TUGAS AKHIR – EE 184801

OPTIMASI TOTAL OPERATING TIME RELE ARUS LEBIH DENGAN PERTIMBANGAN KONFIGURASI MESH, OPEN-MESH, DAN RADIAL MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

Fauzanul Abidin
NRP 07111640000099

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Dimas Fajar Uman Putra ST., MT.

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

TUGAS AKHIR – EE 184801

OPTIMASI TOTAL OPERATING TIME RELE ARUS LEBIH DENGAN PERTIMBANGAN KONFIGURASI MESH, OPEN-MESH, DAN RADIAL MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

Fauzanul Abidin
NRP 07111640000099

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Dimas Fajar Uman Putra ST., MT.

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

FINAL PROJECT – EE 184801

OPTIMIZATION OF OVERCURRENT RELAY TOTAL OPERATING TIME IN CONSIDERATION WITH MESH, OPEN-MESH, AND RADIAL CONFIGURATIONS USING FIREFLY ALGORITHM

Fauzanul Abidin
NRP 07111640000099

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Dimas Fajar Uman Putra ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Optimasi Total Operating Time Rele Arus Lebih dengan Pertimbangan Konfigurasi Mesh, Open-mesh, dan Radial Menggunakan 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 2020

Fauzanul Abidin

07111640000099

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMASI TOTAL OPERATING TIME RELE ARUS LEBIH DENGAN PERTIMBANGAN KONFIGURASI MESH, OPEN-MESH, DAN RADIAL MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

TUGAS AKHIR

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

NIP. 196603181990101001

SURABAYA
JULI, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMASI TOTAL OPERATING TIME RELE ARUS LEBIH DENGAN PERTIMBANGAN KONFIGURASI MESH, OPEN-MESH, DAN RADIAL MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II

Dr. Dimas Fajar Uman Putra ST., MT.

NIP. 198811082012121001

SURABAYA
JULI, 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMASI TOTAL OPERATING TIME RELE ARUS LEBIH DENGAN PERTIMBANGAN KONFIGURASI MESH, OPEN-MESH, DAN RADIAL MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

Nama : Fauzanul Abidin
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing II : Dr. Dimas Fajar Uman Putra ST., MT.

ABSTRAK

Dalam Sebuah sistem tenaga yang saling terinterkoneksi sering terjadi kondisi abnormal (seperti: overload, overvoltage,overcurrent, dsb). Karenanya, gangguan pada sumber dan peralatan yang terhubung sering terjadi kerusakan. Dalam hal ini, komponen yang terkena gangguan harus segera diidentifikasi dan diisolasi untuk menjamin supply terpenuhi dan menjaga stabilitas sistem, untuk itu dibutuhkanlah proteksi yang handal. Sistem jaringan distribusi mesh merupakan sistem jaringan dengan kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin, mengingat sistem ini juga dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik yang bekerja secara parallel. Plant IEEE dengan 4 bus, 6 bus, 9 bus, 12 bus merupakan bentuk jaringan distribusi mesh, dimana plant tersebut sangat sulit atau kompleks untuk menentukan sistem proteksinya dibandingkan dengan jaringan radial. Kondisi ketika salah satu feeder open atau terbuka menjadi masalah terutama dalam mengkoordinasikan rele arus lebih pada kondisi tersebut.

Hasil dari tugas akhir ini adalah seting rele arus lebih dengan pertimbangan sistem konfigurasi mesh, open-mesh dan radial. Program metode perhitungan FA membutuhkan rata-rata 8 iterasi untuk mendapatkan TDS yang terkoordinasi dan total waktu operasi minimum.

Kata kunci: Koordinasi Proteksi, Konfigurasi, Time Dial Setting, Firefly Algorithm

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION OF OVERCURRENT RELAY TOTAL OPERATING TIME IN CONSIDERATION WITH MESH, OPEN-MESH, AND RADIAL CONFIGURATIONS USING FIREFLY ALGORITHM

Name	: Fauzanul Abidin
Advisor I	: Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II	: Dr. Dimas Fajar Uman Putra ST., MT.

ABSTRACT

In an interconnected power system abnormal conditions often occur (such as: overload, overvoltage, overcurrent, etc.). Therefore, interference with the source and connected equipment often results in damage. In this case, the affected component must be immediately identified and isolated to ensure the supply is met and maintain system stability, therefore reliable protection is needed. Mesh distribution network system is a network system with continuous power distribution guaranteed, considering that this system is also served by two or more electric power sources that work in parallel. IEEE plant with 4 buses, 6 buses, 9 buses, 12 buses is a form of mesh distribution network, where the plant is very difficult or complex to determine the protection system compared to the radial network. Conditions when one of the feeders is open or open becomes a problem especially in coordinating overcurrent relays in these conditions.

The results of this final project are overcurrent relay settings with consideration of mesh, open-mesh and radial configuration systems. The FA calculation method program requires an average of 8 iterations to get a coordinated TDS and a minimum total operating time.

Keywords**:** *Protection Coordination, Configuration, Time Dial Setting, Firefly Algorithm*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "**Optimasi Total Operating Time Rele Arus Lebih dengan Pertimbangan Konfigurasi Mesh, Open-mesh, dan Radial Menggunakan Firefly Algorithm**"

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Allah SWT atas limpahan karunia-Nya, dan memberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ali Supandi dan Ibu Sasfiatun yang selalu memberikan doa dan menjadi support system bagi penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Dr. Dimas Fajar Uman Putra ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro ITS.
5. Seluruh rekan Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) ITS atas segala dukungan, bantuan, kebersamaan, dan kerjasamanya.
6. Teman-teman seperjuangan angkatan e56 atas dukungan dan kerja samanya selama masa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir ini
7. Teman-teman LMB dan UKM Badminton ITS atas dukungan dan bantuannya selama ini.
8. Mas Vincentius Raki selaku mentor penulis yang banyak memberi saran kepada penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat kesalahan pada penulisan Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang

membangun untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca untuk penelitian yang akan datang.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **vii**

ABSTRACT ..... **ix**

KATA PENGANTAR ..... **xi**

DAFTAR ISI ..... **xiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xv**

DAFTAR TABEL ..... **xvii**

BAB 1 PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Permasalahan 1

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan 2

1.5 Metodologi 2

1.6 Sistematika Penulisan 3

1.7 Relevansi 4

BAB 2 DASAR TEORI **5**

2.1 Sistem Jaringan Distribusi Mesh 5

2.2 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik 6

2.3 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse* 6

2.4 Rele Arah Arus Lebih 7

2.5 Firefly Algorithm 7

BAB 3 PEMODELAN SISTEM KELISTRIKAN 6 BUS **9**

3.1 Sistem Kelistrikan Konfigurasi Mesh 9

3.2 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup* 13

3.3 Optimasi Koordinasi Proteksi Menggunakan Algoritma Firefly 14

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS 17
4.1 Analisa Pola Operasi Sistem 17
4.2 Analisa Hubung Singkat 17
4.2.1 Arus Hubung Singkat Maksimum Konfigurasi Mesh 18
4.2.2 Arus Hubung Singkat Maksimum Konfigurasi Open Mesh dan Radial 19
4.3 Koordinasi Proteksi Konfigurasi Mesh 20
4.4 Koordinasi Proteksi Konfigurasi Open-mesh dan Radial 73
4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi pada Konfigurasi Mesh, Open-mesh dan Radial dengan Algoritma Firefly 92
BAB 5 PENUTUP 105
5.1 Kesimpulan 105
5.2 Saran 105
DAFTAR PUSTAKA 106
LAMPIRAN 107
BIODATA PENULIS 113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Distribusi Mesh……..…….5
Gambar 3.1 Sistem Konfigurasi Mesh ..…….5
Gambar 3.2 Sistem Konfigurasi Open Mesh.…….5
Gambar 3.3 Flowchart perhitungan TDS dan waktu operasi FA...…….5
Gambar 4.1 *Loop* I pada Sistem Distribusi Konfigurasi Mesh 21
Gambar 4.2 *Loop* II pada Sistem Konfigurasi Mesh 42
Gambar 4.3 *Loop* III pada Sistem Konfigurasi Mesh 60
Gambar 4.4 Konfigurasi Open-mesh dan radial 73
Gambar 4.5 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*.....96
Gambar 4.6 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*.....97
Gambar 4.7 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*.....98
Gambar 4.8 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*.....99
Gambar 4.9 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*...100
Gambar 4.10 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*.101
Gambar 4.11 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*.102
Gambar 4.12 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*.103
Gambar 6.1 Data SC maksimum bus 1 107
Gambar 6.2 Data SC maksimum bus 2 108
Gambar 6.3 Data SC maksimum bus 3 109
Gambar 6.4 Data SC maksimum bus 4 110
Gambar 6.5 Data SC maksimum bus 5 111
Gambar 6.6 Data SC maksimum bus 6 112

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Generator 9
Tabel 3.2 Data Beban pada Setiap Bus 9
Tabel 3.3 Data Impedansi Saluran 9
Tabel 3.4 Kemungkinan pola operasi generator 10
Tabel 3.5 Feeder State.....11
Tabel 3.6 Pasangan rele utama dan rele backup 13
Tabel 4.1 Pasangan CB tiap feeder……..……17
Tabel 4.2 Arus Hubung singkat setiap bus……..….18
Tabel 4.3 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 1 18
Tabel 4.4 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2 18
Tabel 4.5 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3 18
Tabel 4.6 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4 19
Tabel 4.7 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5 19
Tabel 4.8 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6 19
Tabel 4.9 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5 19
Tabel 4.10 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 1 ..19
Tabel 4.11 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2 ..20
Tabel 4.12 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3 ..20
Tabel 4.13 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4 ..20
Tabel 4.14 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6 ..20
Tabel 4.15 Nilai Hasil Perhitungan Manual Konfigurasi Mesh 72
Tabel 4.16 Nilai Hasil Perhitungan Manual Konfigurasi Oprn-mesh ...92
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Manual dan Algoritma firefly Konfigurasi Mesh 93
Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Manual dan Algoritma firefly Konfigurasi Open-mesh dan radial.....94
Tabel 4.19 Waktu operasi rele pada konfigurasi mesh dengan algoritma firefly 94
Tabel 4.20 Waktu operasi rele pada konfigurasi Open-mesh dan radial dengan algoritma firefly 95
Tabel 4.21 Iterasi pada konfigurasi mesh dan open-mesh.....104

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas produksi pada suatu industri sangat bergantung pada sistem kelistrikannya. Dengan sistem kelistrikan yang baik maka kontinuitas produksi pada suatu industri juga akan berjalan baik pula. Salah satu hal penting yang harus diperhatikan untuk menjaga kontinuitas daya listrik yaitu koordinasi proteksi yang baik pada sistem penyaluran tenaga listrik

Sistem proteksi berfungsi untuk memutus arus gangguan yang terjadi secara cepat dan selektif. Tujuannya agar ketika terjadi gangguan tidak sampai mengganggu kinerja sistem dan merusak peralatan yang ada. Salah satu alat yang digunakan adalah rele arus lebih (*overcurrent rele*). Rele arus lebih akan merasakan dan mengenali gangguan (hubung singkat dan beban lebih) dan mengirimkan sinyal ke circuit breaker. Proteksi dengan menggunakan rele arus lebih waktu *inverse* membutuhkan parameter berupa *time dial setting* (TDS), arus pickup (Ip), dan jenis kurva. Dengan sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik maka gangguan yang terjadi dapat diamankan secara selektif dan akurat.Sebuah sistem mesh atau sistem multi-loop sangat sulit atau kompleks untuk menetukan sistem proteksinya dibandingkan dengan jaringan radial. Kondisi sistem kelistrikan yang berupa ring-loop/mesh bisa saja terputus atau mengalami *open line* dan menjadi radial loop. Dari semua kemungkinan konfigurasi yang terjadi pada kondisi tersebut, dibutukan setting proteksi yang sesuai agar didapat koordinasi waktu operasi antar rele. Sehingga diperlukan metode optimasi berupa firefly algorithm dengan tujuan meminimalkan total waktu operasi rele yang bekerja.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengkoordinasikan rele arus lebih pada sistem mesh dengan mempertimbangkan salah satu line terputus (*open line*) dan menjadi radial loop?
2. Menerapkan Firefly Algorithm dalam perhitungan total operating time rele arus lebih pada konfigurasi mesh, open-mesh, dan radial

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Simulasi Firefly dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB R2019b.
2. Pengambilan data arus nominal dan arus gangguan menggunakan *software* ETAP
3. *Plant* yang digunakan adalah 6-Bus IEEE saluran distribusi dengan melakukan beberapa modifikasi sistem.
4. Optimasi hanya dilakukan untuk mencari *setting* invers

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh nilai optimasi total operating time rele pada konfigurasi mesh, open-mesh, dan radial menggunakan metode Firefly Algorithm.
2. Menganalisis hasil perhitungan total operating time rele pada konfigurasi mesh, open-mesh dan radial.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a) Studi Literatur

Mengumpulkan referensi-referensi dan literatur yang berhubungan dengan penelitian serupa. Terutama mengenai sistem proteksi pada kondisi mesh atau ring, open-mesh dan sistem radial, Analisa gangguan dari berbagai kondisi generator maupun feeder state, dan metode FA sesuai dengan permasalahan yang dihadapi.

b) Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data-data yang diperlukan untuk mendukung tugas akhir ini. Data-data yang diperlukan adalah single line diagram jaringan distribusi mesh, generator dan feeder status, data beban dan pembangkit.

c) Pemodelan Sistem dan Simulasi

Pada tahap ini dilakukan pemodelan system kelistrikan jaringan distribusi mesh dengan menggunakan perangkat lunak ETAP

sesuai dengan data yang di dapat. Dilanjutkan dengan melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat pada tiap kondisi.

d) Perancangan Firefly Algorithm

Melakukan perancangan metode perhitungan total operating time rele arus lebih menggunakan FA. Perancangan dan simulasi metode perhitungan FA dilakukan dalam *software* MATLAB R2019b.

e) Analisis hasil pengujian

Menganalisis nilai total operating time rele hasil perhitungan metode FA. Dengan mensimulasikannya dalam *software* ETAP

f) Penarikan kesimpulan

Menarik kesimpulan dari Analisa data yang didapat dari data pengujian metode FA. Disertai saran dan rekomendasi terhadap penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1: Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi atau manfaat.

Bab 2: Dasar Teori

Bab ini membahas tentang dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.

Bab 3: Pemodelan Sistem Kelistrikan 6 Bus

Bab ini membahas tentang perancangan sistem sebelum simulasi dilakukan berupa *flowchart* sistem dan *plant* IEEE 6-Bus dengan beberapa modifikasi sistem.

Bab 4: Hasil Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas tentang hasil simulasi yang telah dilakukan pada *software* MATLAB R2019b dengan data-data yang telah diambil dari *software* ETAP, Analisis dilakukan terhadap kinerja koordinasi rele arah arus lebih pada sistem distribusi Mesh dan Open mesh menggunakan algoritma Firefly .

