



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA SISTEM
RING PT. PUPUK SRIWIDJAJA MENGGUNAKAN
*ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM.***

Rizqi Putra Muhammad
NRP 0711144000111

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA SISTEM
RING PT. PUPUK SRIWIDJAJA MENGGUNAKAN
*ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM.***

Rizqi Putra Muhammad
NRP 0711144000111

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**OVERCURRENT PROTECTION COORDINATION IN PT.
PUPUK SRIWIDJAJA RING SYSTEM USING ADAPTIVE
MODIFIED FIREFLY ALGORITHM.**

Rizqi Putra Muhammad
NRP 0711144000111

Supervisors
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA
SISTEM RING PT. PUPUK SRIWIDJAJA
MENGUNAKAN *ADAPTIVE MODIFIED*
*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

Dosen Pembimbing II


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


Ir. Siamsiul Anam, MT.
NIP. 196307251990031002



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA SISTEM RING PT. PUPUK SRIWIDJAJA MENGGUNAKAN ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM.**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Rizqi Putra Muhammad
0711144000111

Halaman ini sengaja dikosongkan

KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA SISTEM RING PT. PUPUK SRIWIDJAJA MENGGUNAKAN ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM.

Nama mahasiswa : Rizqi Putra Muhammad
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Abstrak:

PT. Pupuk Sriwidjaja merupakan industri besar yang bergerak dibidang produksi pupuk dan produk agribisnis lainnya. Oleh karena itu seperti industri kimia lainnya membutuhkan kontinuitas pasokan daya untuk menunjang kontinuitas produksi. Karena jika terjadi pemadaman maka calon produk akan rusak dan harus dibuang. Untuk menghindari kerugian tersebut maka dibutuhkan sistem proteksi yang dapat mengisolir gangguan yang muncul pada sistem kelistrikan secara cepat, selektif dan terkoordinatif.

PT. Pupuk Sriwidjaja melakukan ekspansi dengan menambahkan beban pabrik P2B dan generator STG-1. Dengan syarat setiap beban harus memiliki minimal dua sumber dan generator STG-1 dapat mensuplai pabrik P2B dan sistem kelistrikan pabrik lama. Syarat-syarat tersebut mengakibatkan terbangunnya sistem *ring*, dengan sistem proteksinya menggunakan rele arus lebih. Namun, terdapat permasalahan dalam menentukan seting proteksinya. Dalam tugas akhir ini dilakukan perhitungan koordinasi proteksi menggunakan *adaptive modified firefly algorithm* (AMFA).

Hasil dari tugas akhir ini adalah seting rele arus lebih pada sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja dengan memanfaatkan kemampuan *dual setting* dan *directional element* rele. Program metode perhitungan AMFA membutuhkan rata-rata 17,16 iterasi untuk mendapatkan TDS yang terkoordinasi. Dengan error CTI terbesarnya 0.092 detik.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

OVERCURRENT PROTECTION COORDINATION IN PT. PUPUK SRIWIDJAJA RING SYSTEM USING ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM

Student Name : Rizqi Putra Muhammad
Supervisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Supervisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT

Abstract:

PT. Pupuk Sriwidjaja is a large company in chemical industry specializing in the production of fertilizers and other agribusiness products. Therefore, like others in chemical industries, the company requires high level energy supply continuity to support their production. Because power outage will cause the product in process to be damaged and eventually be discarded. To avoid this, it requires a selective and coordinated protection system that can isolate disturbances on the electrical system immediately.

PT. Pupuk Sriwidjaja had done an expansion by adding new load P2B and a STG-1 generator. With conditions that each load must have at least two sources and the STG-1 generator can supply both P2B plant and old plant. These conditions resulted in a new system with overcurrent relay for it's protection system. However, there are problems in determining the ideal protection setting. To calculate the time dial setting needed for the protection system, this final project will utilize adaptive modified firefly algorithm (AMFA)

The final result of this project is to set the protection coordination of PT. Pupuk Sriwidjaja's ring system by using the existing overcurrent relay's dual setting and directional element. AMFA calculation program, in average, needs 17.16 iteration to get coordinated relay's TDS. With the highest CTI error 0.092 seconds.

Key Word: *(adaptive modified firefly algorithm, coordination protection, dual setting, time dial setting)*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Sistem Ring PT. Pupuk Sriwidjaja Menggunakan Adaptive Modified 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, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu Lita dan Bapak Zaenuri selaku orang tua penulis dan Afifah Putri H., M. Yusur Ibrahim, dan Azizah Nurul I. selaku saudara-saudari penulis atas doa, ilmu, dan kasih sayang yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Sahabat-sahabat LIPIST B-204 yang memberikan pelajaran dan pengalaman super. Serta menyemangati penulis dalam menyusun tugas akhir.
6. Guntur, Indra, dan Januardi sebagai kawan seperjuangan topik proteksi kecerdasan buatan.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait	5
2.2 Teori Dasar.....	5
2.2.1 <i>Adaptive Modified Firefly Algorithm</i>	5
2.2.2 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.2.3 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	7
2.2.4 Rele Arus Lebih Waktu Inverse	9
2.2.5 Rele Arah Arus Lebih (<i>Directional Overcurrent Relay</i>) .	12
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PUPUK SRIWIDJAJA DAN PERANCANGAN <i>ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM</i> . 13	
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja	13
3.2 Sistem Proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja	14
3.2.1 Rele yang Terpasang.....	14

3.2.2	Pasangan Rele Utama dan Rele <i>Backup</i>	16
3.3	Koordinasi Proteksi Menggunakan <i>Adaptive Modified Firefly Algorithm</i>	17
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1	Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat.....	21
4.2	Perhitungan Nilai <i>Time Dial Setting</i> Rele Menggunakan Metode <i>Adaptive Modified Firefly Algorithm</i>	22
4.3	Analisis Koordinasi Proteksi Menggunakan Hasil Perhitungan <i>Adaptive Modified Firefly Algorithm</i>	29
BAB 5	KESIMPULAN	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA		43
BIODATA PENULIS		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tipe Kurva Inverse	10
Gambar 2.2. Pengaruh Nilai TDS Terhadap Kemiringan Kurva IEC <i>Extremely Inverse</i>	12
Gambar 3.1. Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja	13
Gambar 3.2. Diagram Alur Perhitungan TDS dengan AMFA	19
Gambar 4.1. Delta <i>error</i> TDS rele H2 OC1	26
Gambar 4.2. Delta <i>error</i> TDS rele H1 OC2	27
Gambar 4.3. <i>Error</i> CTI H2 OC1 dengan H1 OC2	27
Gambar 4.4. Grafik Perubahan nilai Alfa terhadap Iterasi	28
Gambar 4.5. <i>Output Setting</i> Rele Hasil Perhitungan AMFA.	28
Gambar 4.6. Kurva TCC rele H2 OC1 dengan H1 OC2	30
Gambar 4.7 Kurva TCC rele H2 OC1 dengan H1 OC2 (<i>Normalized</i>) ..	31
Gambar 4.8. Kurva TCC rele G2 OC1 dengan G1 OC2	32
Gambar 4.9. Kurva TCC rele G2 OC1 dengan G1 OC2 (<i>Normalized</i>) ..	33
Gambar 4.10. Kurva TCC rele G1 OC1 dengan G2 OC2	34
Gambar 4.11. Kurva TCC rele F1 OC1 dengan F2 OC2	34
Gambar 4.12. Kurva TCC rele G1 OC1 dengan G2 OC2 (<i>Normalized</i>)	35
Gambar 4.13. Kurva TCC rele F1 OC1 dengan F2 OC2 (<i>Normalized</i>)	36
Gambar 4.14. Kurva TCC rele F2 OC1 dengan F1 OC2	37
Gambar 4.15. Kurva TCC rele F2 OC1 dengan F1 OC2 (<i>Normalized</i>)	38
Gambar 4.16. Kurva TCC rele H1 OC1 dengan H2 OC2	39
Gambar 4.17. Kurva TCC rele H1 OC1 dengan H2 OC2 (<i>Normalized</i>)	40

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. CTI minimum antara rele utama dengan rele <i>backup</i>	7
Tabel 2.2. Konstantan Kurva <i>Inverse</i> [8].	11
Tabel 3.1. Kapasitas Pembangkit PT. Pupuk Sriwidjaja.....	14
Tabel 3.2. Data Transformator pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja	14
Tabel 3.3. Manufaktur dan Seri Rele yang Terpasang pada Sistem <i>Ring</i>	15
Tabel 3.4. Konstanta dan Parameter Kurva IEC <i>Extremely Inverse</i>	15
Tabel 3.5. Konstanta dan Parameter Kurva IEC <i>Extremely Inverse</i> . (Lanjutan)	16
Tabel 3.6. Pasangan Rele Utama dengan Rele <i>Backupnya</i>	16
Tabel 4.1. Arus Hubung Singkat Maksimum 0,5 <i>Cycle</i>	21
Tabel 4.2. Arus Hubung Singkat pada Setiap Rele.....	22
Tabel 4.3. <i>Input</i> Program AMFA	23
Tabel 4.4. Nilai TDS, TOP dan <i>Objective</i> pop Rele H2 OC1 pada iterasi 1	24
Tabel 4.5 Nilai TDS, TOP dan <i>Objective</i> newpop Rele H2 OC1 pada iterasi 1	24
Tabel 4.6 Nilai TDS, TOP dan <i>Objective</i> newpop Rele H2 OC1 pada iterasi 1 (Lanjutan).....	25
Tabel 4.7 Nilai TDS, TOP dan <i>Objective</i> pop Rele H2 OC1 pada iterasi 2	25
Tabel 4.8 Nilai TDS, TOP dan <i>Objective</i> pop Rele H2 OC1 pada iterasi 2 (Lanjutan)	26
Tabel 4.9. Perbandingan Metode AMFA dengan FA.	29

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem proteksi berfungsi untuk memutus arus gangguan yang terjadi secara cepat dan selektif. Tujuannya adalah agar ketika terjadi gangguan tidak sampai mengganggu kinerja sistem dan merusak peralatan yang ada. Salah satu peralatan yang digunakan adalah rele arus lebih. Rele arus lebih merasakan dan mengenali arus gangguan (hubung singkat atau beban lebih), dan mengirimkan sinyal ke *circuit breaker*. Sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik dapat mengatasi gangguan dengan cepat, tepat dan efisien sehingga dapat melokalisir gangguan tersebut agar tidak mempengaruhi daerah lain.

