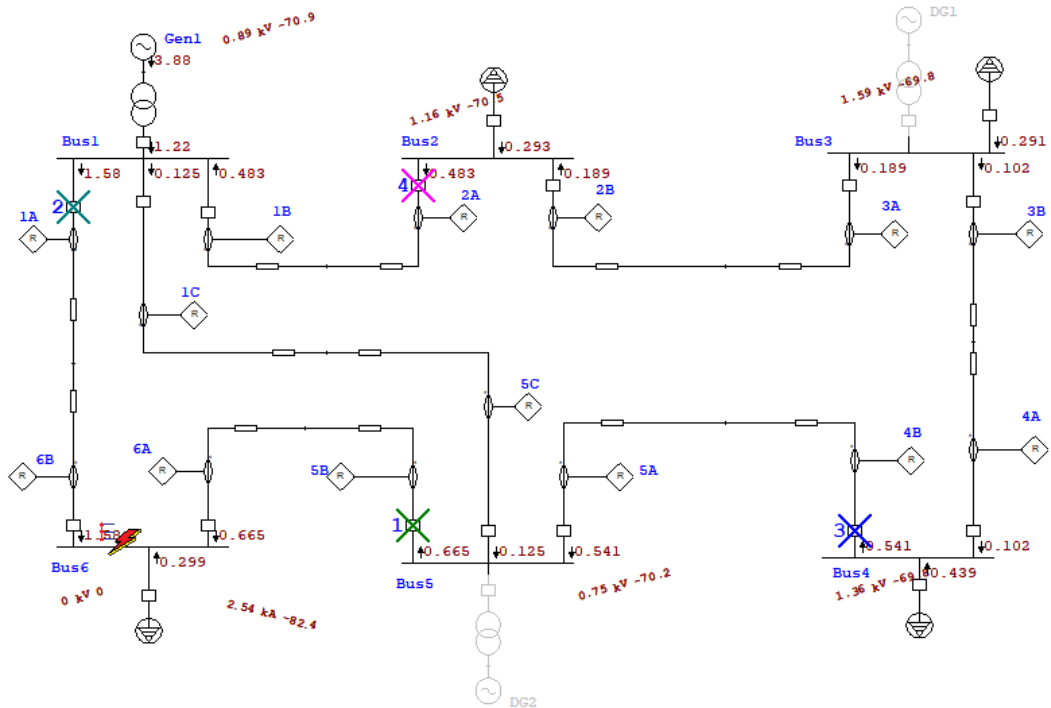
Berikut adalah status validasi per kejadian hubung singkat di tiap bus, disertai dengan nilai arus kontribusi yang dirasakan rele primer dan rele *backup*.

- Hubung singkat di Bus 6

Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 6, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 1A sebagai rele primer dengan Rele 2A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 5B sebagai primer dengan Rele 4B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Rele bekerja sebagai rele primer atau sekunder, bergantung pada arus kontribusi yang dirasakan ketika terjadi hubung singkat, arus tersebut disebut sebagai arus *sensed*. Rekapitulasi status rele, beserta dengan tipe kurva, *setting* TDS, serta waktu operasi tertela dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.36 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 6

Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 1A	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,31	0,62	0,153	1646
	Rele 2A	Rele Backup	<i>Standard Inverse</i>	0,32	0,59	0,375	544
<i>Clockwise</i>	Rele 5B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,23	0,23	0,132	706
	Rele 4B	Rele Backup	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,526	589

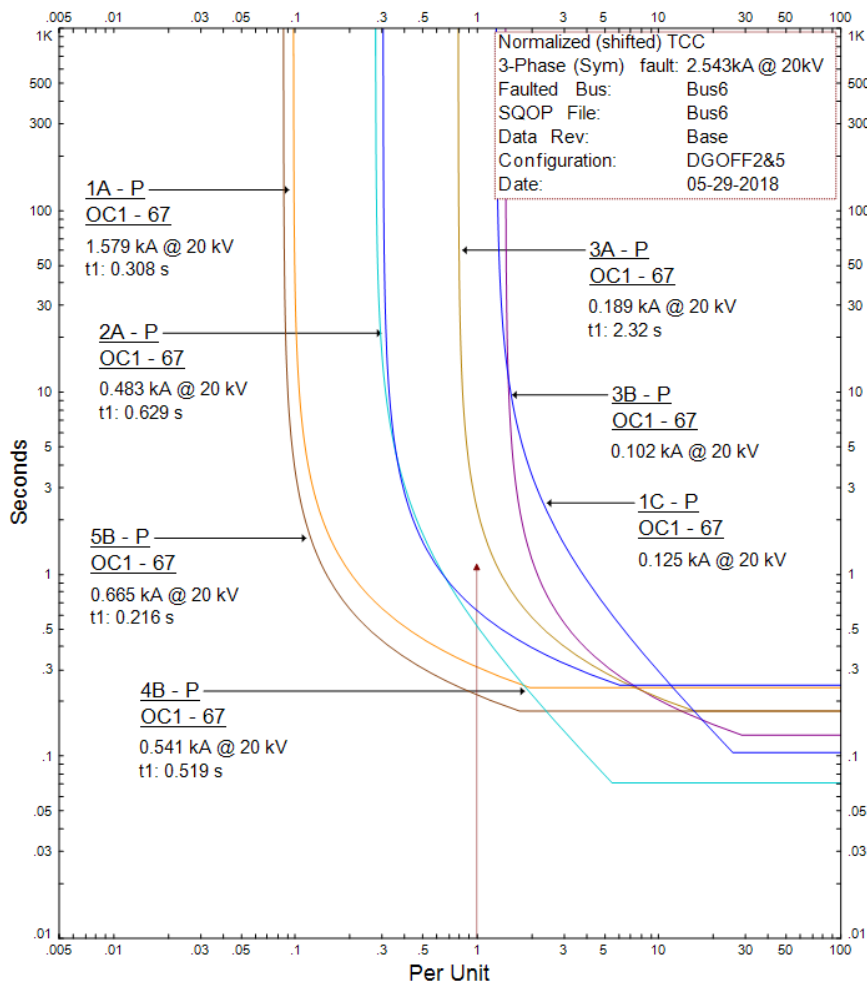


Gambar 4.49 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 4

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.50. yang menunjukkan urutan *tripping*

atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat yang terjadi di Bus 6 sebesar 2543A yang berasal dari kontribusi arus dari dua saluran. Pada kondisi ini, Bus 6 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,321 detik dan 0,303 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise* dan *clockwise*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.51 dengan arus hubung singkat di Bus 6 sebesar 1 pu.