Bab 5: Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

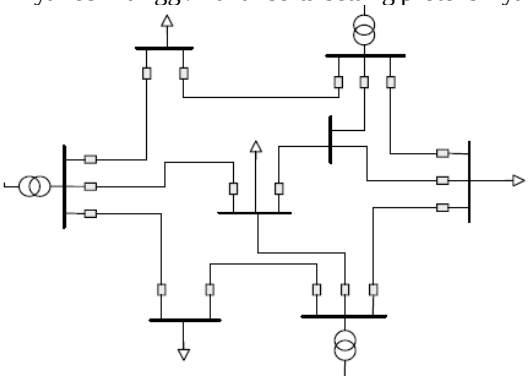
Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi pada ilmu pengetahuan dan teknologi di sistem tenaga, khususnya pada studi koordinasi rele pada sistem distribusi Mesh, Open mesh, dan radial. Kemudian diharapkan nantinya dapat menjadi referensi bagi industri dalam melakukan perencanaan sistem kelistrikan yang sesuai dengan mempertimbangkan beberapa konfigurasi dan pemasangan rele koordinasi proteksi pada *plant* distribusi Mesh, open mesh, dan radial pada suatu perusahaan.

BAB 2
DASAR TEORI

2.1 Sistem Jaringan Distribusi Mesh

Sistem ini merupakan kombinasi antara radial dan loop atau biasanya disebut multi-loop. Dalam sistem ini titik beban memiliki banyak alternatif saluran, sehingga bila salah satu saluran terganggu, maka dengan segera dapat digantikan oleh saluran yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin, mengingat system ini juga dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik yang bekerja secara parallel. Keuntungan dari sistem ini adalah :

1. Kontinuitas penyaluran daya cukup terjamin
2. Dibanding sistem yang lainnya sistem ini paling baik dalam memenuhi kebutuhan beban.
3. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu koninuitas pelayanan. Namun disamping keuntungannya sistem distribusi mesh masih memiliki beberapa kelemahan, yaitu biaya konstruksi dan pembangunannya lebih tinggi/mahal serta setting proteksinya lebih sulit



Gambar 2.1 Sistem Distribusi Mesh

Terlihat pada Gambar 2.1 sistem ini biasanya digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi dan mempunyai kapasitas dan kontinuitas pelayanan yang sangat baik [1].

Sistem proteksi pada konfigurasi mesh

2.2 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi pada sistem kelistrikan industri bertujuan untuk mengurangi kerusakan peralatan akibat adanya gangguan. Proteksi yang terkoordinasi dengan baik dapat membatasi lama waktu terjadinya gangguan yang diakibatkan oleh kerusakan peralatan, kesalahan pengoperasian maupun gangguan dari luar sistem [2]. Sistem proteksi harus bekerja secara cepat dan akurat untuk mengisolasi gangguan, selektif dalam mengisolasi gangguan, memiliki tingkat keandalan yang tinggi, serta memiliki sensitivitas yang baik sehingga peralatan proteksi dapat mendeteksi terjadinya gangguan dengan nilai sekecil mungkin [3].

2.3 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Karakteristik dari rele arus lebih waktu *inverse* adalah semakin besar nilai arus maka semakin cepat waktu operasi dari rele. Pada rele arus lebih waktu inverse terdapat beberapa jenis kurva yaitu *long time inverse, standard inverse, short time inverse, very inverse* dan *extremely inverse*. Pada rele arus lebih waktu *inverse*, parameter yang perlu diatur yaitu jenis kurva, nilai arus *pickup* dan *Time Dial Setting (*TDS*)*. Nilai arus pickup merupakan nilai minimum rele untuk beroperasi sedangkan nilai TDS menunjukan waktu operasi yang dibutuhkan oleh rele [4]. Berdasarkan *British Standard BS 142*, nilai arus *pickup* dapat ditentukan dari:

$$1{,}05\ FLA \leq I_{set} \leq 1{,}4\ FLA \quad \text{.....(2.1)}$$

Keterangan:
FLA = Arus beban penuh (Full Load Ampere)
I_{set} = Arus *pickup*

Setelah didapatkan nilai I_{set}, maka perlu dilakukan pengaturan tap dengan membandingkan nilai I_{set} dengan belitan primer dari CT yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Tap = \frac{I_{set}}{nCT\ Primer} \quad \text{.....(2.2)}$$

Sedangkan untuk menentukan nilai TDS dapat digunakan rumus berikut:

$$t_{op} = \frac{k \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^{\alpha} - 1\right] \times \beta} \quad \text{.....(2.3)}$$

Keterangan:
t_{op} = Waktu operasi rele

k, α, β = Koefisien rele (tergantung dari jenis rele)
I_{sc} = Arus gangguan yang mengalir
I_{set} = Arus *pickup*
Persamaan (2.3) disusun berdasarkan beberapa koefisien yang dilampirkan sebagai berikut [5] :

Tabel 2.1 Koefisien Invers Time Dial

Tipe Kurva	k	α	β
Long Time Inverse	120	1	13,33
Standard Inverse	0,14	0,02	2,97
Very Inverse	13,5	1	1,5
Extremely Invers	80	2	0,808
Ultra Inverse	315,2	2,5	1

2.4 Rele Arah Arus Lebih

Rele arah memiliki fungsi untuk membedakan arah suplai arus Rele arah biasa dipasang bersamaan dengan rele arus lebih sehingga saat melakukan setting rele menjadi rele arah arus lebih. Arah yang dimaksud adalah arah *forward* dan *reverse*. Rele jenis ini menggunakan hubungan antara fasa arus dan fasa tegangan untuk menentukan arah gangguan. Rele arah arus lebih akan sangat berguna dan mempermudah melakukan setting rele pada sistem multi source seperti konfigurasi mesh ataupun loop.

2.5 Firefly Algorithm

Firefly Algorithm (FA) pertama kali dikembangkan oleh Xin-She Yang pada akhir 2007 dan 2008 di Universitas Cambridge yang didasarkan pada pola dan perilaku kunang-kunang. Intinya, FA menggunakan tiga aturan ideal berikut:
• Kunang-kunang bersifat uniseks sehingga satu kunang-kunang akan tertarik pada kunang-kunang lainnya tanpa memandang jenis kelaminnya.
• Daya tarik sebanding dengan kecerahan, dan keduanya menurun seiring meningkatnya jarak. Jadi untuk dua kunang-kunang yang berkedip, yang kurang terang akan bergerak ke arah yang lebih terang. Jika tidak ada yang lebih cerah dari kunang-kunang tertentu, itu akan bergerak secara acak.

• Kecerahan kunang-kunang ditentukan oleh lanskap fungsi objektif [6]
Pergerakan posisi kunang-kunang ‘i’ yang yang tertarik dengan kunang-kunang ‘j’ dimodelkan dalam persamaan berikut.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}\left(x_j^t - x_i^t\right) + \alpha_t \in_i^t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4)$$

Keterangan

x_i^t = Posisi kunang-kunang ‘i’ pada iterasi ke-‘t’.
x_j^t = Posisi kunang-kunang ‘j’ sebagai pembanding pada iterasi ‘t’.
r = Jarak antara kunang-kunang ‘i’ dan ‘j’.
β = Faktor daya tarik antara kunang-kunang pada jarak r
β_0 = Faktor daya tarik kunang-kunang pada saat $r = 0$.
γ = Faktor penyerapan cahaya,
α_t = Parameter gerak acak pada iterasi ‘t’
$\in_i^t$ = Vektor angka acak yang berasal dari distribusi *gaussian.*

Parameter α miliki peran penting dalam mengatur pergerakan acak kunang-kunang dalam mencari solusi dengan nilai α berada di rentan 0 sampai dengan 1. Nilai α yang besar akan membuat kunang-kunang lebih bereksplorasi dan nilai α yang kecil akan membuat kunang-kunang lebih bereksploitasi. Bereksplorasi berarti mencari solusi dalam skala global sedangkan bereksploitasi adalah lebih fokus mencari solusi pada daerah sekitarnya. Untuk mendapatkan hasil terbaik dibutuhkan kombinasi dari keduanya.

BAB 3
PEMODELAN SISTEM KELISTRIKAN 6 BUS

3.1 Sistem Kelistrikan Konfigurasi Mesh

Tugas akhir ini menggunakan sistem IEEE 6-bus dengan beberapa modifikasi dan konfigurasi. Sistem kelistrikan utama adalah sistem distribusi mesh dimana pada sistem ini dilakukan modifikasi dengan adanya 4 buah generator dan 6 buah beban. Masing masing generator mempunyai besar daya 20 MW dan untuk beban nya masing masing menggunakan 10 MVA yang terdapat pada setiap bus nya di tegangan 13,8 kV. Pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3, terdapat spesifikasi-spesifikasi dari generator, beban setiap bus dan data saluran impedansi kabel yang terpasang. Pada Tabel 3.4 dan 3.5 merupakan data pola operasi yang memungkinkan dari tiap kondisi generator dan juga kemungkinan pola operasi untuk tiap feedernya dengan mempertimbangkan satu line atau feeder mengalami *open line* atau terputus sehingga akan mengubah jaringan menjadi konfigurasi loop dan radial.

Tabel 3.1 Data Generator

No	ID Unit	Rating Daya (MW)	Tegangan (kV)	Power Factor (%)
1	Gen1	20	13.8	85
2	Gen2	20	13.8	85
3	Gen3	20	13.8	85
4	Gen4	20	13.8	85

Tabel 3.2 Data Beban pada Setiap Bus

No	ID Unit	Bus	MVA	Tegangan (kV)	*Power Factor* (%)
1	Lump 1	6	10	13.8	85
2	Lump 2	5	10	13.8	85
3	Lump 3	4	10	13.8	85
4	Lump 4	3	10	13.8	85
5	Lump 5	2	10	13.8	85
6	Lump 6	1	10	13.8	85

Tabel 3.3 Data Impedansi Saluran

No	Z ID	Z (Ohm)	
		X	R
1	Z1-2	5.1	17.37
2	Z2-3	5.1	17.37
3	Z3-4	5.1	17.37
4	Z4-5	5.1	17.37
5	Z5-6	5.1	17.37
6	Z6-1	5.1	17.37
7	Z6-2	5.1	17.37

Dibawah ini merupakan pola operasi yang memungkinkan untuk semua kondisi sistem kelistrikan dengan mempertimbangkan kondisi generator dan juga kondisi feeder tiap bus nya, kondisi "0" merupakan kondisi saat off dan "1" merupakan kondisi saat on, terdapat 16 case untuk semua kondisi generator dan 8 case untuk kondisi tiap feeder nya, yaitu :

Tabel 3.4 Kemungkinan Pola Operasi Generator

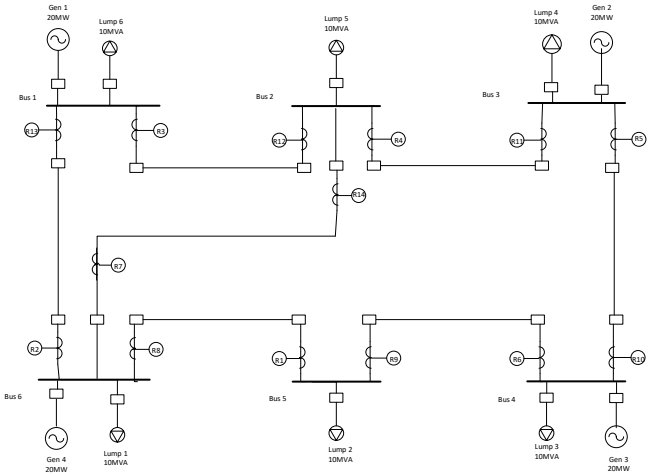
Case	**Gen1**	**Gen2**	**Gen3**	**Gen4**	*Sum*	*Sum Gen(MW)*
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	20
3	0	0	1	0	1	20
4	0	0	1	1	2	40
5	0	1	0	0	1	20
6	0	1	0	1	2	40
7	0	1	1	0	2	40
8	0	1	1	1	3	60
9	1	0	0	0	1	20
10	1	0	0	1	2	40
11	1	0	1	0	2	40
12	1	0	1	1	3	60

13	1	1	0	0	2	40
14	1	1	0	1	3	60
15	1	1	1	0	3	60
16	1	1	1	1	4	80

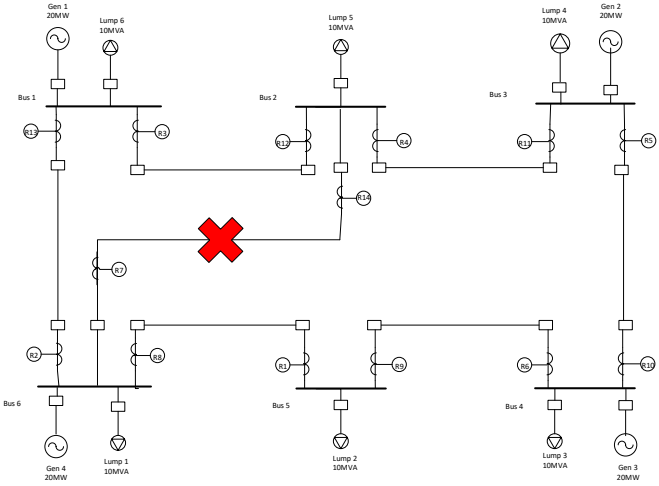
Tabel 3.5 Feeder State

State	Z 1-2	Z 2-3	Z 3-4	Z 4-5	Z 5-6	Z 6-1	Z 6-2
A	1	1	1	1	1	1	1
B	0	1	1	1	1	1	1
C	1	0	1	1	1	1	1
D	1	1	0	1	1	1	1
E	1	1	1	0	1	1	1
F	1	1	1	1	0	1	1
G	1	1	1	1	1	0	1
H	1	1	1	1	1	1	0

Berikut ini adalah Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 yang menggambarkan sistem kelistrikan distribusi mesh IEEE 6-Bus yang telah direkonfigurasi ke dalam kondisi open mesh (loop) dengan memisalkan satu case feeder terputus.



Gambar 3.1 Sistem Konfigurasi Mesh



Gambar 3.2 Sitem Konfigurasi Open Mesh

3.2 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup*

Pasangan rele utama dan rele *backup* dapat ditentukan dengan mententukan arah arus yang mengalir pada sistem. Arah arus pada sistem konfigurasi mesh berasal dari beberapa sumber yang ada pada sistem. Hal ini menyebabkan rele-rele pengaman pada sistem distribusi mesh tergantung pada arah *reverse* dan *forward* dari sebuah arus. Dimana arah *forward* ditentukan dari arah koordinasi proteksi yang searah dengan jarum jam *(clock wise)* dan *reverse* ditentukan dari arah koordinasi proteksi yang berlawanan dengan jarum jam *(counter clock wise)*. Terdapat 14 rele yang terpasang pada sistem konfigurasi mesh 6 bus yang masing masing feeder terdapat 2 rele yang bekerja sesuai arah gangguan pada sistem. Dengan menentukan pasangan rele primer dan sekunder akan lebih mudah dalam menganalisa titik gangguan bus yang terjadi sehingga arah gangguan bisa dideteksi oleh sistem secara tepat.