PT. Pupuk Sriwidjaja merupakan industri besar yang bergerak dibidang produksi pupuk dan produk agribisnis lainnya. Oleh karena itu seperti pabrik kimia lainnya, PT. Pupuk Sriwidjaja memerlukan kontinuitas pasokan daya untuk menunjang kontinuitas produksi. Karena jika terjadi gangguan yang menyebabkan terputusnya pasokan daya listrik akan menyebabkan reaksi antar bahan yang berada di reaktor menjadi berbeda, sehingga calon produk menjadi rusak dan harus dibuang. Hal tersebut akan membuat pabrik mengalami kerugian.

PT. Pupuk Sriwidjaja melakukan ekspansi dengan menambahkan beban pabrik P2B dan generator STG-1. Dalam melakukan ekspansi terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi. Pertama setiap beban harus memiliki minimal dua sumber. Kedua, karena pada pabrik lama mengalami penambahan beban dan generator-generatornya sudah tua, ketika salah satu generator mati maka akan mengganggu kestabilan sistem kelistrikan pabrik lama. Oleh karena itu pabrik lama membutuhkan suplai dari generator STG-1. Syarat-syarat tersebut mengakibatkan terbangunnya sistem *ring*, dengan sistem proteksinya menggunakan rele arus lebih. Namun terdapat permasalahan dalam menentukan *settingnya* karena tidak dapat menggunakan perhitungan *clockwise-counterclockwise* dan dalam sistem *ring* tersebut terdapat rele yang berbeda manufaktur. Oleh karena itu pada tugas akhir ini akan membahas *seting* proteksi sistem *ring* tersebut, memanfaatkan kemampuan *dual setting* dan *directional element* rele tersebut, dengan dibantu metode perhitungan *adaptive modified firefly algorithm* (AMFA)

untuk mendapatkan *time dial setting* rele yang terkoordinasi walau berbeda manufaktur.

1.2 Permasalahan

Secara khusus permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Menerapkan AMFA dalam perhitungan parameter *Time Dial Setting* rele arus lebih pada sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja.
2. Menerapkan parameter *Time Dial Setting* rele arus lebih hasil perhitungan metode AMFA pada sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Memperoleh nilai parameter *Time Dial Setting* rele arus lebih pada sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja menggunakan metode AMFA.
2. Menganalisa koordinasi proteksi pada sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja menggunakan hasil perhitungan metode AMFA.

1.4 Batasan Masalah

Tugas akhir ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Perhitungan koordinasi hanya dilakukan pada sistem *ring* 13,8kV PT. Pupuk Sriwidjaja.
2. Koordinasi proteksi hanya menggunakan rele 51 (*inverse*).
3. Perhitungan dilakukan hanya untuk mencari nilai *Time Dial Setting* (TDS).
4. Titik gangguan diasumsikan hanya terjadi pada *bus*.
5. Arus hubung singkat yang digunakan dalam perhitungan adalah arus hubung singkat 3 fasa 0,5 *cycle*.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data-data yang diperlukan mengenai sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja. Data yang diperlukan meliputi *single line diagram*, peralatan proteksi, pola operasi, data beban dan pembangkit.

2. Studi Literatur

Mempelajari literatur dari penelitian serupa atau referensi lainnya. Terutama mengenai koordinasi proteksi sistem kelistrikan *ring*, rele arus lebih, rele arah arus lebih, dan AMFA sesuai dengan permasalahan yang dihadapi.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Memodelkan sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. sesuai dengan data yang didapat. Dilanjutkan dengan melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat.

4. Perancangan AMFA

Melakukan perancangan metode perhitungan nilai *Time Dial Setting* menggunakan AMFA. Dengan data arus nominal, arus hubung singkat dan pasangan rele primer-*backup* sebagai masukan. Perancangan dan simulasi metode perhitungan AMFA dilakukan dalam *software* MATLAB R2015a.

5. Analisis Data

Menganalisis nilai *time dial setting* hasil perhitungan metode AMFA. Dengan mensimulasikannya dalam *software* ETAP 12.6.0. untuk melihat koordinasi proteksinya.

6. Penarikan Kesimpulan

Menarik kesimpulan berdasarkan analisis dari data pengujian metode perhitungan AMFA. Disertai dengan saran dan rekomendasi terhadap penelitian-penelitian mengenai koordinasi proteksi pada sistem *ring* selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

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

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi dari tugas akhir ini.

Bab 2 : Kajian Pustaka.

Bab ini membahas penelitian terkait dan dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja dan Perancangan AMFA.

Bab ini menjelaskan konfigurasi sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja, serta deskripsi perancangan program perhitungan nilai *time dial setting* rele menggunakan metode AMFA.

Bab 4 : Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas hasil simulasi arus hubung singkat pada ETAP 12.6.0. Arus hubung singkat tersebut menjadi masukan dalam perhitungan parameter *time dial setting* menggunakan metode AMFA yang dilakukan dalam *software* MATLAB R2015a. Hasil perhitungan tersebut akan dianalisis koordinasi proteksinya.

Bab 5 : Kesimpulan

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

1.7 Relevansi

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk PT. Pupuk Sriwidjaja, tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi acuan penentuan pengaturan rele arus lebih pada sistem *ring* 13,8kV.
2. Untuk bidang keilmuan sistem tenaga, tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi mengenai koordinasi proteksi khususnya metode perhitungan AMFA pada sistem *ring*.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Metode perhitungan *nature inspired algorithm* (NIA) untuk mendapatkan setting rele arus lebih dapat dilakukan. Pada [1] menggunakan *modified adaptive particle swarm optimization* (MAPSO) untuk menghitung koordinasi proteksi sistem *mesh*. Namun, *constrain* yang digunakan hanya *coordination time intervalnya* (CTI) lebih besar dari 0,2 detik dan waktu operasi rele utamanya dibawah 1 detik. Sedangkan pada [2] menggunakan *adaptive modified firefly algorithm* (AMFA) dan membandingkan performanya dengan *modified firefly algorithm* (MFA), *firefly algorithm* (FA), dan *particle swarm optimization* (PSO) dalam menghitung koordinasi proteksi pada *plant radial* dengan pembangkit tersebar. Pada penelitian tersebut AMFA memiliki performa yang lebih baik dengan lebih mencapai konvergen dan mendapatkan nilai waktu operasi rele yang lebih cepat namun terkoordinasi. Oleh karena itu pada tugas akhir ini akan memanfaatkan AMFA menghitung nilai TDS rele proteksi sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja.

2.2 Teori Dasar

2.2.1 *Adaptive Modified Firefly Algorithm*

Pada akhir tahun 2007 Xin-She Yang mengembangkan *Firefly Algorithm* (FA), yang terinspirasi dari tingkah laku dan pola cahaya kunang-kunang pada alam bebas. Pada intinya FA memiliki tiga prinsip yaitu kunang-kunang dianggap berjenis kelamin sama sehingga keteratrikan antara kunang-kunang proposional dengan intensitas cahayanya, dan intensitas tersebut akan berkurang dengan bertambahnya jarak antar kunang-kunang.[3] Jadi kunang-kunang dengan intensitas cahaya yang kurang akan bergerak mendekati kunang-kunang dengan intensitas cahaya yang lebih terang. Terakhir tingkat intensitas cahaya kunang-kunang akan ditentukan dengan *cost function*-nya. Pergerakan posisi kunang-kunang ‘i’ yang tertarik dengan kunang-kunang ‘j’ dimodelkan dalam persamaan berikut.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j^t - x_i^t) + \alpha_t \epsilon_i^t \quad (2.1)$$

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'
 ϵ_i^t = Vektor angka acak yang berasal dari distribusi *gaussian*.

Salah satu kelemahan FA adalah dalam menentukan parameter α . Parameter α memiliki 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 bereksplorasi. Bereksplorasi berarti mencari solusi dalam skala global sedangkan bereksplorasi adalah lebih fokus mencari solusi pada daerah sekitarnya. Untuk mendapatkan hasil terbaik dibutuhkan kombinasi dari keduanya [3]. Oleh karena itu kesalahan dalam menentukan nilai α akan membuat lambat dalam mencapai konvergen.

AMFA dapat mengatasi permasalahan tersebut karena AMFA melakukan penyetelan nilai α secara dinamis dalam setiap iterasi [2]. Dengan perubahan nilai α tiap iterasi akan didapatkan rasio optimal kombinasi dari eksplorasi dan eksploitasi. Perubahan nilai α dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha^{t+1} = \left(\frac{1}{2t_{maks}} \right)^{\frac{1}{t_{maks}}} \times \alpha^t \quad (2.2)$$

Keterangan

- α^t = Parameter gerak acak pada iterasi 't'
 α^{t+1} = Parameter gerak acak setelah iterasi 't'
 t = Urutan iterasi
 t_{maks} = Jumlah iterasi maksimum yang telah didefinisikan.

2.2.2 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Tujuan utama dari seluruh sistem tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas pelayanan dengan sangat tinggi dan ketika terjadi gangguan, dapat meminimalkan pemadaman secara waktu dan wilayah [4]. Sistem proteksi tenaga listrik harus didesain untuk mendeteksi gangguan yang jika tidak terdeteksi akan menyebabkan kerusakan pada peralatan atau kerugian lebih lanjut [5]. Salah satu peralatan dalam sistem proteksi adalah rele dan *circuit breaker* (CB). Rele berfungsi untuk mendeteksi gangguan dan mengirimkan sinyal *trip* pada CB untuk mengisolir titik gangguan dengan cepat, selektif dan koordinatif.

Sistem proteksi harus dapat mengisolir gangguan secara cepat sebelum arus gangguan merusak peralatan. Namun, juga harus selektif dalam penanganan gangguan tersebut sehingga hanya CB yang dekat dengan titik gangguan yang *trip*. Dalam mendesain sistem proteksi juga harus mempertimbangkan ketidakandalan dari peralatan proteksi yang terpasang. Sehingga perlu memasang sistem proteksi *backup* yang beroperasi ketika sistem proteksi utama mengalami kegagalan beroperasi. Terdapat syarat untuk sistem proteksi utama dengan *backup*nya harus terkoordinatif. Hal tersebut dapat dicapai salah satunya dengan memberikan *grading time* kurva 50/51 agar memenuhi CTI. Sehingga walau terpasang sistem primer dan *backup* tetap dapat mencapai selektivitas.