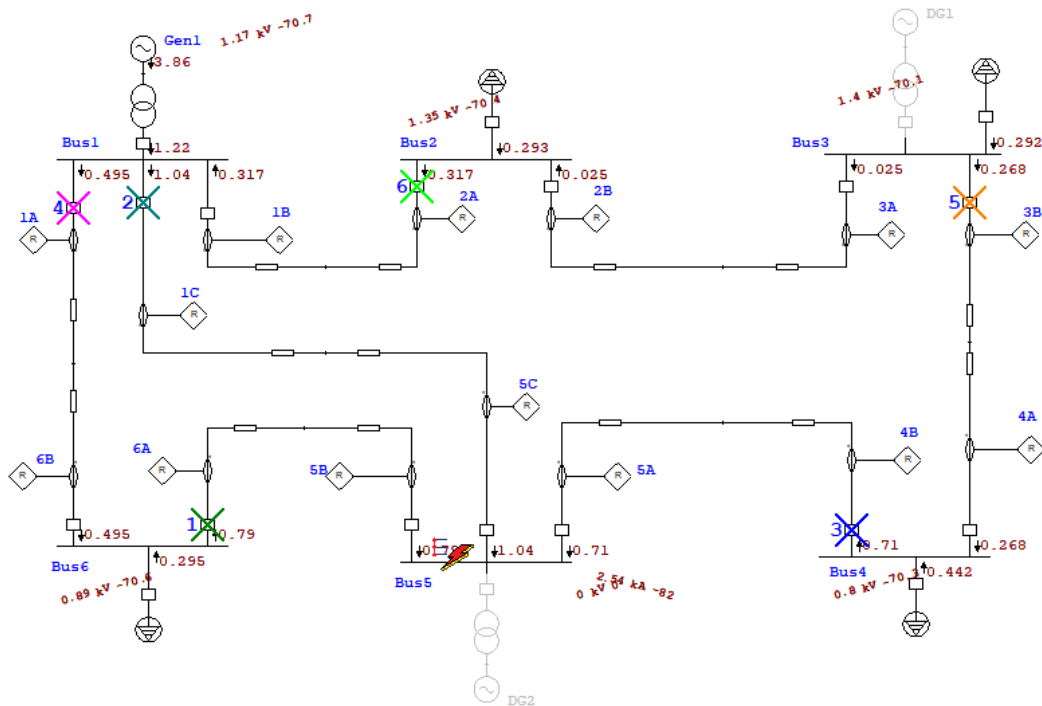
Gambar 4.50 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 6 pada kondisi 4

- Hubung singkat di Bus 5

Hubung singkat 3 fasa yang terjadi di Bus 5, dimana setiap saluran merasakan arus kontribusi yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi mengakibatkan rele bekerja sebagai rele primer atau sebagai rele *backup* bergantung dari arus *sensed* masing-masing rele. Pasangan rele tersebut adalah Rele 6A sebagai rele primer dengan Rele 1A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 4B sebagai primer dengan Rele 3B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 1C sebagai primer dan Rele 2A sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.37 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 5

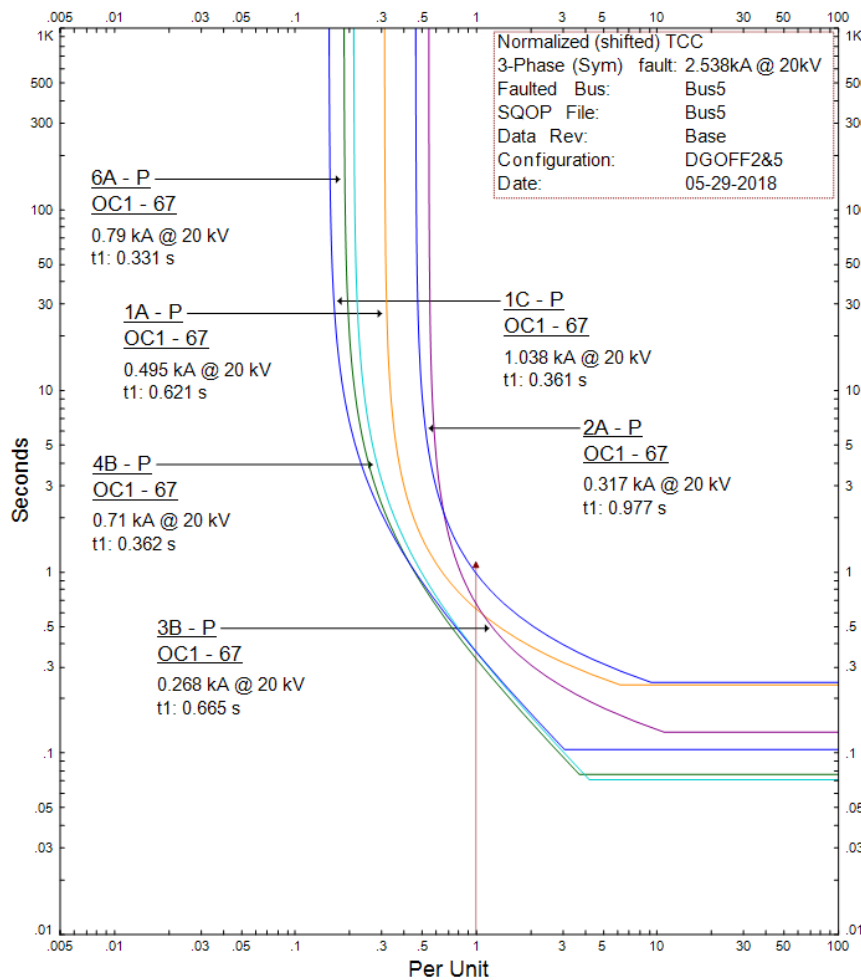
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 6A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,59	0,331	790
	Rele 1A	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,31	0,62	0,621	495
<i>Clockwise</i>	Rele 4B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,362	710
	Rele 3B	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,17	0,98	0,665	268
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1C	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,22	0,64	0,361	1038
	Rele 2A	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,32	0,59	0,977	317