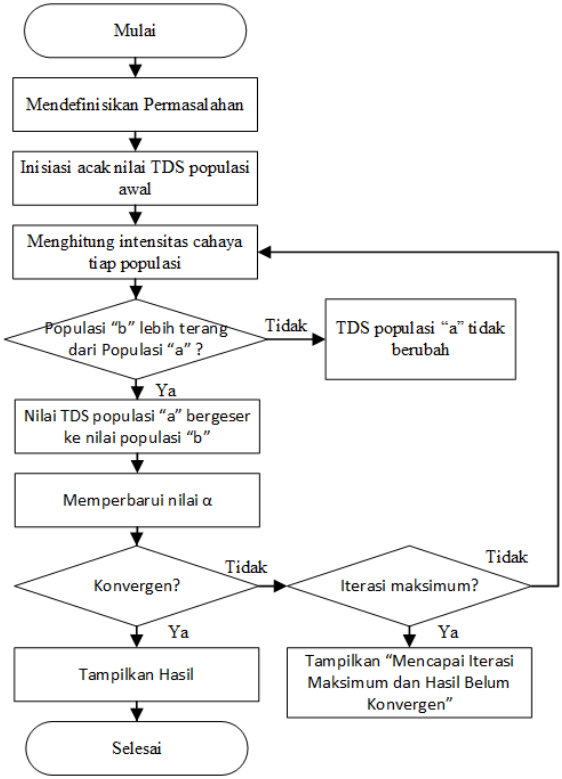
Pasangan rele utama dan rele *backup* pada sistem distribusi mesh dan open-mesh di tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup*

	Forward (CW)			*Reverse (CCW)*	
No	Rele utama	Rele *backup*	No	Rele utama	Rele *backup*
1	1	2	9	8	9
2	1	7	10	9	10
3	2	3	11	10	11
4	3	4	12	11	12
5	4	5	13	11	14
6	5	6	14	12	13
7	6	1	15	13	8
8	7	4	16	14	8

3.3 Optimasi Koordinasi Proteksi Menggunakan Algoritma Firefly

Pada perhitungan nilai TDS sistem proteksi mesh menggunakan algoritma FA , dilakukan beberapa langkah guna mencapai nilai TDS dan waktu operasi maksimum. Flowchat dalam perhitungan tersebut disusun seperti Gambar 3.3 berikut :



Gambar 3.3 Flowchart perhitungan TDS dan waktu operasi FA

Berikut uraian flowchat tersebut :

1. Mendefinisikan Permasalahan
   Pada langkah ini didefinisikan permasalahan yang akan diselesaikan oleh FA, dalam koordinasi proteksi diinginakan untuk sistem pengaman dapat secepat mungkin mengisolir

gangguan, karena semakin lama gangguan terjadi pada sistem maka peralatan akan dialiri arus hubung singkat dalam waktu yang lama sehingga terjadi pemanasan berlebih dan merusak peralatan. Oleh karena itu untuk perhitungan koordinasi proteksi akan meminimalkan nilai *objective function* pada persamaan (3.1) dan (3.2) dengan mempertimbangkan batasan-batasan yang dibentuk dalam fungsi pinalti. Salah satu batasannya adalah mempertahankan nilai CTInya diatas 0.2 detik.

Lalu dilakukan pendefinisian nilai parameter FA, seperti jumlah populasi, jumlah iterasi, dan nilai awal α Selanjutnya memasukan data-data arus nominal yang mengalir, *step* dan *range* TDS, manufaktur rele, rasio CT, arus kontribusi hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle* yang dirasakan tiap rele, pasangan rele utama - rele *backup*, dan target CTInya. Data arus nominal dan hubung singkat diambil dan dianalisa pada *software* ETAP.

Minimize :

$$objective\ function = t_{op-i} + R \times \left\{max\left(0, 0.1 - t_{op-i}\right)\right\}^2 \text{.....(3.1)}$$

$$objective\ function = t_{op-i} + R \times \left\{max\left(0, CTI + t_{op-i} - t_{bop-1}\right)\right\}^2 \text{.....(3.2)}$$

Keterangan:
t_{op-i} = Waktu operasi rele i ketika menjadi rele utama
t_{bop-i} = Waktu operasi rele *backup* dari rele utama i
CTI = Nilai target *coordination time interval*
R = Koefisien fungsi pinalti

2. Inisiasi Acak Nilai TDS Populasi Awal
   Pada langkah ini, program akan menginisiasi posisi populasi kunang-kunang secara acak. Pada tugas akhir ini posisi kunang-kunang melambangkan nilai TDS. Setiap kunang-kunang akan memiliki satu set nilai TDS tiap rele, yang pada tugas akhir ini berjumlah 14 rele.

3. Menghitung Intensitas Cahaya tiap Populasi

Dalam tugas akhir ini intensitas cahaya melambangkan nilai *cost function* pada persamaan (3.1) dan (3.2) Semakin kecil *objective*nya maka semakin terang intensitas cahaya populasi tersebut.

4. Pergeseran Posisi Kunang-kunang
   Diawali dengan mencari kunang-kunang yang memiliki *objective* terkecil. Kunang-kunang lainnya akan mengubah nilai TDSnya mendekati nilai TDS yang menghasilkan *objective* terkecil pada iterasi ini. Perubahan nilai TDS akan berdasarkan persamaan (2.4).

5. Menampilkan Hasil
   Setelah mencapai iterasi maksimum, maka program akan menampilkan hasil perhitungnya. Hasil yang ditampilkan merupakan nilai tap dan TDS terbaik tiap rele, dan waktu operasi rele utama dengan rele *backup*nya. Beserta plot TCC kurva.

BAB 4
HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisa Pola Operasi Sistem

Berdasarkan data generator dan beban, dengan 4 buah generator yang masing masing besarnya 20MW dan total beban sebesar 60 MVA dengan pf 0.85 maka beban maksismum yang ditanggung sistem tersebut adalah sebesar 51MW. Sehingga, diperlukan minimal ada 3 generator aktif yang mensupplai sistem. Sehingga dari data Tabel 3.4 terdapat 5 case operasi yaitu case 8,12,14,15, dan 16. Total case untuk kondisi feeder nya berjumlah 8 maka total kemungkinan ada 40 kemungkinan pola operasi sistem. Pasangan circuit breaker setiap feeder dapat dilihat pada Tabel 4.1,

Table 4.1 Pasangan CB tiap feeder

Line	**CB Link**	
Z 1-2	C1	D1
Z 2-3	C2	D2
Z 3-4	C3	D3
Z 4-5	C4	D4
Z 5-6	C5	D5
Z 6-1	C6	D6
Z 6-2	C7	D7

4.2 Analisa Hubung Singkat

Pengambilan nilai-nilai arus hubung singkat pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP , Simulasi arus hubung singkat yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Isc *max* 3 fasa ketika 0,5 *cycle*. Hasil simulasi arus hubung singkat maksimal dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Arus Hubung Singkat Setiap Bus

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Isc *max* (kA)
1	Bus 1	13.8	21.9
2	Bus 2	13.8	23
3	Bus 3	13.8	22.7
4	Bus 4	13.8	21.8
5	Bus 5	13.8	19.6
6	Bus 6	13.8	24.6

4.2.1 Arus Hubung Singkat Maksimum Konfigurasi Mesh

Data arus hubung singkat maksimal diambil dari *software* ETAP. Pengambilan data arus kontribusi hubung singkat maksimal pada setiap rele merupakan arus nominal hubung singkat pada setiap feeder yang terdapat rele primer dan backup nya, hal ini dilakukan untuk *setting* kurva invers rele pada perhitungan manual dan program Firefly. Data arus hubung singkat untuk semua kemungkinan dapat dilihat pada Lampiran.

Berikut data hasil pengamatan untuk setiap pasangan rele nya :

Tabel 4.3 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 1

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 3	6.96	Rele 4	4.82
Rele 13	7.59	Rele 8	3.26

Tabel 4.4 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 4	7.75	Rele 5	2.84
Rele 12	6.16	Rele 13	0.751
Rele 14	6.91	Rele 8	2.49

Tabel 4.5 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 5	7.43	Rele 6	2.42
Rele 11	7.93	Rele 12	3.43
Rele 11	7.93	Rele 14	3.08

Tabel 4.6 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 6	6.52	Rele 1	3.19
Rele 10	8.01	Rele 11	4.96

Tabel 4.7 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 1	9.31	Rele 2	2.81
Rele 1	9.31	Rele 7	2.09
Rele 9	8.2	Rele 10	3.44

Tabel 4.8 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 2	5.66	Rele 3	1.77
Rele 7	5.76	Rele 4	4.23
Rele 8	5.82	Rele 9	4.19

4.2.2 Arus Hubung Singkat Maksimum Konfigurasi Open Mesh dan Radial

Pada kondisi ini dimodelkan dengan memilih case yang mempunyai hubung singkat paling kecil yaitu pada bus 5 dan juga dipilih arus hubung singkat maksimal pada feeder yaitu ketika kondisi 16-B yang mana feeder Z1-2 mengalami open line. Konfigurasi jaringan berubah menjadi radial dan mesh-open atau konfigurasi loop.

Tabel 4.9 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 1	9.36	Rele 2	3.35
Rele 1	9.36	Rele 7	1.6
Rele 9	8.1	Rele 10	3.31

Tabel 4.10 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 1

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 13	10.45	Rele 8	3.21

Tabel 4.11 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 4	8.1	Rele 5	3.31
Rele 14	9.36	Rele 8	1.6

Tabel 4.12 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 5	7.59	Rele 6	2.64
Rele 11	6.6	Rele 14	5.05

Tabel 4.13 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4

Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 6	6.6	Rele 1	5.05
Rele 10	7.59	Rele 11	2.64

Tabel 4.14 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6

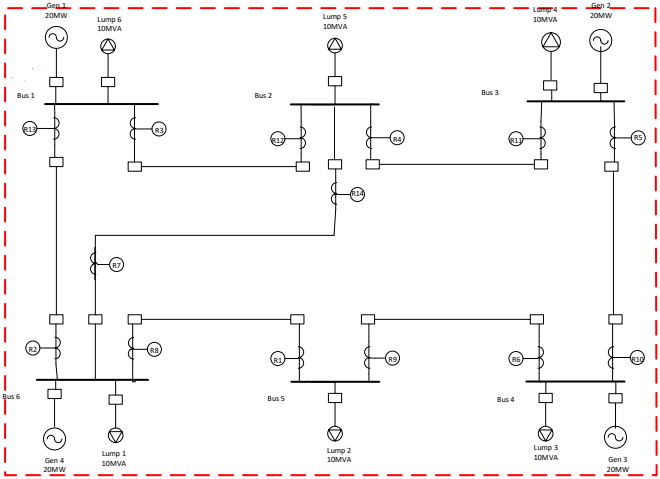
Rele primer	Arus (kA)	Rele *backup*	Arus (kA)
Rele 7	5.82	Rele 4	4.2
Rele 8	5.82	Rele 9	4.2

4.3 Koordinasi Proteksi Konfigurasi Mesh

Pada perhitungan ini dilakukan *setting lowset* untuk rele. Hal ini digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan bus dan *overload*. Perhitungan manual koordinasi proteksi pada sistem konfigurasii mesh digunakan sebagai hasil pembanding perhitungan koordinasi proteksi pada sistem distribusi konfigurasi mesh dengan algoritma firefly.

Pada perhitungan manual ini, sistem distribusi konfigurasi mesh dibagi menjadi 3 bagian. Sistem dibagi menjadi 3 loop yang merupakan gabungan dari setiap arus kontribusi hubung singkat dari tiap pembangkit dan dihitung nilai TDS pada setiap kondisi untuk memperoleh nilai konvergen pada setiap iterasinya.

➢ ***Loop I***



Gambar 4.1 *Loop* I pada Sistem Distribusi Konfigurasi Mesh

Iterasi ke-1

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 9310A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

  $$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

  Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0{,}1$

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}1}{\left[\left(\frac{9310}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,018 s

❒ **Rele 2 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 3350 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,018 s + 0,2 s
= 0,218 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}218 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3350}{418.4}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,03

❒ **Rele 2 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5660 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}03}{\left[\left(\frac{5660}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,014 s

❒ **Rele 3 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 1770 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,218 s + 0,2 s
= 0,418 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}418 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{1770}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,079

❒ **Rele 3 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 6960 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}079}{\left[\left(\frac{6960}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,416 s

❒ **Rele 4 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 4820 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,416 s + 0,2 s
= 0,616 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}616 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{154}{91}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,916

❒ **Rele 4 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7750 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}916}{\left[\left(\frac{7750}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,61 s

❒ **Rele 5 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 2840 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,61 s + 0,2 s
= 0,81 s

$top_{(1)}$ = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

0,81 = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2840}{440}\right)^2 - 1\right]}$

$TDS_{(1)}$ = 0,41

❒ **Rele 5 (*forward*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 7430 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

$top_{(1)}$ = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

= $\frac{80 \text{ x } 0{,}41}{\left[\left(\frac{1770}{182}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,115 s

❒ **Rele 6 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 2420 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,115 s + 0,2 s
= 0,315 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}315 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2420}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,115

Iterasi ke-2

❒ **Rele 6 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 6520 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

  $top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

  $= \frac{80 \text{ x } 0{,}115}{\left[\left(\frac{6520}{440}\right)^2 - 1\right]}$

  = 0,04 s

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3190 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

  $top_{(2)}$ = 0,04 s + 0,2 s
  = 0,24 s

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}24 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3190}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,15

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 9310A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}15}{\left[\left(\frac{9310}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,02 s

❒ **Rele 2 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343

Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup* : 3350 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,02 s + 0,2 s
= 0,22 s

$$top_{(2)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}22 = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{3350}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,15

Iterasi pada *loop* I dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *forward*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Iterasi ke-1

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 8200 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

  $$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

  Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0{,}1$

  $$top_{(1)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

  $$= \frac{80 \times 0{,}1}{\left[\left(\frac{8200}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

  = 0,023 s

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 3440 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

  $$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,023 s + 0,2 s
= 0,223 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}223 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3440}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,167

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 8010 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}167}{\left[\left(\frac{8010}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,04 s

❒ **Rele 11 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 4960 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,04 s + 0,2 s
= 0,24 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}24 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{4960}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,37

❒ **Rele 11 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7930 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}37}{\left[\left(\frac{7930}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,09 s

❒ **Rele 12 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 3430 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,09 s + 0,2 s
= 0,29 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}29 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3430}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,21

❒ **Rele 12 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 6160 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}21}{\left[\left(\frac{6160}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,08 s

❒ **Rele 13 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 751 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,08 s + 0,2 s
= 0,28 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}28 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{751}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,06

❒ **Rele 13 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343

Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 7590 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}06}{\left[\left(\frac{7590}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,016 s

❒ **Rele 8 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup* : 3260 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,016 s + 0,2 s
= 0,216 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}216 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3260}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,14

Iterasi ke-2

❒ **Rele 8 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5820 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}14}{\left[\left(\frac{5820}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,06 s

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 4190 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,06 s + 0,2 s
= 0,26 s

$$top_{(2)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}26 = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{4190}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,28

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 8200 A
FLA	: 418.4 A

CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}28}{\left[\left(\frac{8200}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,06 s

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup* : 3440 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,06 s + 0,2 s
= 0,26 s

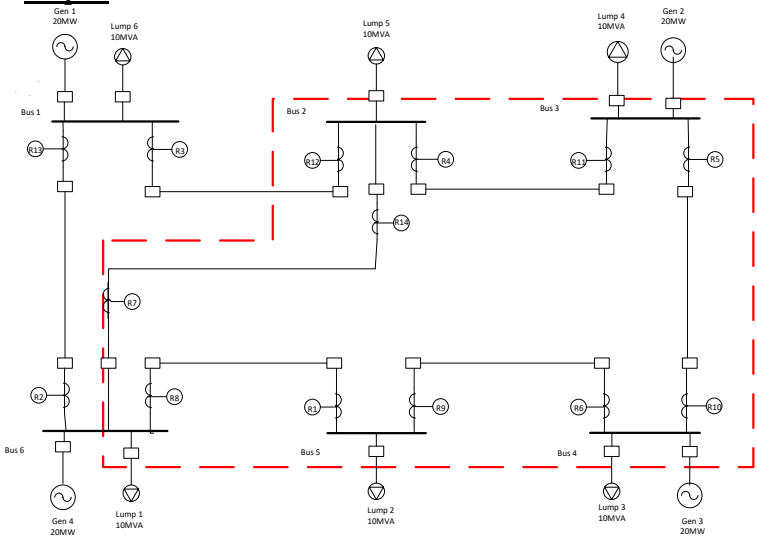
$$top_{(2)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}26 = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{3440}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,18