Menurut IEEE Std 242-2001 berikut merupakan nilai CTI jika dilakukan kalibrasi dilapangan [6]:

Tabel 2.1. CTI minimum antara rele utama dengan rele *backup*.

Komponen	CTI dengan <i>field testing</i>	
	<i>Electromechanical</i>	<i>Static</i>
Waktu CB membuka	0,08 deitk	0,08 deitk
<i>Overtravel</i> rele	0,10 detik	0,00 detik
Toleransi rele dan <i>error</i> seting	0,12 detik	0,12 detik
Total CTI	0,30 detik	0,20 detik

2.2.3 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Salah satu jenis gangguan pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih. Gangguan beban lebih merupakan kondisi ketika arus yang mengalir dalam sistem melebihi arus nominal yang diijinkan

secara kontinu [5]. Gangguan ini dapat menyebabkan pemanas berlebih pada peralatan listrik dan merusaknya.

Selain gangguan beban lebih, terdapat gangguan hubung singkat. Penyebab hubung singkat secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu internal dan eksternal. Penyebab hubung singkat dari internal adalah ketika adanya peralatan yang rusak, terputusnya saluran transmisi, kualitas isolator yang menurun, dan kesalahan instalasi. Sedangkan penyebab hubung singkat eksternal adalah kegagalan isolasi akibat surja petir, kerusakan mekanik oleh kelalaian manusia. Sedangkan dari jenisnya hubung singkat dibedakan menjadi 2 yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri. Yang termasuk dalam hubung singkat simetri adalah hubung singkat 3 fasa, sedangkan yang termasuk gangguan hubung singkat asimetri adalah 1 fasa ke tanah, antar fasa, dan 2 fasa ke tanah.

Dalam melakukan perhitungan arus hubung singkat membutuhkan untuk menghitung nilai impedansi (Z_1). Nilai Z_1 merupakan total impedansi yang dilalui oleh arus hubung singkat yang mengalir dari generator menuju titik gangguan. Z_1 merupakan nilai impedansi per fasa urutan positif. Berikut merupakan perhitungan praktis untuk menentukan besarnya arus hubung singkat [7].

Hubung singkat 3 fasa terjadi ketika ketiga fasa terhubung, sehingga akan mengalir arus yang sangat besar. Sebagai gangguan dengan arus hubung singkat terbesar (disebut juga hubung singkat maksimum) perhitungan hubung singkat 3 fasa sangat penting dalam menentukan kapabilitas peralatan listrik. Perhitungan hubung singkat 3 fasa dapat dilihat pada persamaan (2.3) .

$$I_{sc3\phi} = \frac{V_{LN}}{Z_1} \quad (2.3)$$

Keterangan:

V_{LN} = Tegangan fasa ke netral.

Z_1 = Impedansi urutan positif.

Hubung singkat antar fasa adalah hubung singkat yang terjadi antara dua fasa. Besar arus hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4).

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3\phi} \approx 0,866 I_{sc3\phi} \quad (2.4)$$

Keterangan:

V_{LN} = Tegangan fasa ke netral.

V_{LL} = Tegangan antar fasa.

Z_1 = Impedansi urutan positif.

Z_2 = Impedansi urutan negatif.

Hubung singkat 1 fasa ke tanah terjadi ketika salah satu fasa terhubung dengan tanah. Dalam perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah bergantung pada sistem pentanahan yang digunakan. Perhitungan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5).

$$I_{sc1\phi} = \frac{3V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_G} \quad (2.5)$$

Keterangan:

V_{LN} = Tegangan fasa ke netral.

Z_1 = Impedansi urutan positif.

Z_2 = Impedansi urutan negatif.

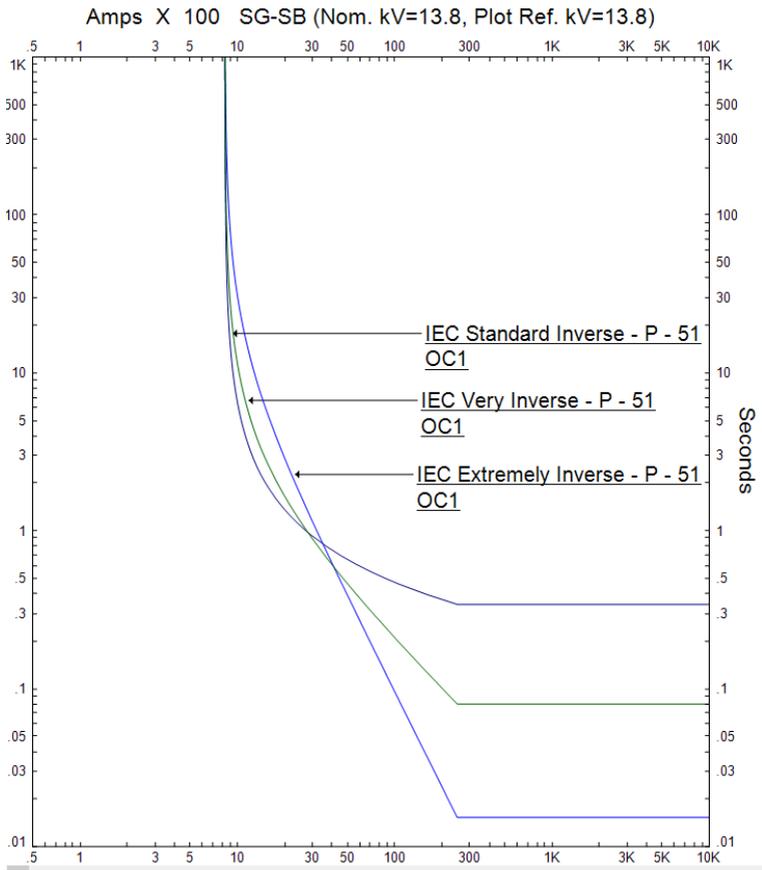
Z_0 = Impedansi urutan nol.

Z_G = Impedansi ke tanah.

2.2.4 Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Rele arus lebih merupakan rele yang berfungsi (mengirimkan sinyal *trip* pada *circuit breaker*) ketika arus yang dirasakan pada sistem melebihi nilai yang telah diseting. Karakteristik dari rele arus lebih waktu inverse adalah semakin besar nilai arus gangguan maka semakin cepat waktu operasi rele. Rele arus lebih waktu inverse memiliki beberapa macam tipe kurva inverse yang dalam pemilihannya tergantung pada pengaploksiannya dan kebutuhan koordinasi dengan peralatan lain, seperti *fuses* atau rele lain [5].

Beberapa macam tipe kurva inverse antara lain : *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Kurva *inverse* (standard IEC) dimodelkan dengan persamaan (2.6) dan yang membedakan antara tipe kurva adalah konstantan K dan α . Untuk nilai konstanta tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.\



Gambar 2.1. Tipe Kurva Inverse

$$t_{op} = \frac{k \times TDS}{\frac{I}{I_p}^\alpha - 1} \quad (2.6)$$

Keterangan

t_{op} = Waktu Rele Mendeteksi Gangguan

I = Arus Gangguan

I_p = Arus *pickup*

TDS = *Time Dial Setting*

Tabel 2.2. Konstantan Kurva *Inverse* [8].

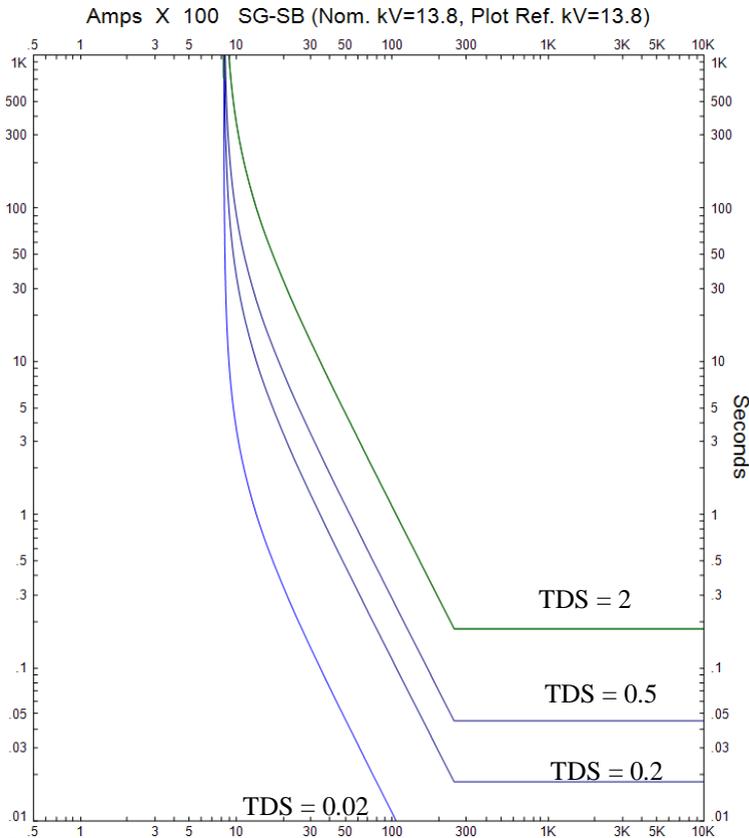
Tipe Kurva	k	α
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,5	1
<i>Extremely Inverse</i>	80	2

Selain memilih tipe kurva, rele arus lebih waktu inverse memiliki seting arus *pickup* dan *time dial setting* (TDS). Arus *pickup* pada rele arus lebih adalah nilai minimum arus yang menyebabkan rele bekerja [6]. Berdasarkan *British Standard BS 142* arus *pickup* ditentukan sebagai berikut:

$$1,05 I_{FLA} < I_p < 1,4 I_{FLA}$$

Keterangan I_{FLA} adalah arus yang mengalir pada saat beban maksimum dan I_p adalah arus *pickup*.

Sedangkan TDS menunjukkan waktu yang dibutuhkan agar rele bekerja untuk arus yang diberikan. Semakin tinggi nilai TDS maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk rele bekerja. Pengaruh nilai TDS terhadap kurva dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pengaruh Nilai TDS Terhadap Kemiringan Kurva IEC *Extremely Inverse*

2.2.5 Rele Arah Arus Lebih (*Directional Overcurrent Relay*)

Rele arah arus lebih memiliki cara seting yang sama dengan rele arah arus lebih. Yang membedakannya adalah pada rele arah arus lebih terdapat elemen arah yang dapat berupa *forward* atau *reversed*. Sehingga ketika rele diseting untuk *forward* ketika terdapat arus gangguan yang *reversed* rele tidak akan berkerja. Hal tersebut akan mempermudah untuk melakukan koordinasi proteksi pada kasus tertentu, seperti pada sistem *ring* atau *mesh*.