Gambar 4.51 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 4

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 5 ditunjukkan oleh Gambar 4.52. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat di Bus 5 mengakibatkan arus hubung singkat sebesar 2538A, Bus 5 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,29 detik, 0,303 detik dan 0,616 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Hal ini diperbolehkan karena jika Rele 2A bekerja terlalu cepat, ditakutkan akan terjadi *blackout* pada sistem. Grafik kerja rele ditunjukkan secara mendetail pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.53 dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu.



Gambar 4.52 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 5 pada kondisi 4

- Hubung singkat di Bus 4

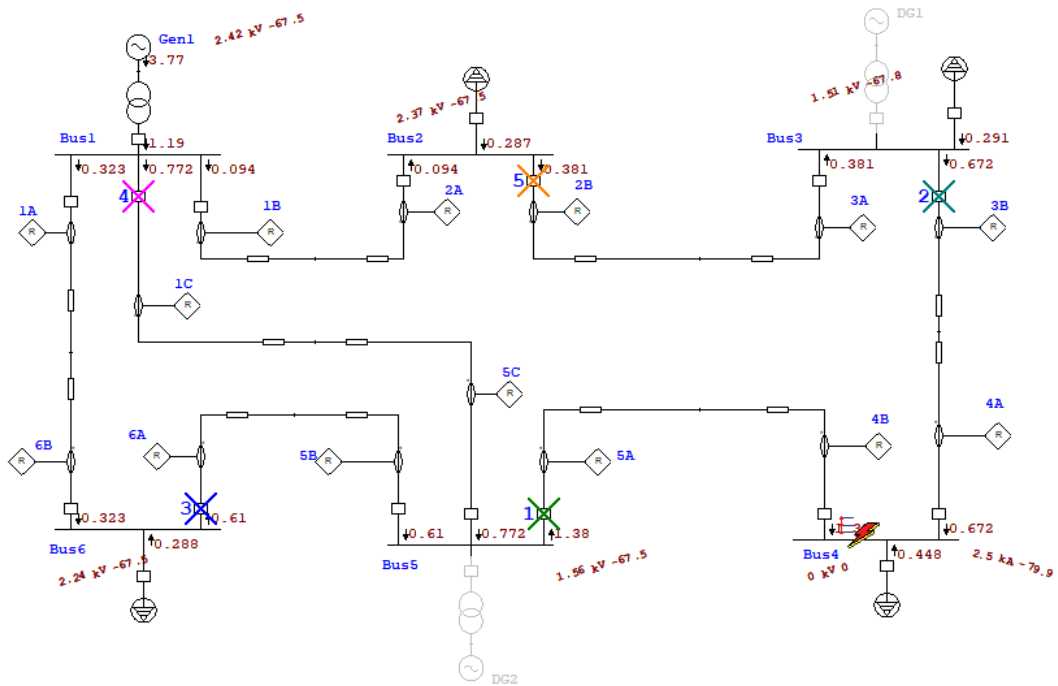
Saat Bus 4 terjadi arus hubung singkat 3 fasa, setiap saluran merasakan arus kontribusi tetapi dengan nilai yang berbeda. Perbedaan nilai arus kontribusi membagi rele menjadi beberapa pasang rele primer dan rele *backup*. Pasangan rele tersebut adalah Rele 5A sebagai rele primer dengan Rele 6A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 3B sebagai primer dengan Rele 2B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5A sebagai primer dan Rele 1C sebagai rele *backup*. Rekapitulasi tipe kurva, *setting* TDS, arus *sensed* dan waktu operasi terdapat dalam Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 4

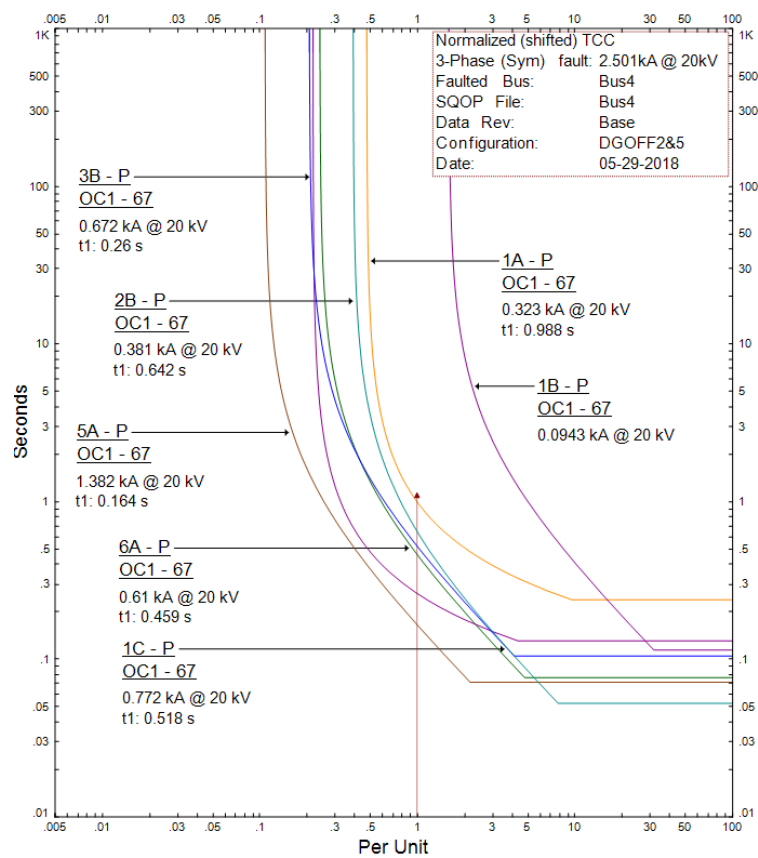
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,128	1382
	Rele 6A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,16	0,59	0,427	610
<i>Clockwise</i>	Rele 3B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,17	0,98	0,3	672
	Rele 2B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,60	0,674	381
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5A	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,128	1382
	Rele 1C	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,22	0,64	0,429	772