Iterasi pada *loop* I dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *reverse*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

➢ ***Loop* II**



Gambar 4.2 *Loop* II pada Sistem Konfigurasi Mesh

Iterasi ke-1

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 9310 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)}$ = 0,1

$$top_{(1)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \times 0{,}1}{\left[\left(\frac{9310}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,018 s

❒ **Rele 7 (*forward*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 2090 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,018 s + 0,2 s
= 0,218 s

$top_{(1)}$ = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

0,218 = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2090}{440}\right)^2 - 1\right]}$

$TDS_{(1)}$ = 0,055

❒ **Rele 7 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5760 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

$top_{(1)}$ = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

= $\frac{80 \text{ x } 0{,}055}{\left[\left(\frac{5760}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,027 s

❒ **Rele 4 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 4230 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,027 s + 0,2 s
= 0,227 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}41 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{4230}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,24

❒ **Rele 4 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7750 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$

$= \frac{80 \text{ x } 0{,}01}{\left[\left(\frac{7750}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,06 s

❒ **Rele 5 (*forward*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 2840 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,06 s + 0,2 s
= 0,26 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}26 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2840}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,12

❒ **Rele 5 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7430 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}039}{\left[\left(\frac{7430}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,07 s

❒ **Rele 6 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*

Isc max backup : 2420 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,07 s + 0,2 s
= 0,27 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}23 = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{2420}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,09

Iterasi ke-2

❒ **Rele 6 (*forward*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 6520 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

$= \frac{80 \text{ x } 0{,}03}{\left[\left(\frac{6520}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,036 s

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3190 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,036 s + 0,2 s

= 0,236 s

$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

$0{,}236 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3190}{440}\right)^2 - 1\right]}$

$TDS_{(2)}$ = 0,13

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 9310 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}046}{\left[\left(\frac{9310}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,025 s

❒ **Rele 7 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 2090 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,025 s + 0,2 s
= 0,225 s

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}225 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2090}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,054

Iterasi pada *loop* II dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *forward*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Iterasi ke-1

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 8200 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0{,}1$

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}1}{\left[\left(\frac{8200}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= 0{,}025 \text{ s}$$

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3440 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  $1{,}05 \text{ x FLA} \leq Ipp \leq 1{,}4 \text{ x FLA}$

  $1{,}05 \text{ x } 418.4 \leq Ipp \leq 1{,}4 \text{ x } 418.4$

  $439.32 \leq Ipp \leq 585.76$

  Dipilih Iset = 440

  $\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$

- **Time Dial Setting**

  $top_{(1)} = 0{,}025 \text{ s} + 0{,}2 \text{ s}$

  $= 0{,}225 \text{ s}$

  $$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

  $$0{,}74 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3440}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

  $TDS_{(1)} = 0{,}15$

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 8010 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}15}{\left[\left(\frac{8010}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,04 s

❒ **Rele 11 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 4960 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap $= \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,04 s + 0,2 s
= 0,24 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}24 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{4960}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,33

❒ **Rele 11 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7930 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap $= \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}33}{\left[\left(\frac{7930}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,09 s

❒ **Rele 14 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 3080 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,09 s + 0,2 s
= 0,29 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}29 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3080}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,15

❒ **Rele 14 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 6910 A

FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}15}{\left[\left(\frac{6910}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,05 s

❒ **Rele 8 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 2490 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,05 s + 0,2 s
= 0,25 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}25 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2490}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,083

Iterasi ke-2

❒ **Rele 8 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5820 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}083}{\left[\left(\frac{5820}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,04 s

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 4190 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,04 s + 0,2 s
= 0,24 s

$$top_{(2)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}24 = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{4190}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,23

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 8200 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

top(2) = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

= $\frac{80 \text{ x } 0{,}23}{\left[\left(\frac{8200}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,06 s

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3440 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

top(2) = 0,06 s + 0,2 s
= 0,26 s

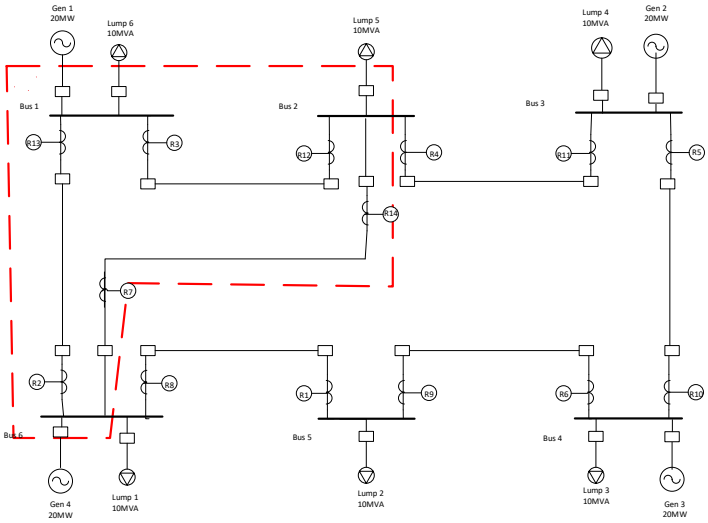
top(2) = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

0,26 = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3440}{440}\right)^2 - 1\right]}$

$TDS_{(2)}$ = 0,166

Iterasi pada *loop* II dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *reverse*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

➢ **Loop III**



Gambar 4.3 *Loop* III pada Sistem Konfigurasi Mesh

Iterasi ke-1

❒ **Rele 2 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5660 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440
Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)}$ = 0,1

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}1}{\left[\left(\frac{5660}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,04 s

❒ **Rele 3 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 1770 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440
Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,04 s + 0,2 s
= 0,24 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}24 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{1770}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,045

❒ **Rele 3 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 6960 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}045}{\left[\left(\frac{6960}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,014 s

❒ **Rele 14 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 3080 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440
  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

  $top_{(1)}$ = 0,014 s + 0,2 s
  = 0,214 s

  $top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

  $0{,}214 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3080}{440}\right)^2 - 1\right]}$

  $TDS_{(1)}$ = 0,12

Iterasi ke-2

❒ **Rele 14 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 6520 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

top(2) = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

= $\frac{80 \text{ x } 0{,}12}{\left[\left(\frac{6520}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,04 s

❒ **Rele 2 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 2810 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

top(2) = 0,04 s + 0,2 s
= 0,24 s

top(2) = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

0,29 = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2810}{440}\right)^2 - 1\right]}$

$TDS_{(2)}$ = 0,14

❒ **Rele 2 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5660 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}14}{\left[\left(\frac{5660}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,06 s

❒ **Rele 3 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max *backup*	: 1770 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,06 s + 0,2 s
= 0,26 s

$top_{(2)}$ = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$

0,26 = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{1770}{440}\right)^2 - 1\right]}$

$TDS_{(2)}$ = 0,04

Iterasi pada *loop* III dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *forward*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Iterasi ke-1

❒ **Rele 7 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5760 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)}$ = 0,1

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}1}{\left[\left(\frac{5760}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= 0{,}05 \text{ s}$$

❒ **Rele 12 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3430 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,05 s + 0,2 s
= 0,25 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}25 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3430}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,157

❒ **Rele 12 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 6160 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}157}{\left[\left(\frac{6160}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,07 s

❒ **Rele 13 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 751 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,07 s + 0,2 s
= 0,27 s

$top_{(1)}$ = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

0,27 = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{751}{440}\right)^2 - 1\right]}$

$TDS_{(1)}$ = 0,004

Iterasi ke-2

❒ **Rele 13 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7590 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

$top_{(2)}$ = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}059}{\left[\left(\frac{7590}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,0012 s

❒ **Rele 7 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 2090 A
FLA	: 418.4 A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,0012 s + 0,2 s
= 0,2012 s

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}2012 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{380}{182}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,04

❒ **Rele 7 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5760 A

FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440
Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$

$= \frac{80 \text{ x } 0{,}024}{\left[\left(\frac{5760}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,02 s

❒ **Rele 12 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 3430 A
FLA : 418.4 A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440
Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,02 s + 0,2 s

= 0,22 s

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}22 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3430}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,134

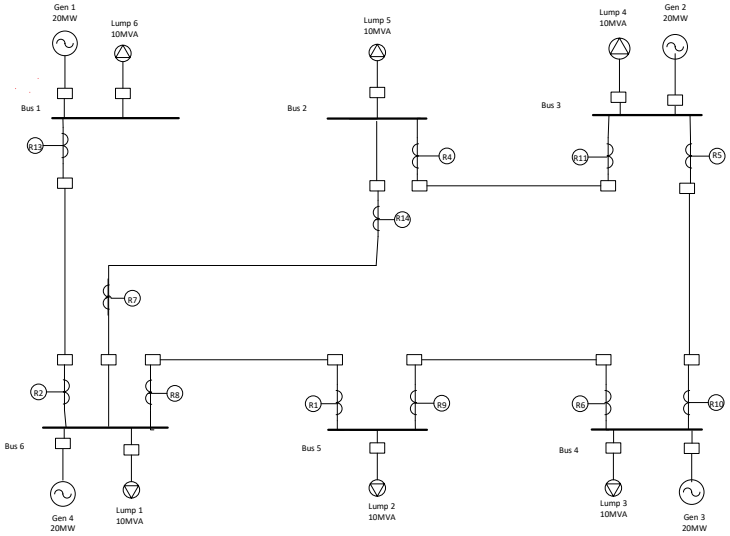
Iterasi pada *loop* III dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *reverse*. *Error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Nilai TDS dari ketiga loop dipilih konvergensi yang terbesar dan didapat untuk perhitungan manual sistem konfigurasi mesh seperti Tabel 4.15 berikut ini.

Tabel 4.15 Nilai Hasil Perhitungan Manual Konfigurasi Mesh

Rele	TDS Manual	Waktu Operasi Manual
1	0.15	0,026
2	0.24	0.117
3	0.08	0.025
4	0.616	0.414
5	0.41	0.115
6	0.115	0.042
7	0.055	0.025
8	0.216	0.11
9	0.28	0.065
10	0.67	0.162
11	0.37	0.11
12	0.21	0.086
13	0.06	0.016
14	0.15	0.054

4.4 Koordinasi Proteksi Konfigurasi Open-mesh dan Radial



Gambar 4.4 Konfigurasi Open-mesh dan radial

Iterasi ke-1

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 9360 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

  Dipilih Iset = 440

  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$

- **Waktu Operasi**

  Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0{,}1$

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}1}{\left[\left(\frac{9360}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,017 s

❒ **Rele 2 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3350 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,017 s + 0,2 s
= 0,217 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}217 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3350}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,15

❒ **Rele 7 (*forward*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 1600 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,017 s + 0,2 s
= 0,217 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}217 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{1600}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,033

❒ **Rele 7 (*forward*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 5820 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

top(1) = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

= $\frac{80 \text{ x } 0{,}033}{\left[\left(\frac{5820}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,015 s

❒ **Rele 4 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 4200 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

Dipilih Iset = 440

Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

top(1) = 0,015 s + 0,2 s

= 0,215 s

top(1) = $\frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

$$0{,}215 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{4200}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,242

❒ **Rele 4 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 8100 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}242}{\left[\left(\frac{8100}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,057 s

❒ **Rele 5 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3310 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,057 s + 0,2 s
= 0,257 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}257 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3310}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,17

❒ **Rele 5 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7590 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}17}{\left[\left(\frac{7590}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= 0{,}05 \text{ s}$$

❒ **Rele 6 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 2640 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

  Dipilih Iset = 440

  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$

- **Time Dial Setting**

  $top_{(1)}$ = 0,05 s + 0,2 s

  = 0,25 s

  $$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

  $$0{,}25 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2640}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

  $TDS_{(1)}$ = 0,109

Iterasi ke-2

❒ **Rele 6 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 5820 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}109}{\left[\left(\frac{5820}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,05 s

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 5050 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

Tap $= \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$

- **Time Dial Setting**

  $top_{(2)}$ = 0,05 s + 0,2 s
  = 0,25 s

  $top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

  $0{,}25 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{5050}{440}\right)^2 - 1\right]}$

  $TDS_{(2)}$ = 0,4

❒ **Rele 1 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 9360 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

  Tap $= \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$

- **Waktu Operasi**

  $top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}4}{\left[\left(\frac{9360}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,07 s

❒ **Rele 7 (*forward*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 1600 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440

  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

  $top_{(2)}$ = 0,07 s + 0,2 s
  = 0,27 s

  $$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

  $$0{,}27 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{1600}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

  $TDS_{(2)}$ = 0,04

Iterasi pada konfigurasi open mesh dan radial dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *forward*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Iterasi ke-1

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 8100 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76

  Dipilih Iset = 440

  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

  Dipilih nilai $TDS_{(1)}$ = 0,1

  $$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

  $$= \frac{80 \text{ x } 0{,}1}{\left[\left(\frac{8100}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

  = 0,023 s

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3310 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA

  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,023 s + 0,2 s
= 0,223 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}223 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3310}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,15

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 7590 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}15}{\left[\left(\frac{759}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,04 s

❒ **Rele 11 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 2640 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,04 s + 0,2 s
= 0,24 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}24 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{2640}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,105

❒ **Rele 11 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*

Isc max utama : 6600 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}105}{\left[\left(\frac{6600}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,037 s

❒ **Rele 14 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 5050 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,037 s + 0,2 s
= 0,237 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}237 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{5050}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,387

❒ **Rele 14 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 9360 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}38}{\left[\left(\frac{9360}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,06 s

❒ **Rele 8 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 1600 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Time Dial Setting**

$top_{(1)}$ = 0,06 s + 0,2 s
= 0,26 s

$$top_{(1)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$0{,}26 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{1600}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(1)}$ = 0,04

Iterasi ke-2

❒ **Rele 8 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 5820 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4

439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440
Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Waktu Operasi**

$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$

$= \frac{80 \text{ x } 0{,}04}{\left[\left(\frac{5820}{440}\right)^2 - 1\right]}$

= 0,018 s

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 4200 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440
Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

$top_{(2)}$ = 0,018 s + 0,2 s
= 0,218 s

$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{Isc\ max}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$

$$0{,}218 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{4200}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

$TDS_{(2)}$ = 0,24

❒ **Rele 9 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama	: 8100 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{Ipp}{CT\ Primary} = \frac{418.4}{500} = 0{,}88$$

- **Waktu Operasi**

$$top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{Ipp}\right)^2 - 1\right]}$$

$$= \frac{80 \text{ x } 0{,}24}{\left[\left(\frac{8100}{440}\right)^2 - 1\right]}$$

= 0,056 s

❒ **Rele 10 (*reverse*)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup	: 3310 A
FLA	: 418.4A
CT ratio	: 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440
  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

  $top_{(2)}$ = 0,056 s + 0,2 s
  = 0,256 s

  $top_{(2)} = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}}\right)^2 - 1\right]}$

  $0{,}256 = \frac{80 \text{ x TDS}}{\left[\left(\frac{3310}{440}\right)^2 - 1\right]}$

  $TDS_{(2)}$ = 0,176

Iterasi pada keadaan reverse dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *reverse*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

❒ **Rele 13 (*reverse*)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 10450 A
FLA : 418.4A
CT ratio : 500/5