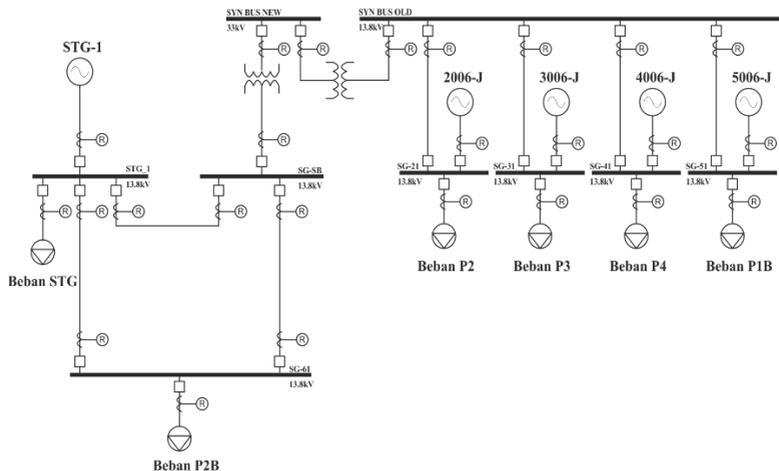
BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. PUPUK SRIWIDJAJA DAN PERANCANGAN *ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM*

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja

PT. Pupuk Sriwidjaja merupakan industri besar yang bergerak dibidang produksi pupuk dan produk agribisnis lainnya. Pada awalnya memiliki sistem distribusi kelistrikan radial pada pabrik Pusri 2, Pusri 3, Pusri 4, dan Pusri 1B. Keempat pabriknya tersebut saling terhubung dengan bus *synchronous*.

Lalu PT. Pupuk Sriwidjaja melakukan ekspansi dengan menambahkan beban pabrik P2B dan generator STG-1. Dalam melakukan ekspansi terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi. Pertama setiap beban harus memiliki minimal dua sumber. Kedua, karena pada pabrik lama mengalami penambahan beban dan generator-generatornya sudah tua, ketika salah satu generator mati maka akan mengganggu kestabilan sistem kelistrikan pabrik lama. Oleh karena itu pabrik lama membutuhkan suplai dari generator STG-1. Syarat-syarat tersebut mengakibatkan terbangunnya sistem *ring* seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja

Sehingga saat ini PT. Pupuk Sriwidjaja memiliki 5 unit generator untuk mensuplai pabrik-pabriknya. Untuk kapasitas tiap unit dapat dilihat pada Tabel 3.1. Dalam menghubungkan bus *SYN BUS OLD* 13.8kV dengan *SYN BUS NEW* 33kV digunakan transformator TR#SB-1 dan TR#SB-2. Untuk data transformator dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Kapasitas Pembangkit PT. Pupuk Sriwidjaja

No	ID	Tegangan (kV)	Kapasitas (MW)
1	STG-1	13,8	38
2	2006-J	13,8	16
3	3006-J	13,8	16
4	4006-J	13,8	16
5	5006-J	13,8	21

Tabel 3.2. Data Transformator pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja

No	ID Trafo	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)	%Z	Hubungan
1	TR#SB-1	40	33/13.8	12.5	Delta-Wye
2	TR#SB-2	40	33/13.8	12.5	Wye-Delta

3.2 Sistem Proteksi PT. Pupuk Sriwidjaja

3.2.1 Rele yang Terpasang

Pada sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja, terdapat 6 rele dengan 2 manufaktur rele arus lebih yang digunakan dapat dilihat dalam Tabel 3.3. Pada rele Eaton EDR 5000 terdapat tiga elemen rele arus lebih waktu inverse yang ketiganya memiliki *directional control*. Oleh karena itu dalam waktu bersamaan dapat mengaktifkan 3 kurva dengan pengaturan yang berbeda-beda [8]. Sedangkan untuk Schneider Electric Sepam Series 40 memiliki dua elemen yang dapat diaktifkan secara bersamaan dan memiliki *directional control* [9]. Oleh karena itu pada tugas akhir ini akan memanfaatkan kemampuan tersebut untuk melakukan dalam melakukan *setting* sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja.

Tabel 3.3. Manufaktur dan Seri Rele yang Terpasang pada Sistem Ring.

No	ID Rele	Manufaktur
1	F1	Eaton EDR 5000
2	F2	Schneider Electric Sepam Series 40
3	G1	Eaton EDR 5000
4	G2	Eaton EDR 5000
5	H1	Schneider Electric Sepam Series 40
6	H2	Eaton EDR 5000

Pada tugas akhir ini akan digunakan kurva IEC *extremely inverse* yang tersedia pada kedua manufaktur. Persamaan kurva IEC *extremely inverse* dapat dilihat pada persamaan (3.1). Namun terdapat perbedaan nilai konstanta dan parameter antara Schneider Electric Sepam Series 40 dengan Eaton EDR 5000 yang ditunjukkan pada Tabel 3.4.

$$td = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1} \times \frac{TDS}{\beta} \quad (3.1)$$

Keterangan:

- td = Waktu rele *sensing* (detik)
TDS = *Time Dial Setting*
I = Merupakan nilai arus gangguan (*ampere*)
k, α , dan β = Merupakan konstanta *inverse*.

Tabel 3.4. Konstanta dan Parameter Kurva IEC *Extremely Inverse*.

Manufaktur Rele	Konstanta			Parameter			
	K	α	β	TDSmin	TDSmax	TDSstep	TAPstep
Eaton EDR 5000	80	2	1	0,02	2	0,01	0,01

Tabel 3.5. Konstanta dan Parameter Kurva IEC *Extremely Inverse*.
(Lanjutan)

Manufaktur Rele	Konstanta			Parameter			
	K	α	β	TDS min	TDS max	TDS step	TAP step
Schneider Electric Sepam Series 40	8 0	2	0,80 8	0,1	12,5	0,01	0,1

3.2.2 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup*

Dibutuhkan peralatan proteksi *backup* yang akan bekerja jika peralatan proteksi utama gagal bekerja. Hal ini untuk meminimalkan kerusakan pada sistem kelistrikan. Pasangan rele utama dan rele *backup* ditentukan dari arah arus yang mengalir pada sistem ketika terjadi gangguan hubung singkat. Dapat dilihat pada Tabel 3.6 pasangan rele utama dengan rele *backup*nya.

Tabel 3.6. Pasangan Rele Utama dengan Rele *Backup*nya

No	ID Rele Utama	ID Rele <i>Backup</i>
1	H2 OC1	H1 OC2
2	G2 OC1	G1 OC2
3	G1 OC1	G2 OC2
4	F1 OC1	F2 OC2
5	F2 OC1	F1 OC2
6	H1 OC1	H2 OC2

Namun, untuk rele F2 OC1 dan rele H1 OC1 tidak boleh memberikan sinyal *trip* pada saat 0,1 detik. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari pemadaman pada beban-beban yang terhubung dengan bus SG-61. Karena jika terjadi hubung singkat pada salah satu beban, rele F2 OC1 dan rele H1 OC1 akan *trip* tanpa memberikan rele utama beban untuk *trip* terlebih dahulu. Sehingga dalam perhitungan, akan mempertimbangkan CTI dengan rele 1.

3.3 Koordinasi Proteksi Menggunakan *Adaptive Modified Firefly Algorithm*

Pada perhitungan nilai TDS sistem proteksi *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja, digunakan metode AMFA. Dalam penyusunan algoritma AMFA untuk koordinasi proteksi mengacu pada diagram alur yang tertera pada Gambar 3.2. Berikut penjelasan dari diagram alur AMFA untuk perhitungan koordinasi proteksi sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja.

1. Mendefinisikan Permasalahan

Pada langkah ini didefinisikan permasalahan yang akan diselesaikan oleh AMFA, dalam koordinasi proteksi diinginkan 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 (3.2) dan (3.3) 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 AMFA, 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 12.6.0.

Minimize :

$$objective\ function = t_{op-i} + R \times \{max(0, 0.1 - t_{op-i})\}^2 \quad (3.2)$$

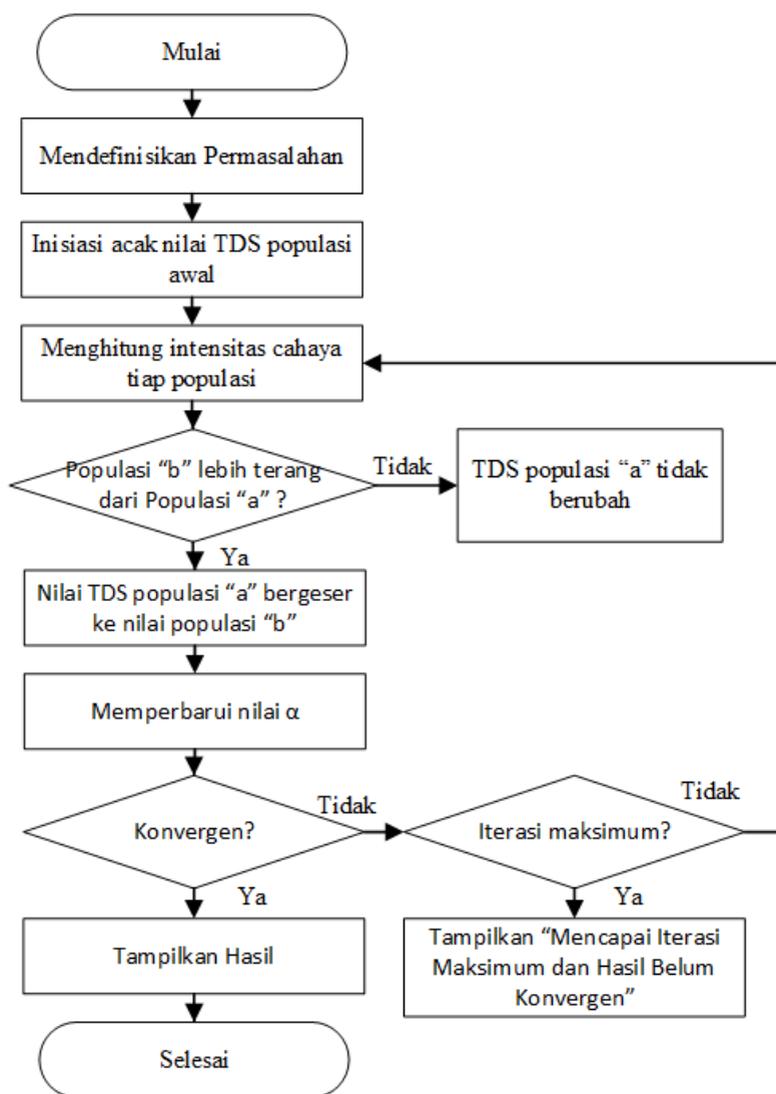
$$objective\ function = t_{op-i} + R \times \{max(0, CTI + t_{op-i} - t_{bop-1})\}^2 \quad (3.3)$$