Gambar 4.54 menunjukkan visualisasi *tripping* hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 4. Terlihat bahwa Rele 5A, Rele 3B dan sedangkan Rele 6A, Rele 2B dan Rele 1C bertindak sebagai rele *backup*.

Bus 4 akan diamankan oleh tiga rele primer dan tiga rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,295 detik, 0,382 detik dan 0,354 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *break loop current*. Kurva *normalized* TCC menunjukkan grafik kerja rele dengan arus hubung singkat di Bus 5 sebesar 1 pu yang ditunjukkan pada Gambar 4.55.



Gambar 4.53 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 4



Gambar 4.54 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 4 pada kondisi 4

- Hubung singkat di Bus 3

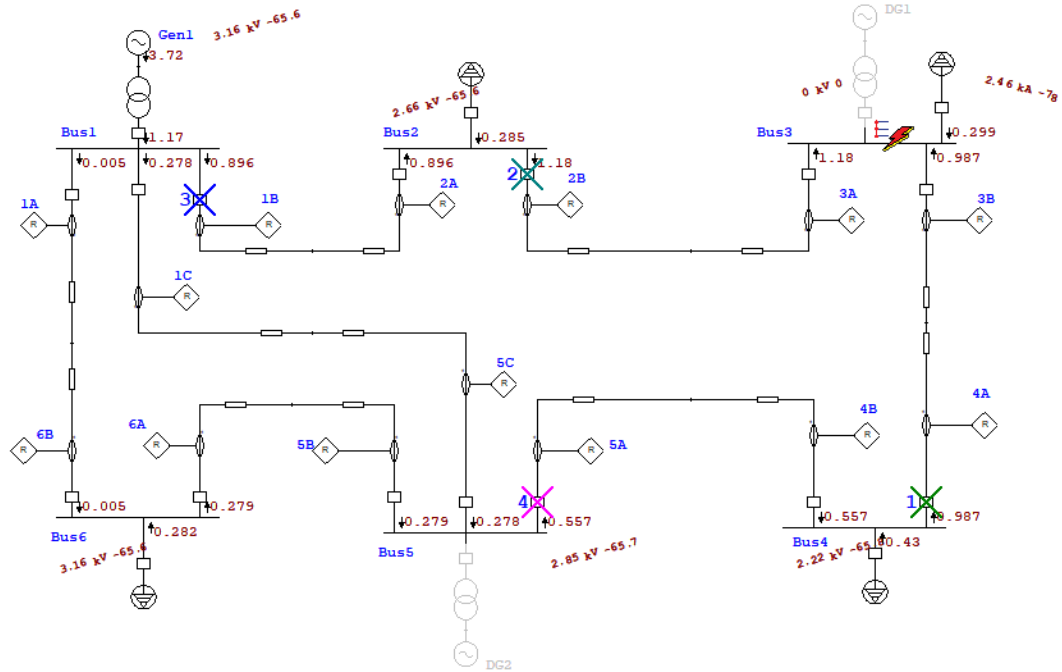
Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 3, setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 4A sebagai rele primer dengan Rele 5A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 2B sebagai primer dengan Rele 1B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.25. Terlihat bahwa Rele 4A, dan Rele 2B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 5A dan Rele 1B bertindak sebagai rele *backup*. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dijabarkan oleh Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 3

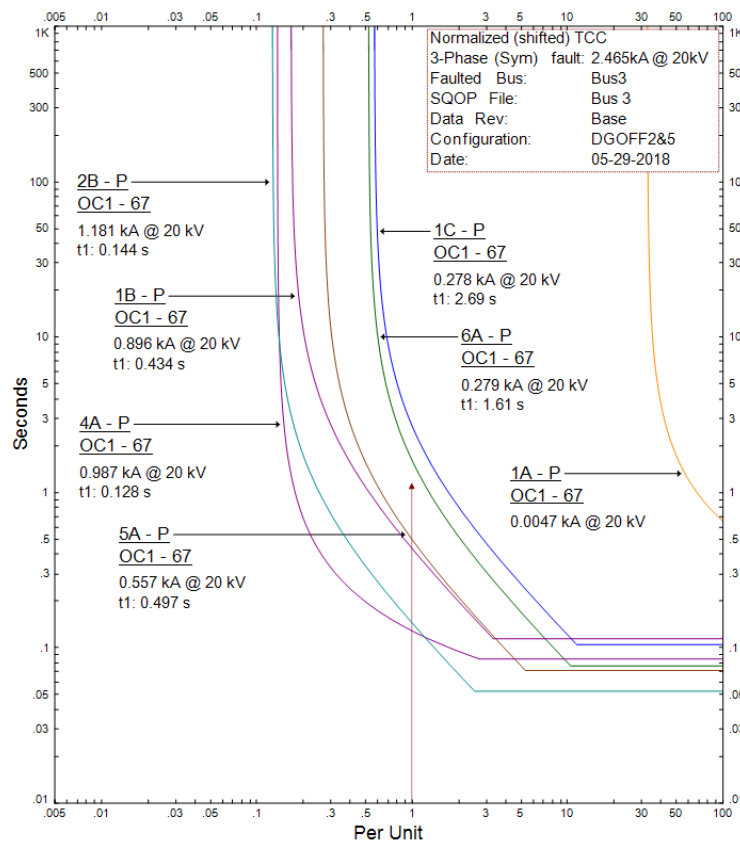
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 4A	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,11	0,9	0,128	987
	Rele 5A	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,497	557
<i>Clockwise</i>	Rele 2B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,11	0,60	0,144	1181
	Rele 1B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,24	0,60	0,434	896