- **Low Set Current Setting**

  1,05 x FLA ≤ Ipp ≤ 1,4 x FLA
  1,05 x 418.4 ≤ Ipp ≤ 1,4 x 418.4
  439.32 ≤ Ipp ≤ 585.76
  Dipilih Iset = 440
  Tap = $\frac{Ipp}{CT\ Primary}$ = $\frac{418.4}{500}$ = 0,88

- **Time Dial Setting**

  Dipilih : 0.1

- Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi proteksi konfigurasi open mesh dan radial sama seperti dengan perhitungan pada konfigurasi mesh dengan menghilangkan rele 3 dan rele 12 yang mana tidak bekerja karena kondisi terbuka. Sehingga data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.16 :

Tabel 4.16 Nilai Hasil Perhitungan Manual Konfigurasi Open-mesh

Rele	TDS Manual	Waktu Operasi Manual
1	0.25	0.05
2	0.24	0.797
4	0.616	0.013
5	0.45	0.098
6	0.115	0.665
7	0.15	0.391
8	0.14	0.831
9	0.28	0.115
10	0.3	0.026
11	0.24	0.154
13	0.29	0.683
14	0.29	0.523

4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi pada Konfigurasi Mesh, Open-mesh dan Radial dengan Algoritma Firefly

Untuk melakukan perhitungan waktu operasi dan TDS menggunakan FA, perlu ditentukan parameter terlebih dahulu. Berikut nilai parameter tersebut:

MaxIt = 1000
nPop = 50
R = 1000000
Gamma = 0.6
Beta0 = 1
Alpha = 0.9

Keterangan:
MaxIt = Iterasi maximum program

nPop	= Jumlah populasi *firefly*
R	= Bobot fungsi pinalti
Gamma	= Koefisien penyerapan cahaya
Beta0	= Koefisien daya tarik *firefly* saat jarak antar *firefly* nol
Alpha	= Koefisien gerak acak *firefly*

Setelah menentukan nilai parameter memasukan *input* program seperti tabel 4.3 hingga tabel 4.14 dengan arus nominal sebesar 440 Ampere pada setiap beban nya. Hasil simulasi MATLAB R2019b dari optimasi koordinasi proteksi DOCR menggunakan algoritma firefly dan perbandingan nya dengan perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

Tabel 4.17 Hasil perhitungan manual dan algoritma firefly konfigurasi mesh

Rele	TDS FA	TDS Manual	Waktu Operasi FA	Waktu Operasi Manual
1	0.41	0.15	0.1015	0.05
2	0.15	0.24	0.487	0.797
3	0.23	0.1	0.372	0.492
4	0.25	0.616	0.044	0.013
5	0.26	0.41	0.053	0.098
6	0.2	0.115	0.377	0.665
7	0.16	0.055	0.368	0.391
8	0.14	0.14	0.558	0.831
9	0.28	0.28	0.067	0.115
10	0.3	0.3	0.033	0.026
11	0.3	0.24	0.197	0.154
12	0.18	0.29	0.409	0.683
13	0.27	0.28	0.231	0.183
14	0.23	0.29	0.373	0.523
Total	**3.360**	**3.5060**	**3.6705**	**5.0210**

Tabel 4.18 Hasil perhitungan manual dan algoritma firefly konfigurasi open mesh

Rele	TDS FA	TDS Manual	Waktu Operasi FA	Waktu Operasi Manual
1	0.41	0.25	0.104	0.05
2	0.16	0.24	0.487	0.797
4	0.31	0.616	0.044	0.013
5	0.27	0.45	0.053	0.098
6	0.18	0.115	0.377	0.665
7	0.16	0.15	0.368	0.391
8	0.16	0.14	0.558	0.831
9	0.31	0.28	0.067	0.115
10	0.24	0.3	0.033	0.026
11	0.18	0.24	0.197	0.154
13	0.51	0.29	0.409	0.683
14	0.41	0.29	0.373	0.523
Total	**3.300**	**3.361**	**3.070**	**4.346**

Selisih waktu antara rele primer dan rele sekunder dari hasil Algoritma firefly ditampilkan pada Tabel 4.19 dan 4.20.

Tabel 4.19 Waktu operasi rele pada konfigurasi mesh dengan algoritma firefly

No	Rele utama	Rele *backup*	*tprimer*	*tbackup*	CTI
1	1	2	0.1015	0.3066	0.2051
2	1	7	0.1015	0.3094	0.2079
3	2	3	0.1009	0.734	0.6331
4	3	4	0.1021	0.3069	0.2048
5	4	5	0.1035	0.3167	0.2132
6	5	6	0.1012	0.3037	0.2025
7	6	1	0.1012	0.5156	0.4144

8	7	4	0.1039	0.3578	0.2539
9	8	9	0.1018	0.3147	0.2129
10	9	10	0.1022	0.3205	0.2183
11	10	11	0.1007	0.3073	0.2066
12	11	12	0.1025	0.3151	0.2126
13	11	14	0.1025	0.3233	0.2208
14	12	13	0.1021	1.2312	1.1291
15	13	8	0.1007	0.3084	0.2077
16	14	8	0.1036	0.322	0.2184

Tabel 4.20 Waktu operasi rele pada konfigurasi open-mesh dan radial dengan algoritma firefly

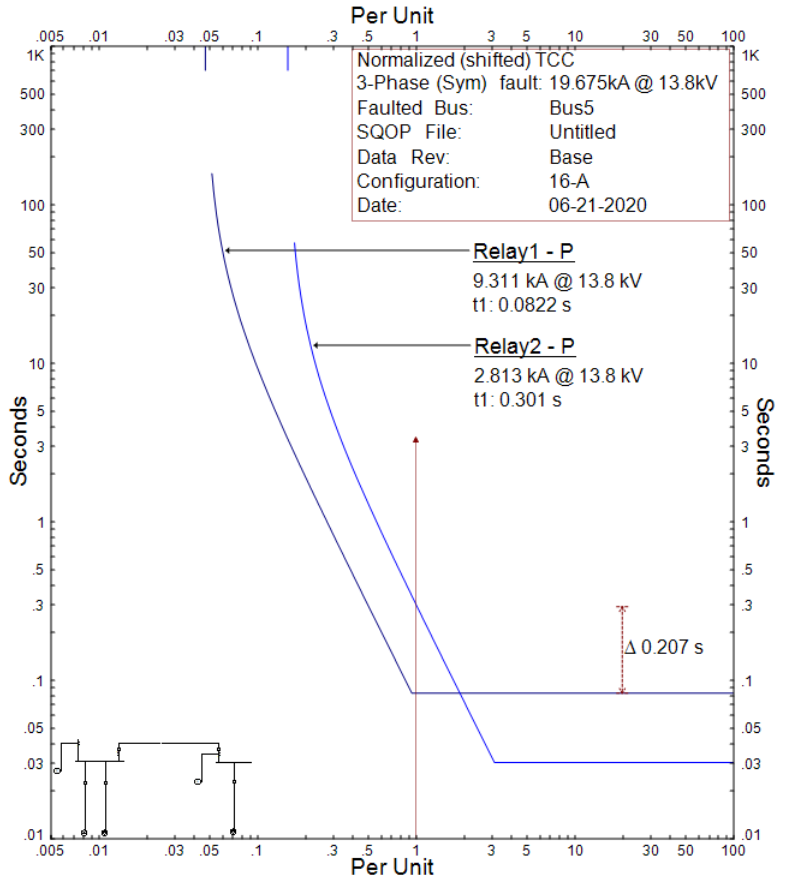
No	Rele utama	Rele *backup*	*tprimer*	*tbackup*	CTI
1	1	2	0.1004	0.3112	0.2108
2	1	7	0.1004	0.3654	0.265
3	4	5	0.1015	0.3189	0.2174
4	5	6	0.1007	0.317	0.2163
5	6	1	0.1029	0.3039	0.201
6	7	4	0.1018	0.3072	0.2054
7	8	9	0.1018	0.3072	0.2054
8	9	10	0.1015	0.3189	0.2174
9	10	11	0.1036	0.3315	0.2279
10	11	14	0.1029	0.3039	0.201
11	13	8	0.1002	0.3183	0.2181
12	14	8	0.1004	0.9134	0.813

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa waktu operasi rele primer sesuai dengan constrain yang telah ditentukan yaitu <0.1sekon. sedangkan coordination time interval tiap rele primer dan juga sekunder juga menunjukkan nilai >0.2s. adanya CTI yang besar pada rele 13

dikarenakan arus hubung singkat maksimum pada feeder yang terdapat rele 13 mempunyai nilai arus hubung singkat yang kecil.

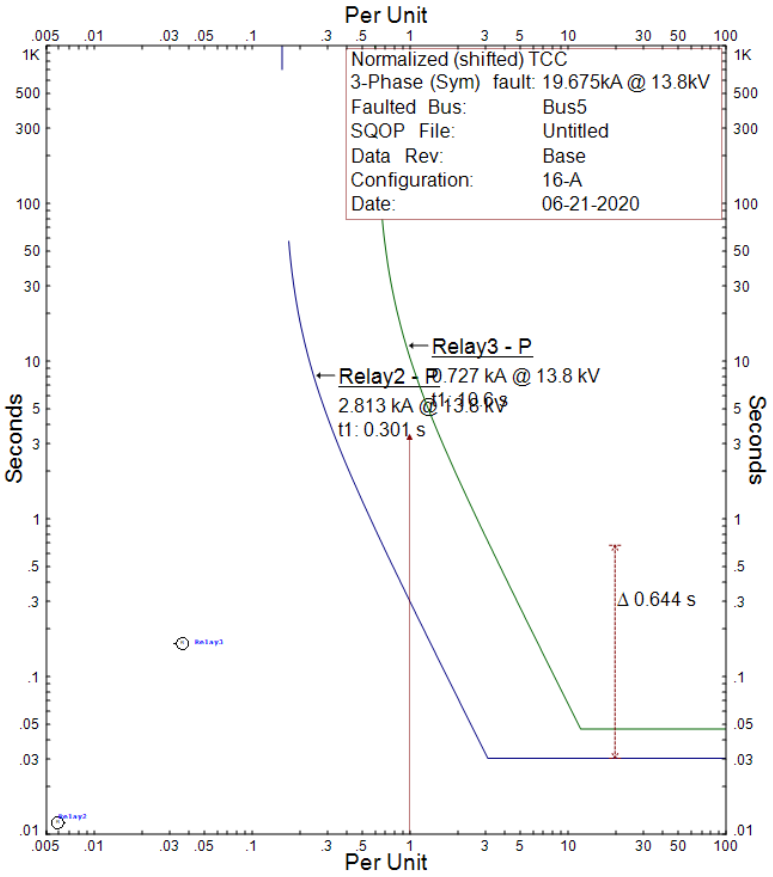
Berikut merupakan Analisa kurva TCC pada konfigurasi mesh dan konfigurasi open mesh dan radial dengan hasil optimasi menggunakan algoritma firefly, koordinasi proteksi antar rele dan dapat CTInya berdasarkan titik gangguannya adalah sebagai berikut :

TCC Konfigurasi Mesh SC bus 5



Gambar 4.5 Plot Kurva TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 2 *Forward*

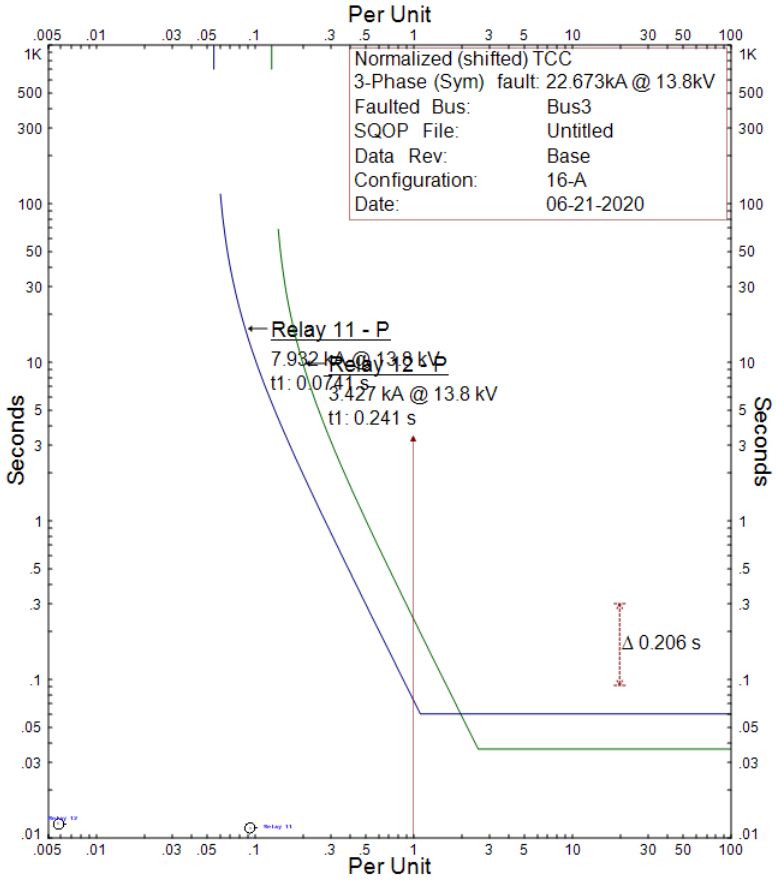
TCC Konfigurasi Mesh SC bus 5



Gambar 4.6 Plot Kurva TCC Rele 2 *Forward* dan Rele 3 *Forward*

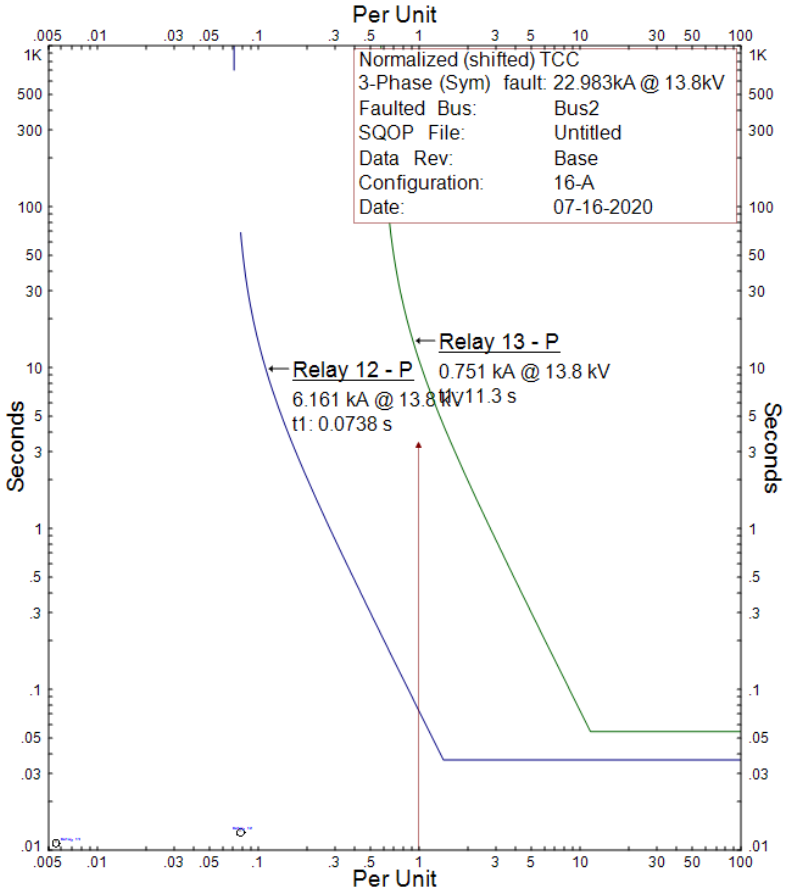
Pada gambar tersebut terlihat CTI sebesar 0.644 dikarenakan gangguan yang dirasakan oleh rele 3 mempunyai nilai yang relative kecil

TCC Konfigurasi Mesh SC bus 3



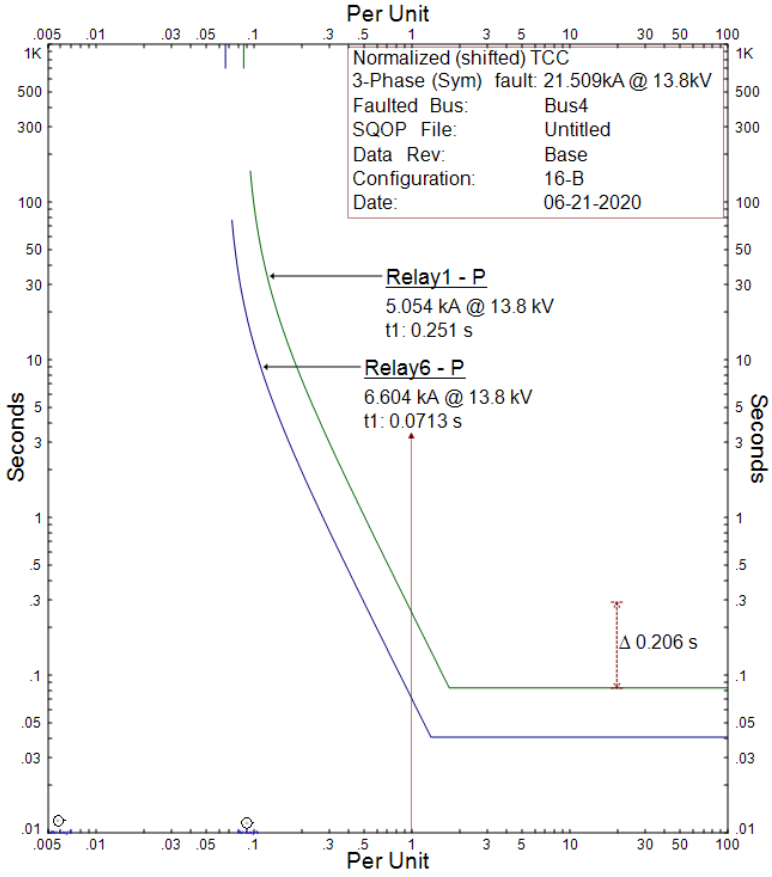
Gambar 4.7 Plot kurva TCC Rele 11 *Reverse* dan Rele 12 *Reverse*

TCC Konfigurasi Mesh SC bus 2



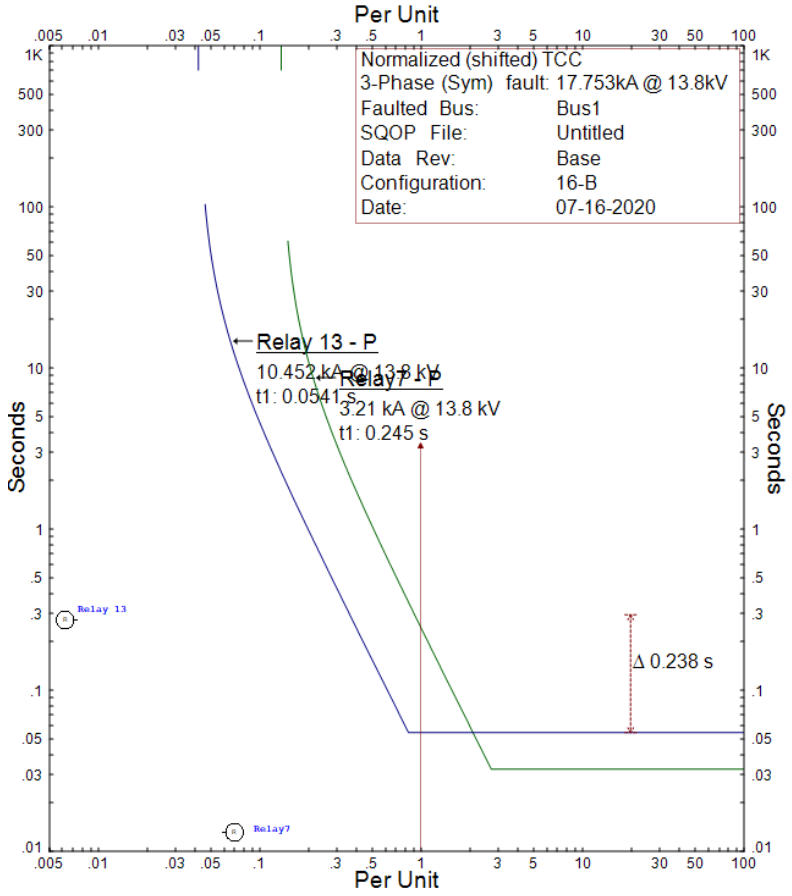
Gambar 4.8 Plot TCC Rele 12 *Reverse* dan Rele 13 *Reverse*

TCC Konfigurasi Open-mesh dan radial SC bus 4



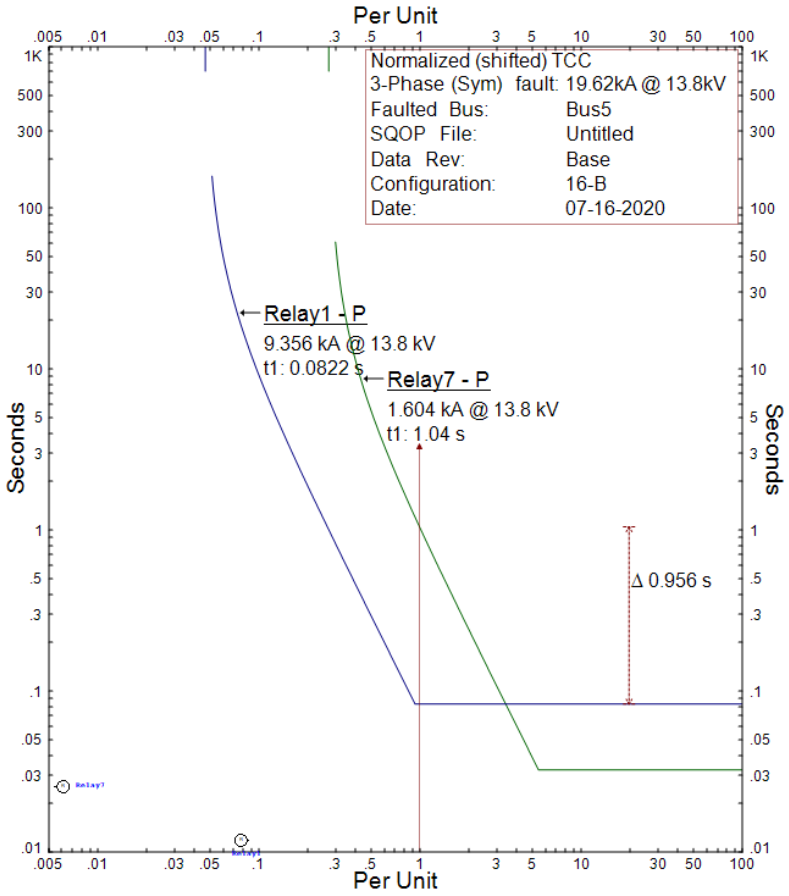
Gambar 4.9 Plot TCC Rele 6 *Forward* dan Rele 1 *Forward*

TCC Konfigurasi Open-mesh dan radial SC bus 1



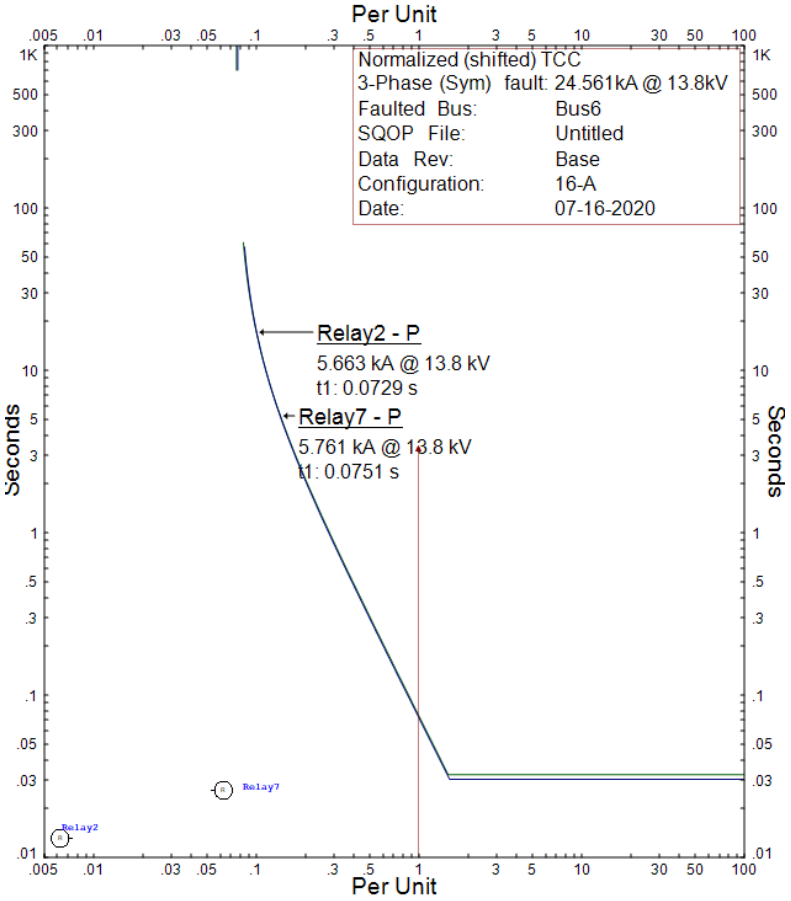
Gambar 4.10 Plot TCC Rele 13 *Reverse* dan Rele 7 *Reverse*

TCC Konfigurasi Open-mesh dan radial SC bus 5



Gambar 4.11 Plot TCC Rele 1 *Forward* dan Rele 7 *Forward*

TCC Konfigurasi Open-mesh dan radial SC bus 6



Gambar 4.12 Plot TCC Rele 2 *Forward* dan Rele 7 *Forward*

Selain itu dalam perhitungannya untuk konfigurasi mesh rata-rata membutuhkan 7.65 iterasi untuk konvergen. Sedangkan untuk konfigurasi open-mesh dan radial membutuhkan reata-rata 8.125 iterasi untuk konvergen. Berikut tabel perbandingan untuk tiap iterasinya :

Tabel 4.21 Iterasi pada konfigurasi mesh dan open-mesh

No	Rele utama	Rele *backup*	Iterasi			
			Mesh		Open-mesh	
1	1	2	6	19	5	6
2	1	7	5	15	4	7
3	2	3	6	20		
4	3	4	4	11		
5	4	5	6	7	6	6
6	5	6	10	5	4	4
7	6	1	6	5	6	16
8	7	4	5	5	5	21
9	8	9	19	6	7	14
10	9	10	11	5	5	15
11	10	11	7	7	17	5
12	11	12	5	3		
13	11	14	6	6	13	6
14	12	13	7	4		
15	13	8	7	6	7	6
16	14	8	7	4	4	6
Rata-rata			7.65		8.125	

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi *Directional Over Current Relay* menggunakan Firefly dengan pertimbangan konfigurasi mesh, open-mesh dan radial, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Tingkat konvergensi algoritma firefly terhitung cepat karena dari hasil percobaan, rata-rata nilai sudah konvergen pada iterasi ke 7 untuk konfigurasi mesh dan iterasi ke 8 untuk konfigurasi open-mesh dan radial.
2. Nilai total TDS dan waktu operasi hasil optimasi algoritma Firefly relatif lebih kecil dibandingkan perhitungan manual
3. Nilai rata-rata waktu operasi rele primer menggunakan Algoritma Firefly adalah sebesar 0,102 s.
4. CTI hasil perhitungan sudah mendekati target yang ditentukan yaitu pada konfigurasi mesh dengan error terbesar 1.12 detik dan pada konfigurasi open-mesh mempunyai error terbesar 0.8 detik.

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan serta analisa yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Diperlukan studi kasus pada *plant* yang nyata sehingga tahu besar komponen lain seperti trafo,impedansi, dan lain lain.
2. Untuk mendapatkan nilai CTI yang lebih cepat diperlukan metode baru untuk memperbaiki Algoritma Firefly dalam proses optimasi

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. K. Hakimi, "Optimasi Koordinasi Proteksi Rele Arah Arus Lebih pada Sistem Distribusi Mesh dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma Genetika," Surabaya, 2016.

[2] "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," p. 751.

[3] P. M. Anderson, *Power system protection*. New York: McGraw-Hill : IEEE Press, 1999.

[4] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. Overbye, "Power System Analysis and Design, Fifth Edition," p. 850

[5] Protection and Control, "Sepam *1000: Sepam Range Substations, Busbars, Transformers, Motors",* Groupe Schneider. 1998.

[6] X. S. Yang and X.He, "Firefly algorithm; recent advances and applications,' *Int. J. Swarm Intell.*, vol. 1, no. 1, p. 36, 2013

[7] "MiCOM P342, P343, P344, P345, P346 & P391 Generator Protection Relay Technical Manual." ALSTOM, 2010.

[8] A. D. Putra, "Optimasi Koordinasi *Directional Over Current Relay (DOCR*) pada Sistem Distribusi Mesh Menggunakan *Modified Adaptive Particle Swarm Optimization (MAPSO)*," Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.

LAMPIRAN

| | | | CB Reading (A) | | |

Gambar 6.2 Data SC maksimum bus 2

			CB Reading (A)																						
			Bus 1				Bus 2				Bus 3				Bus 4				Bus 5			Bus 6			
Gen State	Feeder State	Case	A1	B1	C1	D6	B6	C2	D1	D7	A3	B3	C3	D2	A4	B4	C4	D3	B5	C5	D4	A2	B2	C6	C7	D5
8	A	8-A	0	1.8	3.94	2.14	2.16	-7.63	3.94	6.08	3.49	1.46	-2.68	-7.63	2.9	1.21	1.44	-2.68	1.35	2.79	1.14	3.83	1.6	2.14	6.08	2.79
	B	8-B	0	1.29	0	-1.29	2.16	-7.93	0	8.13	3.42	1.43	-3.07	-7.93	2.75	1.15	0.823	-3.07	1.22	2.05	0.823	3.38	1.41	-1.29	8.13	2.05
	C	8-C	0	1.75	4.5	2.76	2.16	0	4.5	7.26	1.21	0.505	1.71	0	1.58	0.662	3.95	1.71	1.03	4.98	3.95	3.56	1.49	2.76	7.26	4.98
	D	8-D	0	1.77	4.29	2.52	2.16	-5.59	4.29	6.8	3.94	1.65	0	-5.59	2.1	0.878	2.98	0	1.15	4.13	2.98	3.67	1.53	2.52	6.8	4.13
	E	8-E	0	1.83	3.61	1.78	2.16	-8.33	3.61	5.4	3.33	1.39	-3.6	-8.33	2.54	1.06	0	-3.6	1.53	1.53	0	3.63	1.67	1.78	5.4	1.53
	F	8-F	0	1.87	3.22	1.35	2.16	-8.75	3.22	4.57	3.24	1.35	-4.17	-8.75	2.32	0.969	-0.887	-4.17	0.887	0	-0.887	4.17	1.75	1.35	4.57	0
	G	8-G	0	1.98	1.98	0	2.16	-7.81	1.98	7.36	3.45	1.44	-2.92	-7.81	2.81	1.17	0	-2.92	1.27	2.33	1.06	3.55	1.49	0	7.36	2.33
	H	8-H	0	1.57	6.37	4.79	2.16	-8.37	6.37	0	3.32	1.39	-3.66	-8.37	2.52	1.05	-0.092	-3.66	1.04	0.955	-0.092	2.71	1.13	4.79	0	0.955
12	A	12-A	3.99	1.67	5.38	-0.286	2.16	-7.48	5.38	5.1	3.52	1.47	-2.49	-7.48	2.98	1.25	1.73	-2.49	1.4	3.14	1.73	0	1.69	-0.286	5.1	3.14
	B	12-B	2.67	1.12	0	-3.79	2.16	-7.84	0	7.52	3.44	1.44	-2.96	-7.84	2.79	1.17	1	-2.96	1.26	2.26	1	0	1.47	-3.79	7.52	2.26
	C	12-C	3.86	1.62	5.92	0.487	2.16	0	5.92	6.37	1.27	0.532	1.8	0	1.67	0.698	4.17	1.8	1.08	5.25	4.17	0	1.57	0.487	6.37	5.25
	D	12-D	3.92	1.64	5.7	0.196	2.16	-5.59	5.7	5.84	3.94	1.65	0	-5.59	2.22	0.929	3.15	0	1.22	4.37	3.15	0	1.62	0.196	5.84	4.37
	E	12-E	4.08	1.71	4.99	-0.793	2.16	-8.33	4.99	4.2	3.33	1.39	-3.6	-8.33	2.54	1.06	0	-3.6	1.63	1.63	0	0	1.78	-0.793	4.2	1.63
	F	12-F	4.17	1.75	4.57	-1.35	2.16	-8.75	4.57	3.22	3.24	1.35	-4.17	-8.75	2.32	0.969	-0.887	-4.17	0.887	0	-0.877	0	1.87	-1.35	3.22	0
	G	12-G	3.94	1.65	5.59	0	2.16	-7.45	5.59	4.91	3.53	1.48	-2.45	-7.45	2.99	1.25	1.79	-2.45	1.41	3.2	1.79	0	1.71	0	4.91	3.2
	H	12-H	3.51	1.47	7.54	2.57	2.16	-8.21	7.54	0	3.36	1.4	-3.46	-8.21	2.6	1.09	0.229	-3.46	1.11	1.34	0.229	0	1.23	2.57	0	1.34
14	A	14-A	3.84	1.61	6.05	0.603	2.16	-5.47	6.05	6.65	0	1.66	-3.81	-5.47	3.13	1.31	0.63	-3.81	1.37	2	0.63	3.71	1.55	0.603	6.65	2
	B	14-B	2.42	1.01	0	-3.43	2.16	-5.87	0	9.06	0	1.62	-4.25	-5.87	2.94	1.23	-0.086	-4.25	1.22	1.14	-0.086	3.17	1.33	-3.43	9.06	1.14
	C	14-C	3.73	1.56	6.56	1.29	2.16	0	6.56	7.84	0	0.684	0.684	0	1.79	0.747	3.21	0.684	1.04	4.26	3.21	3.44	1.44	1.29	7.84	4.26
	D	14-D	3.74	1.57	6.48	1.18	2.16	-1.98	6.48	7.66	0	1.98	0	-1.98	1.99	0.833	2.82	0	1.09	3.92	2.82	3.48	1.46	1.18	7.66	3.92
	E	14-E	3.87	1.62	5.92	0.437	2.16	-5.82	5.92	6.36	0	1.63	-4.2	-5.82	2.96	1.24	0	-4.2	1.45	1.45	0	3.77	1.58	0.437	6.36	1.45
	F	14-F	3.94	1.65	5.59	0	2.16	-6.41	5.59	5.59	0	1.57	-4.84	-6.41	2.69	1.12	-1.03	-4.84	1.03	0	-1.03	3.94	1.65	0	5.59	0
	G	14-G	3.94	1.65	5.59	0	2.16	-5.53	5.59	7.01	0	1.65	-3.87	-5.53	3.1	1.3	0.523	-3.87	1.35	1.87	0.523	3.63	1.52	0	7.01	1.87
	H	14-H	3.32	1.39	8.37	3.66	2.16	-6.37	8.37	0	0	1.57	-4.79	-6.37	2.71	1.13	-0.955	-4.79	1.04	0.092	-0.955	2.52	1.05	3.66	0	0.092
15	A	15-A	3.87	1.62	5.94	0.456	2.16	-6.62	5.94	6.39	3.71	1.55	-1.36	-6.62	0	1.43	0.074	-1.36	1.44	1.51	0.074	3.77	1.58	0.456	6.39	1.51
	B	15-B	2.46	1.03	0	-3.49	2.16	-7.04	0	8.79	3.62	1.51	-1.91	-7.04	0	1.34	-0.568	-1.91	1.29	0.719	-0.568	3.23	1.35	-3.49	8.79	0.719
	C	15-C	3.74	1.56	6.5	1.2	2.16	0	6.5	7.7	1.48	0.619	2.1	0	0	0.812	2.91	2.1	1.08	3.99	2.91	3.47	1.45	1.2	7.7	3.99
	D	15-D	3.82	1.6	6.16	0.751	2.16	-5.59	6.16	6.91	3.94	1.65	0	-5.59	0	1.19	1.19	0	1.3	2.49	1.19	3.65	1.53	0.751	6.91	2.49
	E	15-E	3.87	1.62	5.92	0.437	2.16	-6.67	5.92	6.36	3.7	1.55	-1.42	-6.67	0	1.42	0	-1.42	1.45	1.45	0	3.77	1.58	0.437	6.36	1.45
	F	15-F	3.94	1.65	5.59	0	2.16	-7.42	5.59	5.59	3.54	1.48	-2.41	-7.42	0	1.26	-1.15	-2.41	1.15	0	-1.15	3.94	1.65	0	5.59	0
	G	15-G	3.94	1.65	5.59	0	2.16	-6.67	5.59	6.67	3.7	1.55	-1.42	-6.67	0	1.42	0	-1.42	1.42	1.42	0	3.7	1.55	0	6.67	1.42
	H	15-H	3.36	1.4	8.21	3.46	2.16	-7.54	8.21	0	3.51	1.47	-2.57	-7.54	0	1.23	-1.34	-2.57	1.11	-0.229	-1.34	2.6	1.09	3.46	0	-0.229
16	A	16-A	3.82	1.6	6.16	0.751	2.16	-7.75	6.16	6.91	3.46	1.45	-2.84	-7.75	2.84	1.19	1.19	-2.84	1.3	2.49	1.19	3.65	1.53	0.751	6.91	2.49
	B	16-B	2.37	0.99	0	-3.35	2.16	-8.1	0	9.36	3.83	1.42	-3.31	-8.1	2.65	1.11	0.454	-3.31	1.15	1.6	0.454	3.1	1.3	-3.35	9.36	1.6
	C	16-C	3.7	1.55	6.66	1.43	2.16	0	6.66	8.08	1.14	0.479	1.62	0	1.5	0.628	3.75	1.62	0.975	4.73	3.75	3.38	1.42	1.43	8.08	4.73
	D	16-D	3.74	1.57	6.48	1.18	2.16	-5.59	6.48	7.66	3.94	1.65	0	-5.59	1.99	0.833	2.82	0	1.09	3.92	2.82	3.48	1.46	1.18	7.66	3.92
	E	16-E	3.87	1.62	5.92	0.437	2.16	-8.33	5.92	6.36	3.33	1.39	-3.6	-8.3	2.54	1.06	0	-3.6	1.45	1.45	0	3.77	1.58	0.437	6.36	1.45
	F	16-F	3.94	1.65	5.59	0	2.16	-8.75	5.59	5.59	3.24	1.35	-4.17	-8.75	2.32	0.969	-0.887	-4.17	0.887	0	-0.887	3.94	1.65	0	5.59	0
	G	16-G	3.94	1.65	5.59	0	2.16	-7.81	5.59	7.36	3.45	1.44	-2.92	-7.81	2.81	1.17	1.06	-2.92	1.27	2.33	1.06	3.55	1.49	0	7.36	2.33
	H	16-H	3.28	1.37	8.56	3.91	2.16	-8.56	8.56	0	3.28	1.37	-3.91	-8.56	2.42	1.01	-0.484	-3.91	0.967	0.484	-0.484	2.42	1.01	3.91	0	0.484

| | | |

Gambar 6.4 Data SC maksimum bus 4

			CB Reading (A)																							
			Bus 1				Bus 2				Bus 3				Bus 4				Bus 5			Bus 6				
Gen State	Feeder State	Case	A1	B1	C1	D6	B6	C2	D1	D7	A3	B3	C3	D2	A4	B4	C4	D3	B5	C5	D4	A2	B2	C6	C7	D5
8	A	*8-A*	0	1.19	0.768	-0.423	1.26	2.38	0.768	0.346	3.54	1.48	7.39	2.38	5.17	2.16	-5.87	7.39	1.62	-4.25	-5.87	2.94	1.23	-0.423	0.346	-4.25
	B	*8-B*	0	1.11	0	-1.11	1.29	2.18	0	0.881	3.57	1.5	7.24	2.18	5.17	2.16	-5.95	7.24	1.61	-4.34	-5.95	2.9	1.21	-1.11	0.881	-4.34
	C	*8-C*	0	0.942	0	-0.942	0.942	0	0	-0.942	3.94	1.65	5.59	0	5.17	2.16	-6.89	5.59	1.52	-5.37	-6.89	2.46	1.03	-0.942	-0.942	-5.37
	D	*8-D*	0	0.751	-0.583	-1.33	0.697	-1.8	-0.583	-1.92	1.27	0.532	0	-1.8	5.17	2.16	-7.66	0	1.45	-6.21	-7.66	2.09	0.875	-1.33	-1.92	-6.21
	E	*8-E*	0	0.756	1.49	0.736	0.893	4.61	1.49	2.23	3.16	1.32	9.08	4.61	5.17	2.16	0	9.08	0.63	0.63	0	1.65	0.688	0.736	2.23	0.63
	F	*8-F*	0	0.812	1.4	0.587	0.941	4.33	1.4	1.99	3.21	1.34	8.86	4.33	5.17	2.16	-1.98	8.86	1.98	0	-1.98	1.81	0.759	0.587	1.99	0
	G	*8-G*	0	1.14	1.14	0	1.25	2.45	1.14	0.058	3.53	1.48	7.45	2.45	5.17	2.16	-5.79	7.45	1.63	-4.16	-5.79	2.98	1.25	0	0.058	-4.16
	H	*8-H*	0	1.19	0.968	-0.225	1.28	2.25	0.968	0	3.56	1.49	7.3	2.25	5.17	2.16	-5.95	7.3	1.61	-4.34	-5.95	2.9	1.21	-0.225	0	-4.34
12	A	*12-A*	2.64	1.1	1.64	-2.1	1.25	2.42	1.64	-0.467	3.53	1.48	7.43	2.42	5.17	2.16	-5.52	7.43	1.65	-3.87	-5.52	0	1.3	-2.1	-0.467	-3.87
	B	*12-B*	2.33	0.973	0	-3.3	1.33	1.94	0	0.605	3.62	1.51	7.06	1.94	5.17	2.16	-5.62	7.06	1.64	-3.97	-5.62	0	1.28	-3.3	0.605	-3.97
	C	*12-C*	2.1	0.879	0.679	-2.3	0.941	0	0.679	-1.62	3.94	1.65	5.59	0	5.17	2.16	-6.56	5.59	1.55	-5.01	-6.56	0	1.09	-2.3	-1.62	-5.01
	D	*12-D*	1.7	0.71	-0.054	-2.44	0.705	-1.82	-0.054	-2.49	1.28	0.538	0	-1.82	5.17	2.16	-7.34	0	1.48	-5.86	-7.34	0	0.935	-2.44	-2.49	-5.86
	E	*12-E*	1.67	0.699	2.04	-0.325	0.887	4.65	2.04	1.72	3.15	1.32	9.11	4.65	5.17	2.16	0	9.11	0.667	0.667	0	0	0.728	-0.325	1.72	0.667
	F	*12-F*	1.81	0.759	1.99	-0.587	0.941	4.33	1.99	1.4	3.21	1.34	8.86	4.33	5.17	2.16	-1.98	8.86	1.98	0	-1.98	0	0.812	-0.587	1.4	0
	G	*12-G*	2.24	0.939	3.18	0	1.23	2.56	3.18	-1.86	3.51	1.47	7.53	2.56	5.17	2.16	-4.96	7.53	1.7	-3.26	-4.96	0	1.4	0	-1.86	-3.26
	H	*12-H*	2.64	1.1	1.35	-2.39	1.23	2.58	1.35	0	3.51	1.47	7.55	2.58	5.17	2.16	-5.38	7.55	1.67	-3.71	-5.18	0	1.32	-2.39	0	-3.71
14	A	*14-A*	2.49	1.04	2.16	-1.38	1.24	4.17	2.16	0.774	0	1.63	5.8	4.17	5.17	2.16	-6.17	5.8	1.59	-4.58	-6.17	2.8	1.17	-1.38	0.774	-4.58
	B	*14-B*	2.1	0.877	0	-2.97	1.35	3.54	0	2.19	0	1.68	5.22	3.54	5.17	2.16	-6.26	5.22	1.58	-4.68	-6.26	2.75	1.15	-2.97	2.19	-4.68
	C	*14-C*	1.7	0.712	0.551	-1.86	0.763	0	0.551	-1.31	0	1.98	1.98	0	5.17	2.16	-7.62	1.98	1.45	-6.17	-7.62	2.11	0.884	-1.86	-1.31	-6.17
	D	*14-D*	1.58	0.662	0.308	-1.94	0.69	-0.632	0.308	-1.63	0	0.632	0	-0.632	5.17	2.16	-7.84	0	1.43	-6.41	-7.84	2.01	0.84	-1.94	-1.63	-6.41
	E	*14-E*	1.62	0.677	2.48	0.182	0.905	6.04	2.48	2.66	0	1.47	7.5	6.04	5.17	2.16	0	7.5	0.604	0.604	0	1.58	0.66	0.182	2.66	0.604
	F	*14-F*	1.72	72	2.44	0	0.944	5.82	2.44	2.44	0	1.48	7.3	5.82	5.17	2.16	-1.98	7.3	1.98	0	-1.98	1.72	0.72	0	2.44	0
	G	*14-G*	2.22	0.93	3.15	0	1.22	4.29	3.15	-0.11	0	1.62	5.9	4.29	5.17	2.16	-5.87	5.9	1.62	-4.25	-5.87	2.94	1.23	0	-0.11	-4.25
	H	*14-H*	2.51	1.05	2.62	-0.937	1.29	3.9	2.62	0	0	1.65	5.55	3.9	5.17	2.16	-6.36	5.55	1.57	-4.78	-6.36	2.71	1.13	-0.937	0	-4.78
15	A	*15-A*	2.31	0.966	1.78	-1.5	1.13	3.19	1.78	0.28	3.4	1.42	8.01	3.19	0	2.16	-6.52	8.01	1.56	-4.96	-6.52	2.64	1.1	-1.5	0.28	-4.96
	B	*15-B*	1.98	0.827	0	-2.8	1.22	2.64	0	1.43	3.49	1.46	7.59	2.63	0	2.16	-6.6	7.59	1.55	-5.05	-6.6	2.59	1.09	-2.8	1.43	-5.05
	C	*15-C*	1.7	0.712	0.551	-1.86	0.763	0	0.551	-1.31	3.94	1.65	5.59	0	0	2.16	-7.62	5.59	1.45	-6.17	-7.62	2.11	0.884	-1.86	-1.31	-6.17
	D	*15-D*	1.41	0.591	-0.045	-2.04	0.587	-1.52	-0.045	-2.07	1.07	0.448	0	-1.52	0	2.16	-8.14	0	1.41	-6.74	-8.14	1.86	0.779	-2.04	-2.07	-6.74
	E	*15-E*	1.41	0.589	2.15	0.159	0.787	5.25	2.15	2.31	3.05	1.28	9.56	5.25	0	2.16	0	9.56	0.526	0.526	0	1.37	0.574	0.159	2.31	-0.526
	F	*15-F*	1.49	0.625	2.12	0	0.82	5.06	2.12	2.12	3.08	1.29	9.41	5.06	0	2.16	-1.98	9.41	1.98	0	-1.98	1.49	0.625	0	2.12	0
	G	*15-G*	2.02	0.844	2.86	0	1.11	3.32	2.86	-0.645	3.38	1.41	8.11	3.32	0	2.16	-6.19	8.11	1.59	-4.6	-6.19	2.79	1.17	0	-0.645	-4.6
	H	*15-H*	2.31	0.967	1.94	-1.34	1.15	3.09	1.94	0	3.42	1.43	7.93	3.09	0	2.16	-6.58	7.93	1.55	-5.03	-6.58	2.6	1.09	-1.34	0	-5.03
16	A	*16-A*	2.31	0.966	1.78	-1.5	1.13	3.19	1.78	0.28	3.4	1.42	8.01	3.19	5.17	2.16	-6.52	8.01	1.56	-4.96	-6.52	2.64	1.1	-1.5	0.28	-4.96
	B	*16-B*	1.98	0.827	0	-2.8	1.22	2.64	0	1.43	2.64	1.46	7.59	2.64	5.17	2.16	-6.6	7.59	1.55	-5.05	-6.6	2.59	1.09	-2.8	1.43	-5.05
	C	*16-C*	1.7	0.712	0.551	-1.86	0.763	0	0.551	-1.31	3.94	1.65	5.59	0	5.17	2.16	-7.62	5.59	1.45	-6.17	-7.62	2.11	0.884	-1.86	-1.31	-6.17
	D	*16-D*	1.41	0.591	-0.045	-2.04	0.587	-1.52	-0.045	-2.07	1.07	0.448	0	-1.52	5.17	2.16	-8.14	0	1.41	-6.74	-8.14	1.86	0.779	-2.04	-2.07	-6.74
	E	*16-E*	1.41	0.589	2.15	0.159	0.787	5.25	2.15	2.31	3.05	1.28	9.56	5.25	5.17	2.16	0	9.56	0,526	0.526	0	1.37	0.574	0.159	2.31	0.526
	F	*16-F*	1.49	0.625	2.12	0	0.82	5.06	2.12	2.12	3.08	1.29	9.41	5.06	5.17	2.16	-1.98	9.41	1.98	0	-1.98	1.49	0.625	0	2.12	0
	G	*16-G*	2.02	0.844	2.86	0	1.11	3.32	2.86	-0.645	3.38	1.41	8.11	3.32	5.17	2.16	-6.19	8.11	1.59	-4.6	-6.19	2.79	1.17	0	-0.645	-4.6
	H	*16-H*	2.31	0.967	1.94	-1.34	1.15	3.09	1.94	0	3.42	1.43	7.93	3.09	5.17	2.16	-6.58	7.93	1.55	-5.03	-6.58	2.6	1.09	-1.34	0	-5.03

| | | |

Gambar 6.6 Data SC maksimum bus 6

			CB Reading (A)																						
			Bus 1				Bus 2				Bus 3				Bus 4				Bus 5			Bus 6			
Gen State	Feeder State	Case	A1	B1	C1	D6	B6	C2	D1	D7	A3	B3	C3	D2	A4	B4	C4	D3	B5	C5	D4	A2	B2	C6	C7	D5
8	A	8-A	0	1.85	-1.5	-3.35	1.72	-4.63	-1.5	-4.85	3.08	1.29	-0.252	-4.63	3.03	1.27	4.04	-0.252	1.64	5.68	4.04	5.17	2.16	-3.35	-4.85	5.68
	B	8-B	0	1.98	0	-1.98	1.63	-4.2	0	-5.82	2.96	1.24	0	-4.2	2.96	1.24	4.2	0	1.63	5.82	4.2	5.17	2.16	-1.98	-5.82	5.82
	C	8-C	0	1.98	0	-1.98	1.98	0	0	-1.98	1.75	0.733	2.48	0	2.3	0.961	5.74	2.48	1.49	7.23	5.74	5.17	2.16	-1.98	-1.98	7.23
	D	8-D	0	1.86	-1.44	-3.3	1.73	-4.46	-1.44	-4.74	3.14	1.32	0	-4.46	2.96	1.24	4.2	0	1.63	5.82	4.2	5.17	2.16	-3.3	-4.74	5.82
	E	8-E	0	1.81	-2.02	-3.82	1.62	-6.24	-2.02	-5.84	2.5	1.04	-2.7	-6.24	1.9	0.796	0	-2.7	1.98	1.98	0	5.17	2.16	-3.82	-5.84	1.98
	F	8-F	0	1.8	-2.1	-3.9	1.61	-6.5	-2.1	-6	2.4	1	-3.1	-6.5	1.72	0.719	-0.658	-3.1	0.658	0	-0.685	5.17	2.16	-3.9	-6	0
	G	8-G	0	1.41	1.41	0	1.54	-3.8	1.41	-6.75	2.85	1.19	0.238	-3.8	2.9	1.21	4.35	0.238	1.61	5.96	4.35	5.17	2.16	0	-6.75	5.96
	H	8-H	0	1.65	-3.9	-5.55	1.29	-2.62	-3.9	0	2.51	1.05	0.937	-2.62	2.71	1.13	4.78	0.937	1.57	6.36	4.78	5.17	2.16	-5.55	0	6.36
12	A	12-A	3.93	1.64	-0.131	-5.66	1.63	-4.23	-0.131	-5.76	2.97	1.24	-0.022	-4.23	2.97	1.24	4.19	-0.022	1.63	5.82	4.19	0	2.16	-5.66	-5.76	5.82
	B	12-B	3.94	1.65	0	-5.59	1.63	-4.2	0	-5.82	2.96	1.24	0	-4.2	2.96	1.24	4.2	0	1.63	5.82	4.2	0	2.16	-5.59	-5.82	5.82
	C	12-C	4.17	1.75	1.35	-4.57	1.87	0	1.35	-3.22	1.75	0.733	2.48	0	2.3	0.961	5.74	2.48	1.49	7.23	5.74	0	2.16	-4.57	-3.22	7.23
	D	12-D	3.93	1.64	-0.126	-5.66	1.63	-4.22	-0.126	-5.76	2.97	1.24	0	-4.22	2.96	1.24	4.2	0	1.63	5.82	4.2	0	2.16	-5.66	-5.76	5.82
	E	12-E	3.83	1.6	-0.692	-6.09	1.54	-5.91	-0.692	-6.77	2.37	0.99	-2.56	-5.91	1.8	0.755	0	-2.56	1.98	1.98	0	0	2.16	-6.09	-6.77	1.98
	F	12-F	3.81	1.6	-0.779	-6.16	1.52	-6.16	-0.779	-6.91	2.28	0.952	-2.93	-6.16	1.63	0.681	-0.624	-2.93	0.624	0	-0.624	0	2.16	-6.16	-6.91	0
	G	12-G	2.56	1.07	3.63	0	1.4	-3.16	3.63	-8.2	2.66	1.11	0.612	-3.16	2.8	1.17	4.58	0.612	1.59	6.17	4.58	0	2.16	0	-8.2	6.17
	H	12-H	3.42	1.43	-3.09	-7.93	1.15	-1.94	-3.09	0	2.31	0.967	1.34	-1.94	2.6	1.09	5.03	1.34	1.55	6.58	5.03	0	2.16	-7.93	0	6.58
14	A	14-A	4.02	1.68	0.448	-5.25	1.72	-2.65	0.448	-4.81	0	1.48	-1.17	-2.65	3.27	1.37	3.47	-1.17	1.69	5.16	3.47	5.17	2.16	-5.25	-4.81	5.16
	B	14-B	3.94	1.65	0	-5.59	1.75	-2.75	0	-4.5	0	1.49	-1.26	-2.75	3.3	1.38	3.41	-1.26	1.69	5.11	3.41	5.17	2.16	-5.59	-4.5	5.11
	C	14-C	4.17	1.75	1.35	-4.57	1.87	0	1.35	-3.22	0	1.03	1.03	0	2.69	1.12	4.84	1.03	1.57	6.41	4.84	5.17	2.16	-4.57	-3.22	6.41
	D	14-D	4.08	1.71	0.793	-4.99	1.78	-1.63	0.793	-4.2	0	1.63	0	-1.63	2.96	1.24	4.2	0	1.63	5.82	4.2	5.17	2.16	-4.99	-4.2	5.82
	E	14-E	3.92	1.64	-0.196	-5.7	1.62	-4.37	-0.196	-5.84	0	1.22	-3.15	-4.37	2.22	0.929	0	-3.15	1.98	1.98	0	5.17	2.16	-5.7	-5.84	1.98
	F	14-F	3.89	1.63	-0.315	-5.79	1.6	-4.74	-0.315	-6.06	0	1.16	-3.58	-4.74	1.99	0.832	-0.762	-3.58	0.762	0	-0.762	5.17	2.16	-5.79	-6.06	0
	G	14-G	2.73	1.14	3.87	0	1.5	-1.81	3.87	-7.18	0	1.33	-0.473	-1.81	3.09	1.29	3.9	-0.473	1.65	5.55	3.9	5.17	2.16	0	-7.18	5.55
	H	14-H	3.56	1.49	-2.25	-7.3	1.28	-0.968	-2.25	0	0	1.19	0.225	-0.968	2.9	1.21	4.34	0.225	1.61	5.95	4.34	5.17	2.16	-7.3	0	5.95
15	A	15-A	3.98	1.66	0.209	-5.44	1.68	-3.36	0.209	-5.24	3.28	1.37	1.29	-3.36	0	1.49	2.78	1.29	1.75	4.53	2.78	5.17	2.16	-5.44	-5.24	4.53
	B	15-B	3.94	1.65	0	-5.59	1.69	-3.41	0	-5.11	3.3	1.38	1.26	-3.41	0	1.49	2.75	1.26	1.75	4.5	2.75	5.17	2.16	-5.59	-5.11	4.5
	C	15-C	4.17	1.75	1.35	-4.57	1.87	0	1.35	-3.22	2.21	0.923	3.13	0	0	1.21	4.34	3.13	1.61	5.95	4.34	5.17	2.16	-4.57	-3.22	5.95
	D	15-D	3.93	1.64	-0.126	-5.66	1.63	-4.22	-0.126	-5.76	2.97	1.24	0	-4.22	0	1.68	1.68	0	1.84	3.52	1.68	5.17	2.16	-5.66	-5.76	3.52
	E	15-E	3.89	1.63	-0.35	-5.84	1.59	-4.91	-0.35	-6.17	2.73	1.14	-1.04	-4.91	0	1.04	0	-1.04	1.98	1.98	0	5.17	2.16	-5.84	-6.17	1.98
	F	15-F	3.86	1.61	-0.508	-5.96	1.57	-5.37	-0.508	-6.44	2.56	1.07	-1.74	-5.37	0	0.91	-0.833	-1.74	0.833	0	-0.833	5.17	2.16	-5.96	-6.44	0
	G	15-G	2.66	1.11	3.77	0	1.46	-2.38	3.77	-7.61	2.97	1.24	1.82	-2.38	0	1.41	3.23	1.82	1.71	4.94	3.23	5.17	2.16	0	-7.61	4.94
	H	15-H	3.51	1.47	-2.58	-7.55	1.23	-1.35	-2.58	0	2.64	1.1	2.39	-1.35	0	1.32	3.71	2.39	1.67	5.38	3.71	5.17	2.16	-7.55	0	5.38
16	A	16-A	3.93	1.64	-0.131	-5.66	1.63	-4.23	-0.131	-5.76	2.97	1.24	-0.022	-4.23	2.97	1.24	4.19	-0.022	1.63	5.82	4.19	5.17	2.16	-5.66	-5.76	5.82
	B	16-B	3.94	1.65	0	-5.59	1.63	-4.2	0	-5.82	2.96	1.24	0	-4.2	2.96	1.24	4.2	0	1.63	5.82	4.2	5.17	2.16	-5.59	-5.82	5.82
	C	16-C	4.17	1.75	1.35	-4.57	1.87	0	1.35	-3.22	1.75	0.733	2.48	0	2.3	0.961	5.74	2.48	1.49	7.23	5.74	5.17	2.16	-4.57	-3.22	7.23
	D	16-D	3.93	1.64	-0.126	-5.66	1.63	-4.22	-0.126	-5.76	2.97	1.24	0	-4.22	2.96	1.24	4.2	0	1.63	5.82	4.2	5.17	2.16	-5.66	-5.76	5.82
	E	16-E	3.83	1.6	-0.692	-6.09	1.54	-5.91	-0.692	-6.77	2.37	0.99	-2.56	-5.91	1.8	0.755	0	-2.56	1.98	1.98	0	5.17	2.16	-6.09	-6.77	1.98
	F	16-F	3.81	1.6	-0.779	-6.16	1.52	-6.16	-0.779	-6.91	2.28	0.952	-2.93	-6.16	1.63	0.681	-0.624	-2.93	0.624	0	-0.624	5.17	2.16	-6.16	-6.91	0
	G	16-G	2.56	1.07	3.63	0	1.4	-3.16	3.63	-8.2	2.66	1.11	0.612	-3.16	2.8	1.17	4.58	0.612	1.59	6.17	4.58	5.17	2.16	0	-8.2	6.17
	H	16-H	3.42	1.43	-3.09	-7.93	1.15	-1.94	-3.09	0	2.31	0.967	1.34	-1.94	2.6	1.09	5.03	1.34	1.55	6.58	5.03	5.17	2.16	-7.93	0	6.58

BIODATA PENULIS

Fauzanul Abidin, lahir di Bojonegoro pada tanggal 29 November 1998. Penulis merupakan lulusan dari SDN Payaman 2, SMPN 1 NGRAHO dan SMAN 1 Padangan. Pada tahun 2016, penulis melanjutkan studinya di Teknik Elektro ITS dan memilih bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan dan organisasi dalam kampus. Penulis pernah aktif menjadi Ketua Departemen Event UKM Badminton ITS dan LMB serta menjadi asisten di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) selama 1 tahun terakhir. Selama menjadi asisten laboratorium, penulis pernah menjadi trainer untuk pelatihan *software* ETAP dan juga aktif dalam berbagai proyek diantaranya yaitu proyek Evaluasi Koordinasi Proteksi Pertamina RU V Balikpapan. Untuk mendapatkan informasi lebih lanjut, penulis dapat dihubungi melalui abidinfauzanul20@gmail.com.