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 6 rele.
3. Menghitung Intensitas Cahaya tiap Populasi
Dalam tugas akhir ini intensitas cahaya melambangkan nilai *cost function* pada persamaan (3.2) dan (3.3). Semakin kecil *objectivenya* 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 (2.1). Setelah semua kunang-kunang sudah bergeser, maka program akan memperbarui nilai α berdasarkan persamaan (2.2). Jika belum mencapai iterasi maksimum maka, program akan kembali lagi ke langkah ketiga.
5. Menampilkan Hasil
Setelah mencapai iterasi maksimum, maka program akan menampilkan hasil perhitungannya. Hasil yang ditampilkan merupakan nilai tap dan TDS terbaik tiap rele, dan waktu operasi rele utama dengan rele *backupnya*. Beserta plot TCC kurva.



Gambar 3.2. Diagram Alur Perhitungan TDS dengan AMFA

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas perhitungan, simulasi dan analisis koordinasi proteksi pada sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja. Dilakukan pemodelan sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dengan memperhatikan data-data peralatan seperti data generator, beban, transformator, kabel dan bus. Dengan perangkat lunak tersebut dilakukan simulasi arus hubung singkat. Nilai arus hubung singkat tersebut beserta arus nominal dan pasangan rele primer-*backup* akan menjadi masukan kepada program perhitungan metode *adaptive modified firefly algorithm* (AMFA) yang dijalankan dalam perangkat lunak MATLAB R2015a. Hasil metode AMFA merupakan nilai *time dial setting* (TDS) setiap rele, yang akan disimulasikan koordinasi proteksinya pada perangkat lunak ETAP 12.6.0.

4.1 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Pada tugas akhir ini akan menggunakan rele arus lebih waktu *inverse* (rele 51) untuk memproteksi sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja. Oleh karena itu membutuhkan analisis arus gangguan hubung singkat maksimum (3 fasa) saat 0,5 *cycle*. Pengambilan nilai arus hubung singkat tersebut menggunakan simulai pada perangkat lunak ETAP 12.6.0. Data hasil simulasi tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4.1

Tabel 4.1. Arus Hubung Singkat Maksimum 0,5 *Cycle*

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Arus (kA)
1	STG-1	13,8	23,79
2	SG-SB	13,8	23,06
3	SG-61	13,8	23,25

Untuk melakukan perhitungan TDS rele menggunakan metode AMFA dibutuhkan nilai arus yang mengalir melewati setiap rele pada saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum 0,5 *cycle*. Selain nilai arus hubung singkat juga dibutuhkan pasangan rele primer dan rele *backup*-nya. Data tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2. Arus Hubung Singkat pada Setiap Rele

Titik Hubung Singkat	Rele Primer	Elemen Rele	Arus (kA)	Rele Backup	Elemen Rele	Arus (kA)
BUS STG-1	H2	OC1-51 <i>Forward</i>	5,03	H1	OC2-51 <i>Forward</i>	5,03
	G2	OC1-51 <i>Reverse</i>	3,68	G1	OC2-51 <i>Reverse</i>	3,68
BUS SG-SB	G1	OC1-51	8,72	G2	OC2-51	8,72
	F1	OC1-51 <i>Reverse</i>	9,65	F2	OC2-51	9,65
BUS SG-61	F2	OC1-51 <i>Forward</i>	7,77	F1	OC2-51 <i>Forward</i>	7,77
	H1	OC1-51	11,72	H2	OC2-51	11,72

4.2 Perhitungan Nilai *Time Dial Setting* Rele Menggunakan

Metode Adaptive Modified Firefly Algorithm

Dalam melakukan perhitungan TDS menggunakan AMFA, perlu ditentukan parameter terlebih dahulu. Berikut nilai parameter tersebut:

MaxIt	= 15
nPop	= 15
R	= 100000
Gamma	= 1
Beta0	= 2
Alpha	= 0.9

Keterangan:

MaxIt	= Iterasi maximum program
nPop	= Jumlah populasi <i>firefly</i>
R	= Bobot fungsi pinalti
Gamma	= Koefisien penyerapan cahaya
Beta0	= Koefisien daya tarik <i>firefly</i> saat jarak antar <i>firefly</i> nol
Alpha	= Koefisien gerak acak <i>firefly</i>

Setelah menentukan nilai parameter memasukan *input* program seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.3. *Input* Program AMFA

Parameter	H2	G2	G1	F1	F2	H1
Arus nominal (A)	783	783	783	783	783	783
Iscmax_primer (A)	5030	3680	8720	9650	7770	11720
Iscmax_backup (A)	4930	9550	11720	8690	7770	3640
Kode Manufaktur	2	2	1	1	1	1

Untuk kode manufaktur memasukan sesuai tabel Tabel 3.4. Dengan kode manufaktur 1 adalah EATON EDR-5000 dan kode manufaktur 2 adalah Schneider Electric Sepam 40. Dan target CTI 0,2 detik.

Pada awal program akan membangkitkan nilai TDS kunang-kunang secara *random* untuk rele H2 OC1 dapat dilihat pada Tabel 4.4. Lalu berdasarkan nilai TDS tersebut dapat diketahui waktu *trip* (TOP) dan *objectivenya*. Karena rele H2 OC1 merupakan rele utama maka hanya akan terkena nilai pinalti jika waktu *tripnya* dibawah dari 0.1 detik. Untuk rele *backup* maka akan mendapatkan nilai pinalti jika CTI dengan rele utamanya kurang dari 0.2 detik. Program ini akan melakukan perhitungan secara serial, dimulai dengan rele utamannya H2 OC1, dilanjutkan dengan menghitung TDS rele *backupnya*. Lalu program akan melakukan hal yang sama untuk pasangan rele yang lainnya.

Tabel 4.4. Nilai TDS, TOP dan *Objective* pop Rele H2 OC1 pada iterasi 1

pop	TDS	TOP	<i>Objective</i>
1	6.46	14.83	14.83
2	5.4	12.39	12.39
3	1.35	3.10	3.10
4	1.54	3.53	3.53
5	2.38	5.46	5.46
6	1.92	4.41	4.41
7	5.88	13.50	13.50
8	5.73	13.15	13.15
9	6.8	15.61	15.61
10	4.45	10.21	10.21
11	4.61	10.58	10.58
12	2.85	6.54	6.54
13	2.02	4.64	4.64
14	5.78	13.27	13.27
15	3.45	7.92	7.92

Selanjutnya kunang-kunang akan mencari populasi dengan *objective* terkecil yaitu merupakan populasi 3. Lalu seluruh kunang-kunang akan mengubah nilai TDSnya mendekati nilai TDS populasi 3 sesuai persamaan (2.1). Pada Tabel 4.5 terlihat hasil pergeseran nilai TDS tiap populasi. Untuk *newpop* populasi 3 bernilai 'inf' karena populasi 3 yang memiliki nilai *objective* terbaik pada iterasi ini tidak bergeser.

Tabel 4.5 Nilai TDS, TOP dan *Objective* newpop Rele H2 OC1 pada iterasi 1

newpop	TDS	TOP	<i>objective</i>
1	2	4.59	4.59
2	2	4.59	4.59
3	Inf	Inf	Inf
4	1.3	2.98	2.98

Tabel 4.6 Nilai TDS, TOP dan *Objective* newpop Rele H2 OC1 pada iterasi 1 (Lanjutan)

newpop	TDS	TOP	<i>objective</i>
5	0.92	2.11	2.11
6	1.28	2.94	2.94
7	2	4.59	4.59
8	2	4.59	4.59
9	2	4.59	4.59
10	2	4.59	4.59
11	2	4.59	4.59
12	1.35	3.10	3.10
13	1.42	3.26	3.26
14	2	4.59	4.59
15	2	4.59	4.59

Untuk iterasi selanjutnya 15 nilai TDS terbaik dari *pop* Tabel 4.4 dan *newpop* Tabel 4.5. Untuk nilai TDS pada iterasi 2 dapat dilihat pada Tabel 4.7. Dengan cara yang sama hingga iterasi maksimum dan pada setiap rele maka akan didapat hasil sebagai berikut.

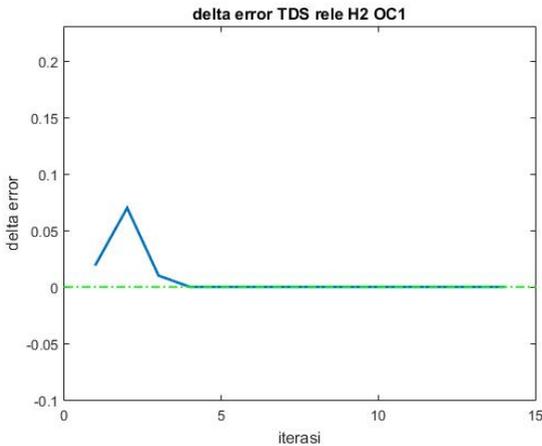
Tabel 4.7 Nilai TDS, TOP dan *Objective* pop Rele H2 OC1 pada iterasi 2

populasi	TDS	TOP	<i>objective</i>
1	0.92	2.11	2.11
2	1.28	2.94	2.94
3	1.3	2.98	2.98
4	1.35	3.10	3.10
5	1.35	3.10	3.10
6	1.42	3.26	3.26
7	1.54	3.53	3.53
8	1.92	4.41	4.41

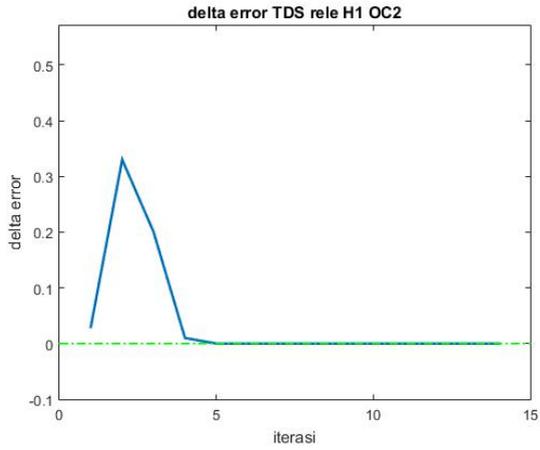
Tabel 4.8 Nilai TDS, TOP dan *Objective* pop Rele H2 OC1 pada iterasi 2 (Lanjutan)

populasi	TDS	TOP	<i>objective</i>
9	2	4.59	4.59
10	2	4.59	4.59
11	2	4.59	4.59
12	2	4.59	4.59
13	2	4.59	4.59
14	2	4.59	4.59
15	2	4.59	4.59

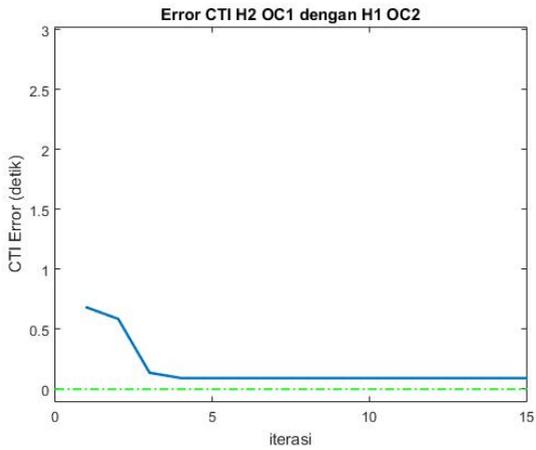
Untuk proses konvergensi perhitungan AMFA dapat dilihat berdasarkan plot dari, pertama nilai *error* CTI yaitu perbedaan antara target CTI dengan waktu *trip* rele *backup* dikurangi dengan waktu *trip* rele utamanya. Kedua delta *error* TDS tiap rele, yaitu selisih antara TDS saat ini dengan TDS iterasi sebelumnya. Jika nilai *error* CTI sudah tidak berubah dan nilai delta *error* TDS nol, maka perhitungan sudah konvergen. Berikut merupakan plot *error* CTI dan dan delta *error* TDS.



Gambar 4.1. Delta *error* TDS rele H2 OC1

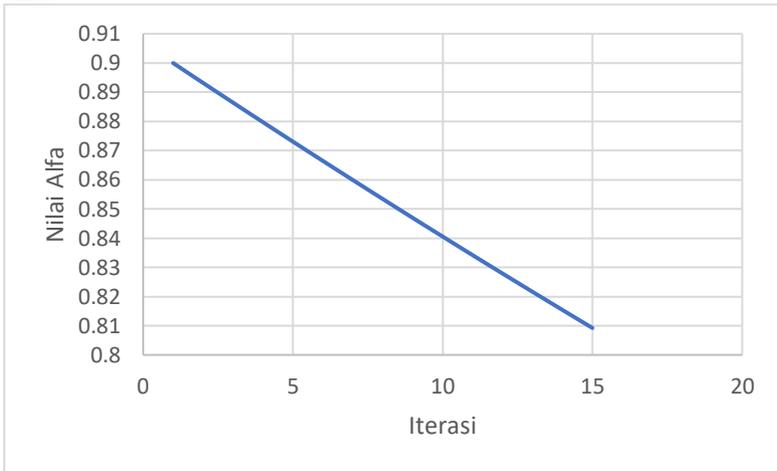


Gambar 4.2. Delta error TDS rele H1 OC2



Gambar 4.3. Error CTI H2 OC1 dengan H1 OC2

Terlihat pada gambar diatas, perhitungan pasangan rele telah mencapai konvergen sebelum iterasi ke-10. Dalam perhitungan AMFA nilai alfa berubah setiap iterasi, berikut merupakan grafik perubahan nilai alfa.



Gambar 4.4. Grafik Perubahan nilai Alfa terhadap Iterasi.

Berikut merupakan rangkuman nilai TAP dan TDS tiap rele yang dapat dilihat pada gambar dibawah:

Rele Utama				Rele Backup			
ID Relay	TAP	TDS	TOP	ID Relay	TAP	TDS	TOP
H2 OC1	0.42	0.05	0.1148	H1 OC2	0.50	0.10	0.4074
G2 OC1	0.42	0.03	0.1319	G1 OC2	0.42	0.08	0.3518
G1 OC1	0.42	0.14	0.1049	G2 OC2	0.42	0.41	0.3072
F1 OC1	0.42	0.17	0.1038	F2 OC2	0.50	0.29	0.3117
F2 OC1	0.50	0.18	0.3002	F1 OC2	0.42	0.32	0.3027
H1 OC1	0.50	0.42	0.3050	H2 OC2	0.42	0.73	0.3015

Gambar 4.5. Output Setting Rele Hasil Perhitungan AMFA.

Dengan perubahan nilai alfa seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4. metode perhitungan AMFA dapat mencapai konvergensi lebih cepat dibandingkan dengan perhitungan FA yang nilai alfa tetap. Terlihat pada Tabel 4.9 metode FA memiliki hasil yang tidak jauh berbeda

dengan metode AMFA, kecuali pada pasangan rele G1-OC1 dengan G2-OC2 karena CTI yang didapatkan lebih kecil dari 0.2 detik sehingga tidak terkoordinasi untuk pasangan ini.

Selain itu dalam perhitungannya metode FA rata-rata membutuhkan 31.33 iterasi untuk konvergen. Sedangkan dengan metode AMFA hanya membutuhkan reata-rata 17.16 iterasi untuk konvergen. Sehingga metode AMFA dalam perhitungan kasus ini dapat menghemat waktu perhitungan.

Tabel 4.9. Perbandingan Metode AMFA dengan FA.

ID Rele	TDS		Waktu operasi		Iterasi	
	AMFA	FA	AMFA	FA	AMFA	FA
H2 OC1	0.05	0.05	0.1148	0.1148	11	21
G2 OC1	0.03	0.03	0.1319	0.1319	9	9
G1 OC1	0.14	0.14	0.1049	0.1049	9	10
F1 OC1	0.17	0.17	0.1038	0.1038	11	38
F2 OC1	0.18	0.18	0.3002	0.3002	40	74
H1 OC1	0.42	0.42	0.305	0.305	41	40
H1 OC2	0.1	0.1	0.4074	0.4074	7	13
G1 OC2	0.08	0.08	0.3518	0.3518	7	9
G2 OC2	0.41	0.4	0.3072	0.2997	9	10
F2 OC2	0.29	0.28	0.3117	0.3009	9	38
F1 OC2	0.32	0.32	0.3027	0.3027	25	74
H2 OC2	0.73	0.73	0.3015	0.3015	28	40
Rata-rata					17.16	31.33

4.3 Analisis Koordinasi Proteksi Menggunakan Hasil Perhitungan

Adaptive Modified Firefly Algorithm

Untuk analisis koordinasi proteksi hasil perhitungan AMFA akan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. dengan plot kurva TCC akan membutuhkan koordinasi proteksi antar rele dan dapat melihat CTInya. Berikut merupakan plot berdasarkan titik gangguannya.

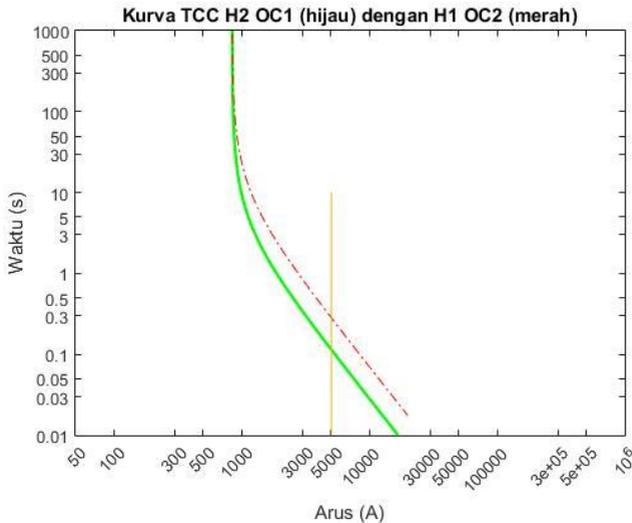
Gangguan Pada Bus STG-1

Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.24 terdapat plot kurva TCC rele menggunakan MATLAB R2015a. Kurva berwarna hijau merupakan rele utama dan kurva merah bergaris putus-putus merupakan kurva rele

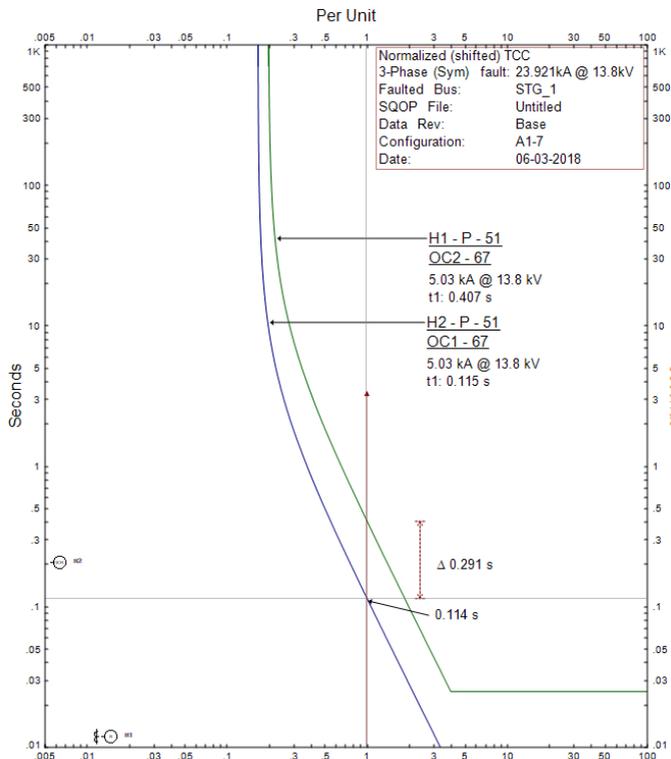
backup. Garis berwarna orange merupakan arus gangguan pada Bus STG-1.