Gambar 4.56 menunjukkan visualisasi *tripping* hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 3. Rele 4A, dan Rele 5A sebagai rele primer, sedangkan Rele 5A dan Rele 1B bertindak sebagai rele *backup*.

Bus 3 diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,369 detik dan 0,29 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise* dan *clockwise*. Pada Gambar 4.57 ditunjukkan kurva *normalized* TCC dengan arus hubung singkat di Bus 3 sebesar 1 pu.



Gambar 4.55 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 4



Gambar 4.56 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 3 pada kondisi 4

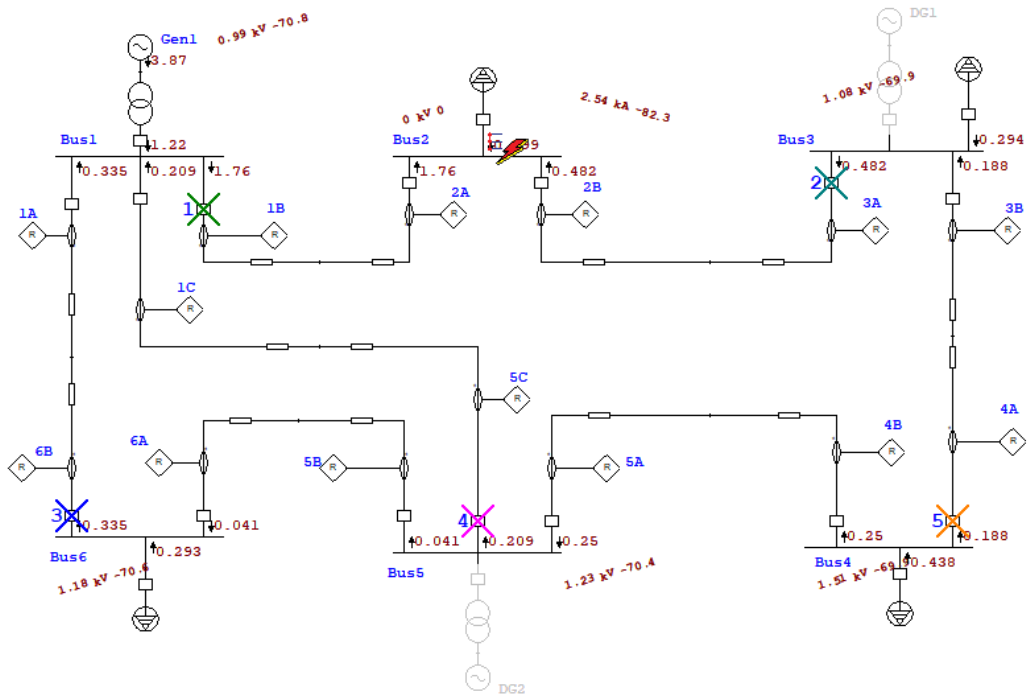
- Hubung singkat di Bus 2

Hubung singkat 3 fasa di Bus 2 mengakibatkan setiap saluran akan merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 3A sebagai rele primer dengan Rele 4A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise*, untuk arus *clockwise* Rele 1B sebagai primer dengan Rele 6B sebagai rele *backup*. Sedangkan untuk arus *breaker loop current* untuk rele utama adalah Rele 1B dan di *backup* oleh Rele 5C.

Tabel 4.40 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 2

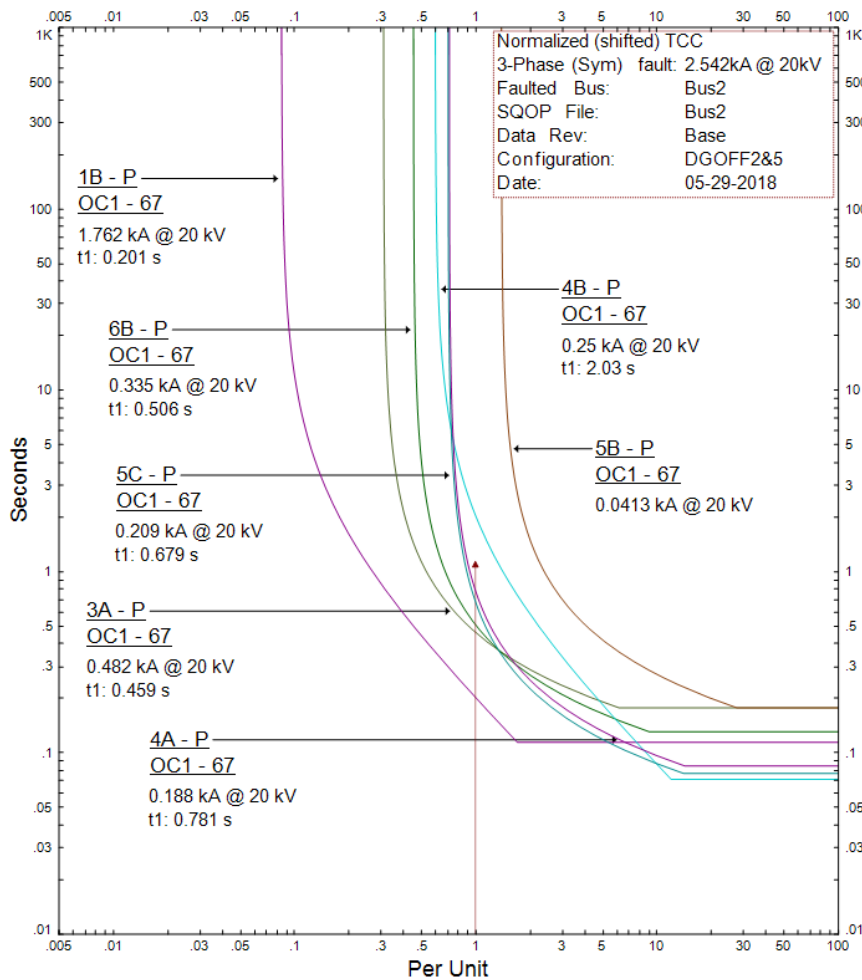
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	Setting TDS	Setting TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus sensed (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 3A	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,23	0,60	0,459	482
	Rele 4A	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,11	0,90	0,781	188
<i>Clockwise</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,24	0,60	0,201	1762
	Rele 6B	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,17	0,61	0,506	335
<i>Breaker Loop</i>	Rele 1B	Rele Primer	<i>Very Inverse</i>	0,24	0,60	0,201	1762
	Rele 5C	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,10	0,59	0,679	209

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.58. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.



Gambar 4.57 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 4

Hubung singkat yang terjadi di Bus 2 sebesar 2542A yang berasal dari kontribusi arus dari dua saluran. Pada kondisi ini, Bus 2 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,322 detik, 0,305 detik dan 0,478 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise* dan *breaker loop*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.59 dengan arus hubung singkat di Bus 2 sebesar 1 pu.



Gambar 4.58 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 2 pada kondisi 4

- Hubung singkat di Bus 1

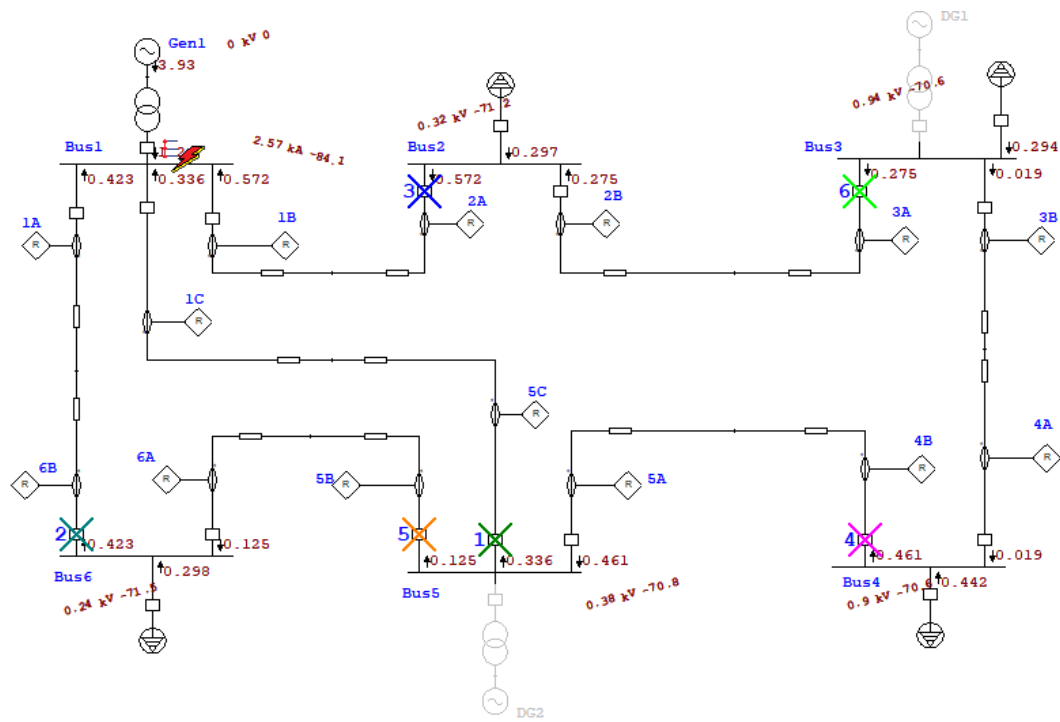
Saat terjadi hubung singkat 3 fasa di Bus 1, setiap saluran merasakan arus kontribusi. Akan tetapi, hanya dua pasang rele yang akan bekerja pada kondisi ini, yakni pasangan Rele 2A sebagai rele primer dengan Rele 3A sebagai rele *backup* untuk arus *counter clockwise* dan Rele 6B sebagai primer dengan Rele 5B sebagai rele *backup* untuk arus *clockwise*. Untuk *breaker loop current* digunakan Rele 5C sebagai primer dan Rele 4C sebagai rele *backup*. Hasil validasi urutan kerja pasangan rele tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.60. Terlihat bahwa Rele 2A, Rele 6B, dan Rele 5C bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 3A, Rele 5B, dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*. Tipe kurva, waktu operasi, arus kontribusi ketika rele bekerja, dan *setting* TDS dirinci oleh Tabel 4.41.