Untuk mempermudah analisis dilakukan plot kurva TCC *normalized* yang terlihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.25. Ketika terjadi gangguan pada bus STG_1 rele H2-OC1 akan menjadi rele primernya yang trip pada waktu 0.115 detik sedangkan rele H1-OC2 sebagai rele *backup* nya *trip* pada detik ke 0.407 detik. Maka, terdapat *error* CTI sebesar 0.092 detik. Hal tersebut dikarenakan oleh keterbatasan spesifikasi rele, nilai TDS rele H1-OC2 sudah mencapai nilai TDS minimalnya.

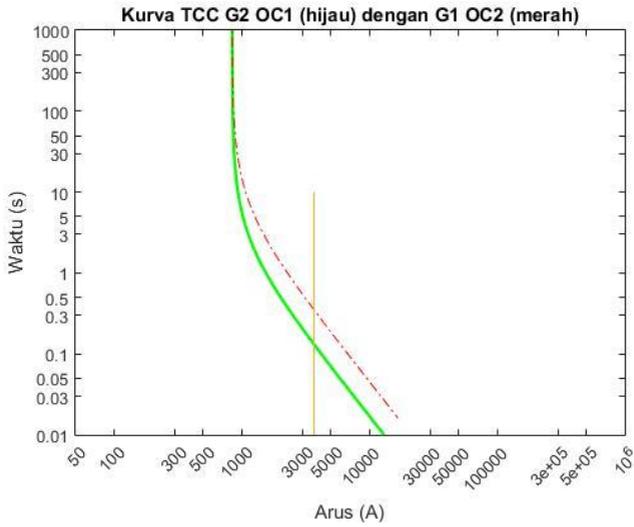
Selain pasangan rele H2-H1 untuk titik gangguan yang sama rele G2-OC1 menjadi rele primer dengan waktu operasi 0.132 detik dan rele G1-OC2 menjadi baktupnya dengan waktu operasi 0.352 detik. Kedua pasangan rele tersebut terkoordinasi karena memenuhi *constraint* rele utama *trip* >0,1 detik dan CTI >0,2 detik.



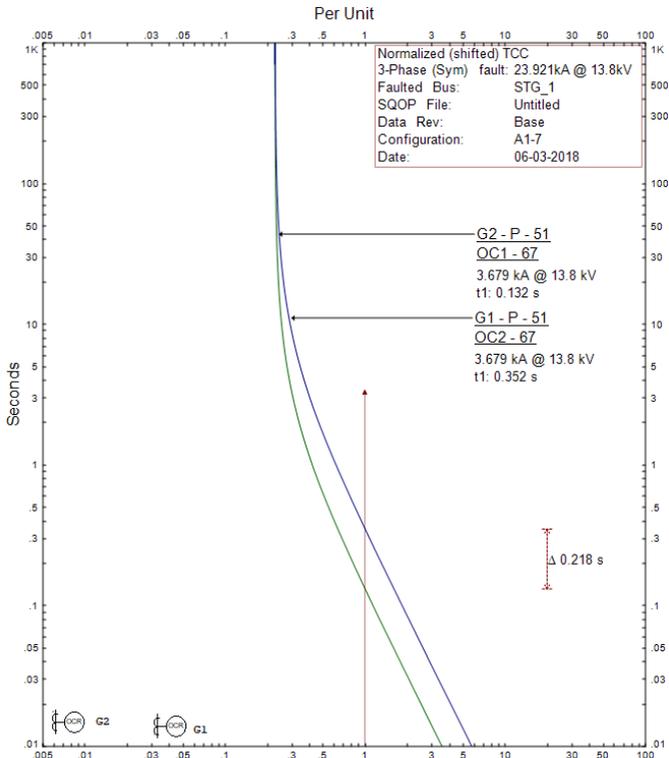
Gambar 4.6. Kurva TCC rele H2 OC1 dengan H1 OC2



Gambar 4.7 Kurva TCC rele H2 OC1 dengan H1 OC2 (*Normalized*)



Gambar 4.8. Kurva TCC rele G2 OC1 dengan G1 OC2

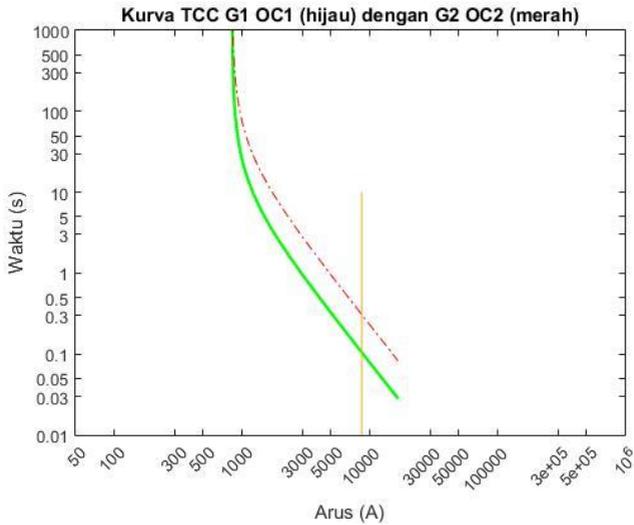


Gambar 4.9. Kurva TCC rele G2 OC1 dengan G1 OC2 (*Normalized*)

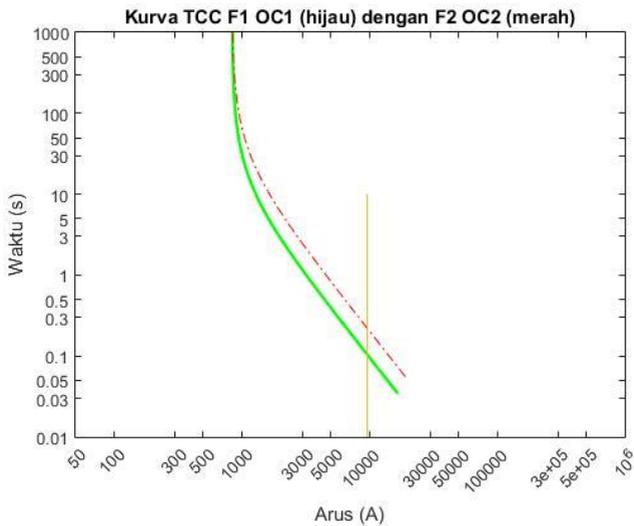
Gangguan Pada Bus SG-SB

Pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.12 terdapat plot kurva TCC rele menggunakan MATLAB R2015a. Kurva berwarna hijau merupakan rele utama dan kurva merah bergaris putus-putus merupakan kurva rele *backup*. Garis berwarna orange merupakan arus gangguan pada Bus SG-SB.

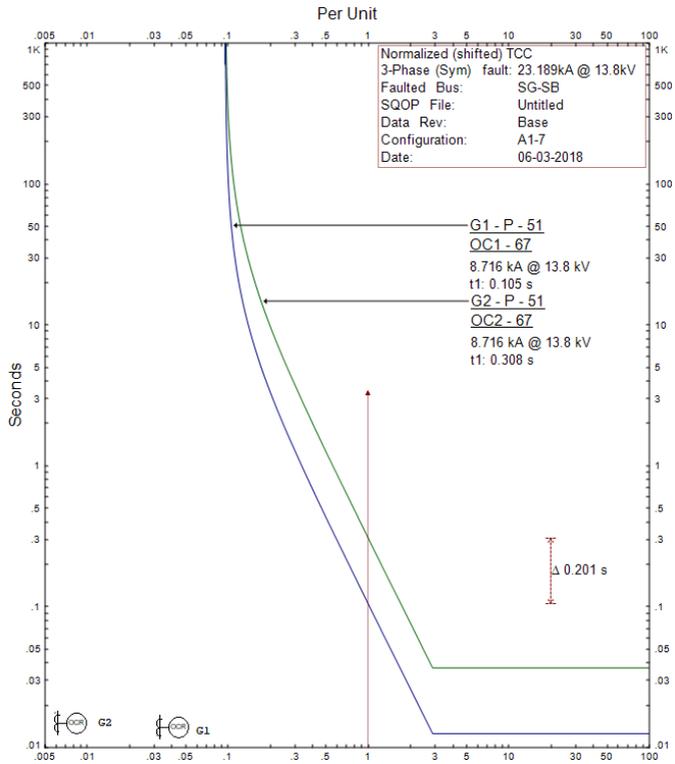
Untuk mempermudah analisis dilakukan plot kurva TCC *normalized* yang terlihat pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.13. Pasangan rele ini terkoordinasi karena memenuhi *constraint* rele utama *trip* >0,1 detik dan CTI >0,2 detik.



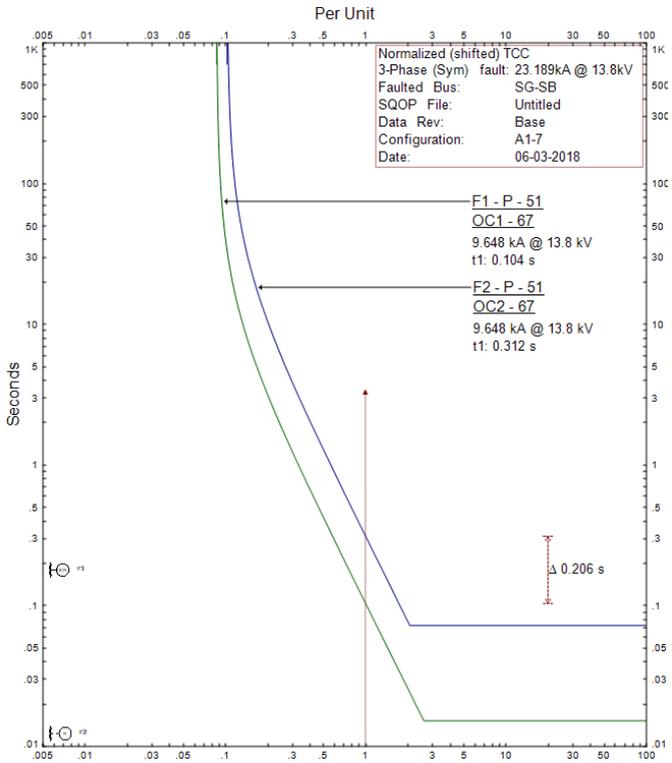
Gambar 4.10. Kurva TCC rele G1 OC1 dengan G2 OC2



Gambar 4.11. Kurva TCC rele F1 OC1 dengan F2 OC2



Gambar 4.12. Kurva TCC rele G1 OC1 dengan G2 OC2 (Normalized)

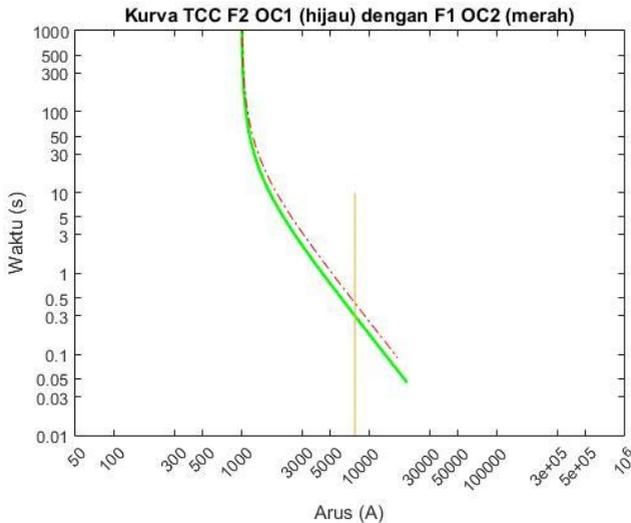


Gambar 4.13. Kurva TCC rele F1 OC1 dengan F2 OC2 (Normalized)

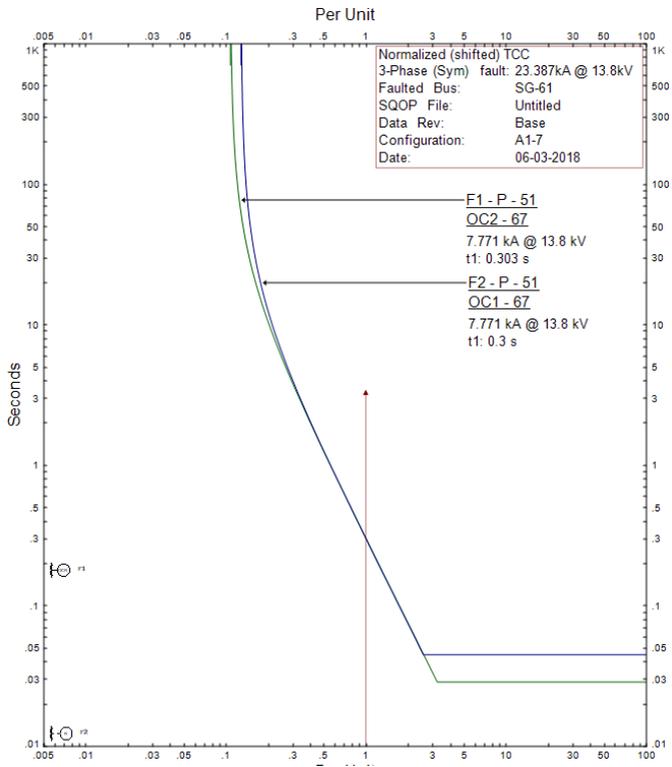
Gangguan Pada Bus SG-61

Pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.16 terdapat plot kurva TCC rele menggunakan MATLAB R2015a. Kurva berwarna hijau merupakan rele utama dan kurva merah bergaris putus-putus merupakan kurva rele *backup*. Garis berwarna orange merupakan arus gangguan pada Bus SG-SB.

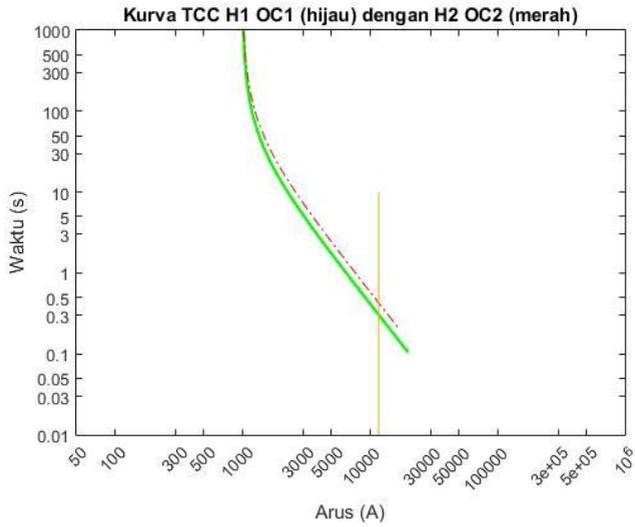
Untuk mempermudah analisis dilakukan plot kurva TCC *normalized* yang terlihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.33. Keempat rele ini tidak boleh *trip* dibawah 0,3 detik karena harus mempertimbangkan Rele 1. Jika rele F2 OC1 dan H1 OC1 *trip* pada 0,1 detik maka ketika terjadi gangguan pada salah satu beban di pabrik P2B akan membuat pemadaman pada seluruh pabrik P2B, hal tersebut tidak sesuai prinsip selektivitas koordinasi proteksi. Oleh karena itu *setting* keempat rele sudah terkoordinasi karena *trip* > 0,3 detik.



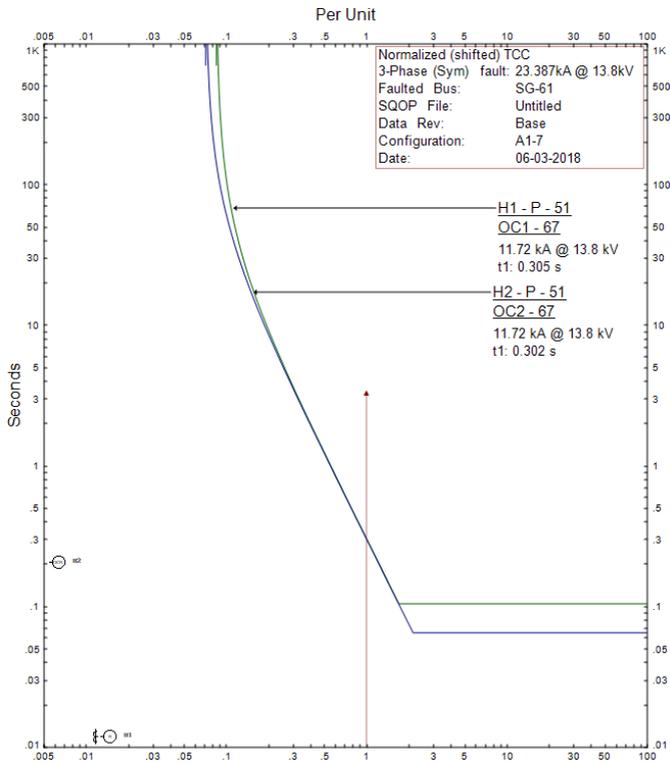
Gambar 4.14. Kurva TCC rele F2 OC1 dengan F1 OC2



Gambar 4.15. Kurva TCC rele F2 OC1 dengan F1 OC2 (Normalized)



Gambar 4.16. Kurva TCC rele H1 OC1 dengan H2 OC2



Gambar 4.17. Kurva TCC rele H1 OC1 dengan H2 OC2 (Normalized)

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada koordinasi proteksi sistem *ring* PT. Pupuk Sriwidjaja menggunakan *dual setting* dan *directional element* dengan bantuan AMFA untuk mendapatkan nilai TDSnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan jumlah populasi 15 perhitungan AMFA untuk *plant* ini rata-rata sudah konvergen pada iterasi ke-17.16.
2. CTI hasil perhitungan AMFA sudah mendekati target dengan *error* terbesarnya 0.0927 detik pada pasangan rele H2 OC1 dengan H1 OC2.

5.2 Saran

Dari hasil analisis serta kesimpulan yang dilakukan pada tugas akhir ini, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan jika terjadi hubung singkat pada kabel.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan perhitungan AMFA pada *plant ring* yang dapat menggunakan skema proteksi *clockwise-counterclockwise*.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan AMFA atau NIA lainnya, dengan *machine learning* untuk menentukan pasangan rele utama dan *backupnya*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] A. Tjahjono *et al.*, “Adaptive modified firefly algorithm for optimal coordination of overcurrent relays,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 11, no. 10, pp. 2575–2585, 2017.
- [3] X. S. Yang and X. He, “Firefly algorithm: recent advances and applications,” *Int. J. Swarm Intell.*, vol. 1, no. 1, p. 36, 2013.
- [4] J. L. Blackburn and T. J. Domin, *Protective Relaying Principles and Applications*, Third Edit. CRC Press Taylor & Francis Group, 2006.
- [5] J. Anderson, P. Anderson, and M. Eden, *Power System Protection*. 1999.
- [6] I. Std, I. Industry, A. Society, and I. S. Board, *IEEE Recommended Practice for Protection and Co-ordination of Industrial and Commercial Power Systems*, vol. 3, no. 2. 1989.
- [7] B. de Metz-Noblat, F. Dumas, and C. Poulain, “Calculation of short-circuit currents, Cahier technique no. 158,” *Tech. Schneider Electr.*, no. 158, p. 35, 2005.
- [8] Eaton, “EDR-5000 EATON DISTRIBUTION RELAY: Instruction Manual for Installing, Operating, and Maintaining the EDR-5000.” 2010.
- [9] S. Electric, “Sepam series 40.” 2007.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Rizqi Putra Muhammad lahir pada tanggal 7 Maret 1996 di Malang. Penulis merupakan lulusan SDI Dian Didaktika Depok, SMPN 41 Jakarta, dan SMAN 34 Jakarta. Lalu penulis melanjutkan studinya pada tahun 2014 di Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama perkuliahan penulis mengikuti berbagai kegiatan. Penulis pernah aktif pada tim Kontes Robot Abu Indonesia pada tahun 2015 dan 2016 sebagai divisi mekanik. Aktif pada kepanitiaan Electra V, Baronas 2017, dan *technical team* pada Indonesia *Chem E-Car Competition* Selain itu penulis juga mengikuti LKMM Pra TD XII dan LKMM TD. XXXI Pada tahun terakhir penulis memfokuskan diri menjadi asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Penulis dapat dihubungi melalui : rizqiputra13@gmail.com