Tabel 4.41 Tabel rekapitulasi status dan *setting* rele saat hubung singkat di Bus 1

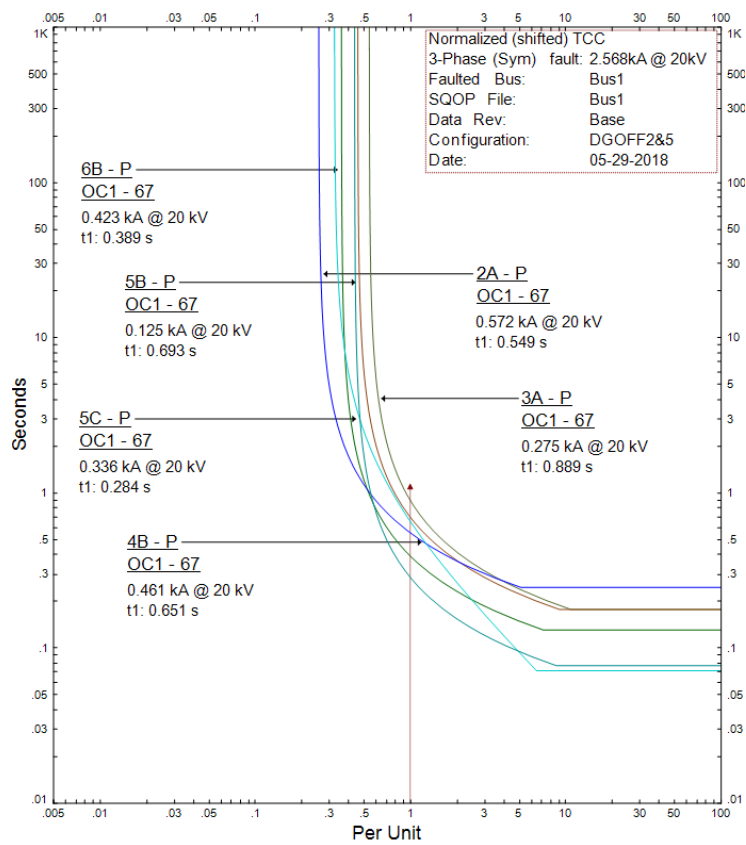
Arah arus	Rele	Status	Tipe Kurva	<i>Setting</i> TDS	<i>Setting</i> TAP	Waktu Operasi (detik)	Arus <i>sensed</i> (A)
<i>Counter Clockwise</i>	Rele 2A	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,32	0,59	0,889	275
	Rele 3A	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,23	0,60	0,549	572
<i>Clockwise</i>	Rele 6B	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,17	0,61	0,389	423
	Rele 5B	Rele <i>Backup</i>	<i>Standard Inverse</i>	0,23	0,23	0,693	125
<i>Breaker Loop</i>	Rele 5C	Rele Primer	<i>Standard Inverse</i>	0,10	0,59	0,284	336
	Rele 4B	Rele <i>Backup</i>	<i>Very Inverse</i>	0,15	0,60	0,651	461

Visualisasi hasil validasi urutan kerja pasangan rele saat terjadi hubung singkat di Bus 6 ditunjukkan oleh Gambar 4.60. yang menunjukkan urutan *tripping* atau urutan bekerjanya rele. Terlihat bahwa Rele 1A dan Rele 5B bertindak sebagai rele primer, sedangkan Rele 2A dan Rele 4B bertindak sebagai rele *backup*.

Hubung singkat yang terjadi di Bus 1 sebesar 2568A yang berasal dari kontribusi arus dari tiga saluran. Pada kondisi ini, Bus 1 akan diamankan oleh dua rele primer dan dua rele *backup* yang memiliki waktu kerja antar rele dalam *range* yang diijinkan, yakni 0,34 detik, 0,304 dan 0,367 detik sesuai dengan urutan *counter clockwise*, *clockwise*, dan *breaker loop*. Detail grafik kerja rele ditunjukkan pada kurva *normalized TCC* pada Gambar 4.61 dengan arus hubung singkat di Bus 1 sebesar 1 pu.



Gambar 4.59 Hasil simulasi saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 4



Gambar 4.60 Normalized TCC saat hubung singkat di Bus 1 pada kondisi 4

BAB 5

KESIMPULAN

Penelitian ini menentukan *setting* rele dari 4 kondisi pembangkitan yang didapatkan dari *Chaotic Firefly Algorithm* (CFA) dengan menggunakan iterasi *tent map*. Hasil waktu kerja rele pada sistem IEEE 9 bus didapatkan hasil yang sesuai dengan menggunakan metode CFA dengan iterasi *tent map*.

Pada kondisi 1 dan kondisi 3, waktu kerja rele saat bekerja sebagai rele primer maupun sebagai rele *backup* bekerja dibawah 1 detik. Sedangkan pada kondisi 2, Rele 2A bekerja di detik ke 1.05 ketika menjadi rele *backup* dari Rele 1C. Hal ini diijinkan karena rele 2A bekerja sebagai *backup* dari rele 1C, dimana rele 2A tidak diperbolehkan untuk bekerja terlalu cepat untuk menghindari terputusnya 3 dari 4 beban pada sistem.

Range CTI pada kondisi 1 dan kondisi 3 memenuhi batas *range* yang ditentukan dengan nilai minimum 0,228 detik dan maksimum 0,384 detik pada kondisi 1, dan memiliki nilai minimum 0,222 detik dan nilai maksimum 0,395 detik. Sedangkan kondisi 2 dan kondisi 4 memiliki nilai maksimum sebesar 0,74 detik dan 0,616 detik saat Rele 2A bekerja sebagai *backup* dari Rele 1C. Selisih waktu pada pasangan rele ini diijinkan karena saat terjadi *fault* di bus 5, Rele 2A merupakan rele *backup* dan jika Rele 1C gagal bekerja, maka 3 dari 4 beban tidak akan tersuplai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Keil and J. Jäger, “Advanced Coordination Method for Overcurrent Tripping Characteristics,” vol. 23, no. 1, pp. 52–57, 2008.
- [2] S. S. Gokhale and V. S. Kale, “An application of a tent map initiated Chaotic Firefly algorithm for optimal overcurrent relay coordination,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 336–342, 2016.
- [3] S. S. Gokhale and V. S. Kale, “Application of the firefly algorithm to optimal over-current relay coordination,” *2014 Int. Conf. Optim. Electr. Electron. Equipment, OPTIM 2014*, no. 2, pp. 150–154, 2014.
- [4] M. H. Hussain, S. R. A. Rahim, and I. Musirin, “Optimal Overcurrent Relay Coordination : A Review,” *Procedia Eng.*, vol. 53, pp. 332–336, 2013.
- [5] H. H. Zeineldin and M. M. A. Salama, “Optimal coordination of overcurrent relays using a modified particle swarm optimization,” vol. 76, pp. 988–995, 2006.
- [6] R. Thangaraj, M. Pant, and K. Deep, “Engineering Applications of Artificial Intelligence Optimal coordination of over-current relays using modified differential evolution algorithms,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 23, no. 5, pp. 820–829, 2010.
- [7] I. IEEE Std 242-2001™, *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*, Ch. 15. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001.
- [8] L. F. I. Charles J. Mozina, “Why Upgrade the Protection and Grounding of Generators at Petroleum and Chemical Plants?”
- [9] G. Ravi, “dispatch problems,” pp. 458–464, 2013.
- [10] M. Horng, “Expert Systems with Applications Vector quantization using the firefly algorithm for image compression,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 39,

- no. 1, pp. 1078–1091, 2012.
- [11] J. Senthilnath, S. N. Omkar, and V. Mani, “Clustering using firefly algorithm : Performance study,” *Swarm Evol. Comput.*, vol. 1, no. 3, pp. 164–171, 2011.
 - [12] A. H. Gandomi, X. Yang, S. Talatahari, and A. H. Alavi, “Commun Nonlinear Sci Numer Simulat Firefly algorithm with chaos,” *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, vol. 18, no. 1, pp. 89–98, 2013.
 - [13] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, Inc, 1999.
 - [14] MerlinGerin, “Customized tripping curve,” vol. Sepam 80, p. 958.
 - [15] X.-S. Yang, “Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimisation,” pp. 1–12, 2010.
 - [16] S. M. Kamal and I. Fister, “A review of chaos-based firefly algorithms : Perspectives and research challenges,” vol. 252, pp. 155–165, 2015.

DAFTAR INDEKS

A

alpha, *vii, ix, xv, xvi, xx, 29, 39, 42, 45, 46, 68, 69, 91, 92, 114, 115*

B

beta, 29

Bus 1, *xv, xvi, xvii, xviii, 37, 38, 46, 62, 63, 64, 65, 69, 85, 86, 87, 88, 108, 109, 110, 111, 131, 132, 133, 134*

Bus 2, *xv, xvi, xvii, xviii, 39, 59, 60, 61, 62, 69, 82, 83, 84, 85, 105, 106, 107, 108, 128, 129, 130, 131*

Bus 3, *xv, xvi, xvii, xviii*

Bus 4, *xv, xvi, xvii, xviii, 39, 53, 54, 55, 56, 76, 77, 78, 79, 99, 100, 101, 102, 122, 123, 124, 125*

Bus 5, *xv, xvi, xvii, xviii, 37, 38, 50, 51, 52, 53, 55, 58, 73, 74, 75, 76, 78, 96, 97, 98, 99, 101, 116, 119, 120, 121, 122, 124*

Bus 6, *xv, xvi, xvii, xviii, 39, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 61, 69, 70, 71, 72, 73, 86, 92, 94, 95, 96, 109, 115, 117, 118, 119, 133*

C

CFA, *vii, ix, xv, xvii, xviii, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 32, 34, 41, 43, 44, 45, 46, 66, 68, 69, 89, 91, 92, 112, 114, 115, 136*

D

DG1, *vii, ix, 22, 41, 42, 65, 88*

DG2, *vii, ix, 22, 41, 42*

distribusi, *vii, 22, 23, 39*

F

firefly, *vii, ix, xiii, xiv, xv, xvi, xix, xx, 21, 28, 29, 31, 33, 39, 40, 41, 45, 68, 91, 114, 136, 138, 139*

I

intensitas, *xix, 28, 29*

iterasi, *xv, xvi, xx, 23, 25, 29, 39, 45, 46, 68, 69, 91, 92, 114, 115, 136*

M

mesh, *vii, ix, 22, 23*

P

partikel, *vii, xix, 21, 26, 28, 29, 45, 68, 91, 114*

R

ring, *vii, ix, 21, 22, 23, 26, 33, 34, 39*

ring feeder, *vii, ix*

T

TCC, *xv, xvi, xix, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 58, 59, 61, 62, 64, 65, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 81, 82, 84, 85, 87, 88, 95, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 118, 119, 121, 122, 124, 125, 127, 128, 130, 131, 134*

TDS, *xiv, xix, 22, 23, 34, 41, 43, 44, 46, 47, 48, 51, 54, 57, 59, 60, 63, 66, 68, 69, 71, 74, 77, 80, 82, 83, 86, 89, 91, 92, 94, 97, 100, 103, 105, 106, 109, 112, 114, 115, 117, 120, 123, 126, 129, 132*

tent map, *vii, ix, xx, 23, 25, 29, 30, 41, 136, 138*

W

waktu operasi, *vii, 21, 25, 26, 34, 46, 47, 51, 54, 57, 59, 63, 69, 71, 74, 77, 80, 82, 86, 93, 94, 97, 100, 103, 105, 109, 116, 117, 120, 123, 126, 132*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Maya Prananda Sari, lahir di Surabaya pada tanggal 15 Mei 1993. Penulis merupakan anak sulung dari Prasetyo Wahyudie dan Vita Ratnasari. Penulis menamatkan pendidikan atas di SMAN 5 Surabaya pada tahun 2011. Kemudian melanjutkan pendidikan sarjana di bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selain aktif sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) semenjak sarjana, penulis juga aktif dalam organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa Bola Basket dan menjadi bendahara di Unit Kegiatan Mahasiswa Robotika semasa menempuh pendidikan sarjana di ITS. Selama menempuh program pascasarjana, penulis mengikuti kegiatan *internship* di Thammasat University, SIIT, Thailand. Penulis dapat dihubungi melalui email : mayaprananda15@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan