

Optimasi *Time Dial Setting* & Pemilihan Bentuk Kurva TCC Relay Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap dengan Metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*

¹ Kiki Fajriati, ² Margo Pujiantara, ³ Ni Ketut Aryani

^{1,2,3} Teknik Elektro/Sistem Tenaga, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
¹kikif180@gmail.com, ²margo@ee.its.ac.id, ³ketut.aryani@gmail.com

Abstrak — PT. Pertamina RU IV Cilacap Bersama PLN melakukan integrasi terhadap sistem kelistrikan. Integrasi yang telah dilakukan berupa pemindahan beban-beban non *esensial* dari eksisting ke feeder PLN untuk disuplai langsung oleh sumber PLN. Sistem ini merupakan sistem tahap 1 yang dilakukan Pertamina Bersama PLN guna meningkatkan keandalan sistemnya. Sistem proteksi yang baik harus bisa dengan cepat meminimalisir gangguan yang terjadi sehingga hal-hal yang tidak diinginkan seperti terhentinya sistem produksi listrik, dan kerusakan alat dapat dihindari. Dalam koordinasi proteksi, hal utama yang perlu diperhatikan untuk peningkatan kualitas relay pengamannya yakni penentuan parameter dari *Time Dial Setting* (TDS).

Pada relay arus lebih inverse (51), penentuan parameter TDS dalam praktiknya seringkali operator mengalami kesulitan menemukan setting yang tepat. Oleh karena itu, untuk memudahkan serta mempersingkat waktu perhitungan *setting* relay arus lebih *inverse* pada penelitian ini dilakukan perhitungan TDS dengan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*. Hasil penelitian ini yakni memperoleh setting TDS yang tepat dengan waktu operasi dan CTI yang minimum serta pemilihan kurva TCC guna mengetahui bahwa koordinasi proteksi sudah tepat.

Kata Kunci: — *koordinasi proteksi, time dial setting, adaptive modified firefly algorithm*

Abstract — *Based on Government Regulation, PT. Pertamina RU IV Cilacap together with PLN integrated its electricity system. Integration that has been carried out is transferring non-essential loads from existing into PLN feeders to be supplied directly by PLN Sources. This system is phase 1 system carried out by Pertamina along with PLN to improve their system reliability. A good coordination protection system must be able to quickly isolate an interruption that occurs in system so that unwanted things such as cessation of electricity production system, severe equipment damage, even a blackout can be avoided. The important thing that needs to be considered in coordination protection of power system is to improve the performance of relay by determining relay setting parameters itself which is Time Dial Setting (TDS).*

In the practice, frequently operators have difficulty in finding the right setting of TDS relay (51). To simplify and shorten the calculation time of inverse Overcurrent Relay settings, in this final project writer make a program to calculate TDS with Adaptive Modified Firefly Algorithm Method. The result of this final project is

to obtain the right setting of TDS with minimum time operation, CTI, and TCC curve selection as well to ensure the coordination protection is correct.

Keywords — *coordination protection, overcurrent relay, time dial setting, time current characteristic, adaptive modified firefly algorithm.*

I. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan suatu industri dituntut bekerja secara optimal guna tetap menghasilkan produk yang baik. Untuk menjaga kontinuitas tenaga listriknya, perlu sistem proteksi yang handal dan baik agar dapat mengamankan dan meminimalisir gangguan dengan cepat sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada peralatan maupun mengganggu kinerja sistem hingga terhentinya pasokan daya. Dalam hal ini, selain diperlukannya peralatan yang handal untuk menunjang sistem proteksi ini, pemilihan parameter proteksi yang tepat pada sistem proteksi kelistrikan suatu industri juga sangat diperlukan. Dari parameter tersebut, beban yang mengalami gangguan dapat dengan akurat diproteksi sehingga tidak mempengaruhi daerah (zona) lain.

Proteksi pada suatu sistem tenaga listrik didesain untuk melindungi dan mengisolasi gangguan dengan cepat untuk mencegah hilangnya produksi listrik dalam jumlah besar [1]. Selain itu, proteksi diperlukan untuk mencegah konsekuensi-konsekuensi yang terjadi akibat gangguan seperti hilangnya sinkronisme generator dari sistemnya, menimbulkan resiko yang berdampak terhadap *plant* (kerusakan), dan membahayakan manusia [2]. Beberapa aspek [3] yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan relay proteksi antara lain *Reability* (kehandalan sistem proteksi saat beroperasi), *Selectivity* (koordinasi proteksi yang tepat), *Speed of Operation* (durasi gangguan minimum dan akibat kerusakan peralatan dan ketidakstabilan sistem), *Simplicity* (desain yang simpel), dan *Economics* (Ekonomis).

Salah satu peralatan proteksi yang sering digunakan yaitu relay arus lebih. Relay arus lebih bekerja dengan kepekaannya

terhadap arus yang mengalir melalui trafo arus (*current trafo*) yang kemudian memberikan perintah kepada *circuit breaker* untuk bekerja melindungi sistem dari kemungkinan gangguan hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*overload*). Kinerja relay yang baik ialah ketika ada gangguan di suatu area, relay primer bekerja mengisolasi area tersebut. Ketika relay salah beroperasi dalam mengisolasi area yang mengalami gangguan, dapat disebabkan [3] karena kesalahan setting relay, kesalahan pemasangan relay, *human error*, dan kegagalan pada peralatan seperti breaker, CT (Current Trafo), VT (Voltage Trafo), *wiring*, dll. Parameter yang harus diperhatikan pada relay arus lebih yaitu berupa arus *pickup* (*I_p*), TDS (*Time Dial Setting*), serta bentuk kurva *Time-Current Characteristic*.

Nilai TDS biasanya ditentukan melalui perhitungan manual untuk memperoleh TDS yang tepat agar didapatkan waktu operasi yang optimal. Namun, para teknisi sering menemukan kesulitan dalam mendapatkan TDS yang tepat. Para teknisi umumnya melakukan metode *trial and error* atau dalam memperoleh nilai TDS agar waktu operasi antar relay koordinasinya sesuai dengan CTI yang diinginkan. Hal ini dirasa tidak praktis sehingga membutuhkan waktu yang lama dalam menyelesaikan pekerjaannya. Oleh karena itu, untuk memudahkan melakukan setting relay dan memperoleh setting yang tepat serta menghemat waktu pengerjaan, digunakan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*.

Kondisi eksisting sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU IV Cilacap, telah dilakukannya integrasi antara PLN dan Pertamina dengan memindahkan beban-beban non *esensial* dari eksisting ke feeder PLN untuk disuplai langsung oleh sumber PLN. Sistem ini merupakan sistem tahap 1 yang dilakukan PLN bersama Pertamina guna meningkatkan keandalan sistemnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan optimasi TDS pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap yang terintegrasi dengan sistem PLN. Penggunaan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada penelitian ini ditujukan untuk memperoleh nilai TDS yang optimum serta penggunaan algoritma mempermudah dan mempersingkat waktu pengerjaan relay arus lebih inverse pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap yang terintegrasi dengan PLN. Diharapkan penelitian ini dapat membantu PT. Pertamina RU IV Cilacap lebih mudah dan optimal dalam penentuan setting parameter relay arus lebih *inverse*.

I. KOORDINASI PROTEKSI DAN *FIREFLY* ALGORITHM

A. Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan suatu kondisi dimana kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Gangguan yang menyebabkan hal tersebut antara

lain pada umumnya yaitu gangguan hubung singkat dan gangguan beban lebih.

Gangguan yang umumnya terjadi adalah gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat.

1) Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih merupakan keadaan abnormal yang muncul ketika suatu peralatan beroperasi melebihi ratingnya, sehingga arus yang mengalir melebihi arus nominal peralatan tersebut dan pengaman yang terpasang. Arus yang mengalir pada saluran ketika gangguan beban lebih terjadi dapat menimbulkan panas berlebih yang selanjutnya dapat mempercepat proses penuaan umur dari peralatan listrik tersebut.

2) Gangguan Hubung Singkat

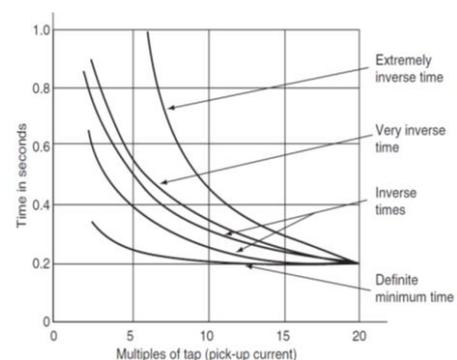
Gangguan hubung singkat umumnya sering terjadi dalam sistem tenaga listrik. Arus gangguan yg muncul ketika gangguan hubung singkat cukup besar, sehingga sistem proteksi harus dapat memutus arus gangguan yang muncul secara cepat dan selektif. Gangguan hubung singkat dikelompokkan menjadi 2 jenis gangguan, antara lain hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri.

B. Rele Arus Lebih

Relay arus lebih digunakan untuk mendeteksi gangguan hubung singkat (*short circuit*) dan gangguan beban lebih (*overload*). Relay akan bekerja ketika $I_f > I_p$. Relay tidak bekerja ketika $I_f < I_p$. Dimana I_f merupakan arus gangguan yang mengalir di sisi primer CT (*Current Transformer*) yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT (*Current Transformer*). I_p merupakan arus *pick up* yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT (*Current Transformer*) [4]. Relay arus lebih dikelompokkan menjadi 2 yaitu relay arus lebih waktu *inverse* dan relay arus lebih waktu *tertentu*.

1) Rele Arus Lebih Waktu Inverse

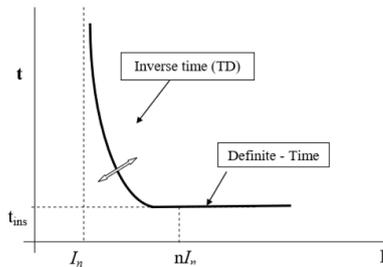
Memiliki sifat berbanding terbalik antara waktu operasi relay dengan besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguan, semakin cepat waktu operasi relaynya dan sebaliknya[5]. Karakteristik relay arus lebih waktu inverse dibedakan menjadi *standard inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long inverse*. Karakteristik [6] tersebut akan menunjukkan hubungan antara waktu operasi relay dengan besar arus gangguan.



Gambar 1. Kurva Rele Waktu *Inverse* [7]

2) *Rele Arus Lebih Waktu Tertentu*

Relay inverse juga memiliki karakteristik yang disebut *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT). Karakteristik yang terlihat pada gambar dibawah ini menunjukkan bahwa ketika arus yang melalui relay bernilai lebih dari *tap* tertentu, maka waktu operasi relay akan turun mendekati waktu *definite minimum* [5].



Gambar 2. Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

3) *Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse*

Setting relay arus lebih waktu *inverse* harus lebih besar dari *Full Load Ampere*. Hal ini didasarkan pada prinsip bahwa relay tidak akan bekerja ketika bebannya beroperasi maksimum.

Dalam menentukan setting relay arus lebih waktu *inverse*, parameter yang perlu ditentukan antara lain, *I pickup* dan *Time dial Setting* (TDS). Untuk setting nilai *Iset* relay arus lebih waktu *inverse*, batasan nilainya berdasarkan *British Standard 142* yaitu 1,05 FLA – 1,4 FLA. Untuk setting *I pickup*nya, dengan pembagian *Iset* dan CT primer dari relay yang terpasang.

$$t = \frac{k \times TDS}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} + L \tag{2.1}$$

Tabel 1. Koefisien Kurva Inverse berdasarkan standar Relay ALSTOM [9]

Jenis Kurva	k	α	L
Standard Inverse	0,14	0.02	0
Very Inverse	13,5	1	0
Extremely Inverse	80	2	0

top adalah waktu operasi dari rele, TDS adalah nilai *time dial setting* yang akan dicari, *I* adalah arus hubung singkat 3 fasa, *Iset* adalah *Ipickup*, nilai *k*, *L*, *α* adalah sebuah konstanta yang nilainya tergantung dari bentuk kurva yang dipilih.

C. *Coordination Time Interval* (CTI)

Ketika merencanakan kurva koordinasi proteksi, interval waktu tertentu perlu dipertahankan antar kurva

relaynya untuk memastikan bahwa operasi relaynya sudah tepat dan selektif. Tanpa adanya interval waktu antar relay (CTI) yang memadai, relay proteksi mungkin dapat bekerja tidak tepat dan dapat memutuskan aliran daya ke lokasi yang tidak terjadi gangguan[1]. Untuk menghitung CTI, digunakan persamaan berikut:

$$CTI = top_{backup} - top_{primer} \tag{2.2}$$

Dimana, CTI adalah *Coordination Time Interval* (sekon), *top_{primer}* adalah waktu operasi relay ketika bekerja sebagai relay primer, dan *top_{backup}* adalah waktu operasi relay ketika bekerja sebagai relay *backup*.

Berdasarkan standar IEEE 242-2000, rekomendasi CTI minimum untuk relay elektromekanik dan relay statik dijabarkan pada tabel berikut:

Tabel 2. CTI Relay

Komponen	Tipe Relay	
	Elektromekanik	Statik
Waktu pembukaan <i>circuit breaker</i>	0,08 sekon	0,08 sekon
<i>Overtravel</i> pada relay	0,1 sekon	0 sekon
Toleransi dan <i>error</i> pada relay	0,12 sekon	0,12 sekon
Total CTI	0,3 sekon	0,2 sekon

D. *Firefly Algorithm*

Algoritma *Firefly* dikembangkan pertama kali oleh Xin She Yang di Universitas Cambridge. Menurut Xin She Yang, algoritma ini terinspirasi oleh perilaku kunang-kunang berkedip. Adapun karakteristik kedipan kunang-kunang yang diidealkan menurut Xin She Yang, antara lain: (1) semua kunang-kunang dianggap *unisex*, sehingga ketertarikan kunang-kunang dengan yang lainnya tidak mempedulikan jenis kelaminnya tetapi lebih tertarik kepada intensitas cahaya, (2) daya tarik yang dimiliki sebanding dengan tingkat intensitas cahaya yang dipancarkan kunang-kunang. Jadi, semakin terang cahaya yang dipancarkan oleh suatu kunang-kunang, maka kunang-kunang lain akan bergerak menuju kunang-kunang yang lebih terang tersebut. Jika tidak satupun kunang-kunang yang memiliki intensitas cahaya yang lebih terang, maka kunang-kunang akan bergerak acak, (3) tingkat intensitas cahaya kunang-kunang ditentukan oleh fungsi objektif [10]

Algoritma *Firefly* dapat mengatasi permasalahan mengenai optimasi. Algoritma ini cukup efektif karena dapat melakukan penyetulan serta mengontrol nilai acak yang terjadi selama proses iterasi sehingga dapat mencapai konvergensi lebih cepat dengan mengatur parameternya Pada algoritma *Firefly*, perubahan posisi kunang-kunang dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

$$x = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon \tag{2.2}$$

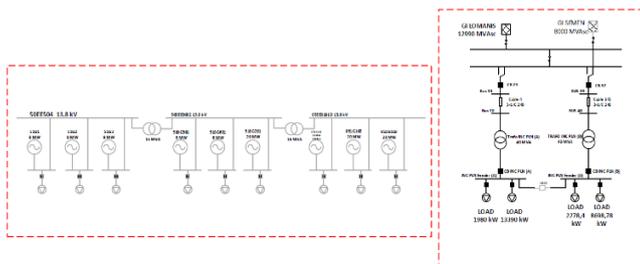
x adalah posisi kunang-kunang, *x_i* adalah posisi kunang-kunang *i*, *x_j* adalah posisi kunang-kunang lain sebagai

pembandingan, β_0 menunjukkan faktor ketertarikan kunang-kunang satu dengan lainnya, α merupakan nilai parameter pergerakan acak kunang-kunang, ϵ ialah nilai vektor acak yang berasal dari distribusi Gaussian. γ menunjukkan faktor penyerapan cahaya, r_{ij} adalah jarak antar kunang-kunang i dan kunang-kunang j . Koefisien β_0 , α , γ memiliki rentang nilai 0 sampai dengan 1.

II. SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU IV CILACAP DAN PERANCANGAN ALGORITHMAMA

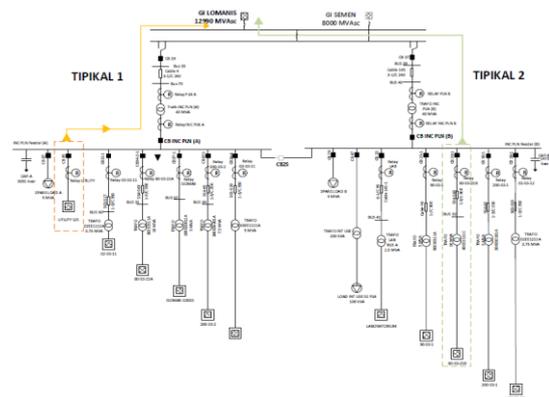
A. Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap

PT. Pertamina Unit Pengolahan IV Cilacap adalah salah satu dari 7 jajaran unit pengolahan di Indonesia yang memiliki kapasitas produksi terbesar dari Unit Pengolahan Pertamina lainnya. Sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU IV Cilacap memiliki 3 area yang saling terkoneksi dan 1 area *islanding*. Pada 3 area yang saling terkoneksi tersebut, memiliki 9 unit pembangkit dengan kapasitas 5 unit masing-mesear 8 MW, 4 unit masing-masing sebesar 20 MW. Untuk area *islanding*, terdapat 3 unit pembangkit dengan kapasitas sebesar 15 MW. Kondisi eksisting sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU IV Cilacap, telah dilakukannya integrasi antara PLN dan Pertamina dengan memindahkan beban-beban non *esensial* dari eksisting ke feeder PLN untuk disuplai langsung oleh sumber PLN. Sistem ini merupakan pengembangan sistem tahap 1 yang dilakukan PLN bersama Pertamina guna meningkatkan keandalan sistemnya



Gambar 3. Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU IV Cilacap yang digunakan dalam Penelitian ini adalah pengembangan sistem tahap 1 nya. Beban non esensial yang telah dilakukan pemindahan akan disuplai oleh sumber PLN sebesar 12990 MVA_{sc}. Sistem distribusi kelistrikannya pada tahap 1 ini terdiri dari 4 level tegangan yakni 150 kV, 13.8 kV, 3.45 kV, dan 0.4 kV. Masing-masing grid PLN dari tegangan 150 kV masuk ke level tegangan 13.8 kV yang mana keduanya saling terhubung oleh *Tie Breaker* untuk meningkatkan keandalan pada sistemnya. Tegangan 3.45 kV dan 0.4 kV digunakan untuk menyuplai beban berkapasitas kecil seperti motor.



Gambar 4. Sistem PLN yang telah terintegrasi pada PT. Pertamina RU IV Cilacap

Perhitungan *Time Dial Setting* pada PT. Pertamina RU IV Balikpapan dilakukan pada beberapa tipikal yang dipilih berdasarkan beberapa kasus, seperti saluran terpanjang, beban terbesar, dan studi khusus sesuai kebutuhan.

Tabel 3. Data Rele Tipikal 1

No.	Relay ID	Tegangan (kV)	Isc Max Primer (A)	Isc Max Backup (A)	Primer CT
1	Relay 2	3.45	21296	3850	400
2	Relay 3	3.45	16960	16443	2000
3	Relay 10-2	13.8	18607	4240	800
4	Relay Utility	13.8	19878	18607	800
5	Relay INC PLN A	13.8	15541	15541	2000
6	Relay PLN A	150	52565	1430	200

Tabel 4. Data Rele Tipikal 2

No.	Relay ID	Tegangan (kV)	Isc Max Primer (A)	Isc Max Backup (A)	Primer CT
1	Relay 16	3.45	23538	3478	300
2	Relay 5	3.45	18794	18794	2000
3	Relay 80 SS-21B	13.8	15262	4698	800
4	Relay INC PLN B	13.8	15541	13155	2000
5	Relay PLN B	150	52668	1430	200

B. Perancangan Firefly Algorithm

Penggunaan Algoritma *firefly* digunakan untuk menghitung nilai *Time Dial Setting* (TDS) yang optimal pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap dengan tepat.

Alur kerja algoritma ini yaitu pertama akan dibangkitkan populasi kunang-kunang dengan posisi *random*. Tiap kunang-kunang mewakili nilai TDS. Populasi kunang-kunang yang dibangkitkan nilainya mempertimbangkan step dan range dari

TDS pada relay yang digunakan. Setelah populasi terbangkitkan, akan dihitung waktu operasi relay saat sebagai primer maupun *backup* dengan mempertimbangkan saturasi. Adapun batasan waktu operasi minimum rele dapat bekerja yaitu 0,1 detik dan batas maksimum 1 detik. Jika terdapat populasi yang tidak sesuai dengan *constrain* yang telah ditentukan, maka akan dibangkitkan kembali populasi kunang-kunang yang baru.

Selanjutnya dihitung nilai waktu operasi rele saat menjadi rele utama maupun *backup* dengan mempertimbangkan saturasi. Langkah berikutnya adalah memberi batasan waktu operasi rele utama harus lebih besar dari 0,1 detik, jika ada populasi yang tidak memenuhi maka dibangkitkan populasi baru yang memenuhi. Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung CTI dari rele utama dan backup.

Fungsi objektif yang ditentukan adalah total penjumlahan dari nilai waktu operasi minimum tiap relay ketika bekerja sebagai relay primer. Pada *loop* utama program *firefly*, nilai *cost* tiap iterasi akan dievaluasi dan dibandingkan. Nilai *cost* yang lebih tinggi akan berpindah menuju populasi dengan nilai *cost* yang lebih rendah. Setelah dilakukan evaluasi nilai *cost* pada *loop firefly*, pembaruan posisi *firefly* (nilai TDS) terjadi dan perhitungan waktu operasi relay serta CTI diperbarui. Pada akhir iterasi, akan dipilih nilai *cost* yang paling minimum diantara populasi lainnya. Nilai *cost* yang paling minimum tersebut akan dipilih sebagai nilai yang memiliki nilai TDS yang paling optimal.

III. HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS HASIL

A. Perhitungan Time Dial Setting Menggunakan AMFA

Perhitungan nilai TDS dilakukan dengan menggunakan software *Matlab*. Pengisian parameter sebagai input dibutuhkan untuk mendapatkan hasil nilai yang diinginkan seperti, tegangan relay, kv base, FLA, CT Primer, *Isc* maksimum primer dan *backup*, jenis kurva, serta waktu target operasi minimum dan maksimum.

1) Perhitungan TDS Tipikal 1

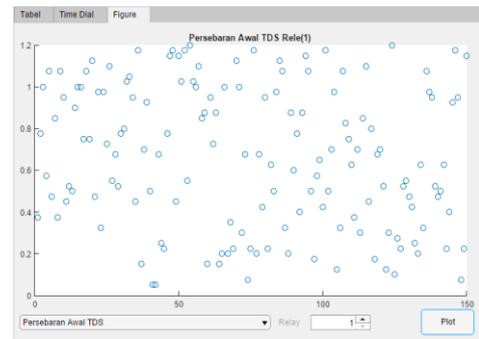
Agar dapat program dapat dijalankan, diperlukan beberapa parameter sebagai input seperti dibawah ini

The screenshot shows an input form with the following fields and values:

- Tegangan Relay: 13.45 13.45 13.8 13.8 13.8 150
- KV Base: 13.45
- FLA: 349.9 1673.418 4.418 4.1673 154
- ISC Max Primer: 21296 16960 18607 18607 15541 52565
- ISC Max Backup: 3850 16443 4249 4240 15541 1430
- Primer CT: 400 2000 800 800 2000 200
- TDS Minimal: 0.025
- TDS Maksimal: 1.2
- TDS Step: 0.025
- Waktu Target Minimum: 0.1
- Waktu Target Maksimum: 1
- Pasangan Relay: 5
- Curve Type: 222212

Gambar 5. Input Tipikal 1

Selanjutnya akan dibangkitkan populasi awal nilai TDS secara *random* seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 6. Persebaran TDS Rele Tipikal 1

Setelah dibangkitkan 150 populasi, dapat dihitung waktu operasi relay ketika bekerja sebagai relay primer dan *backup*. Selanjutnya, dapat dihitung nilai *cost* dari tiap populasi. Nilai *cost* adalah total waktu penjumlahan waktu operasi relay primer.

Pada *loop* utama algoritma *firefly*, di tiap iterasinya akan dibandingkan nilai *cost* tiap populasinya. Populasi dengan nilai *cost* yang lebih tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* yang lebih rendah. Nilai *cost* merupakan *function objective* pada algoritma *firefly*. Intensitas cahaya pada tiap *firefly* merupakan nilai *cost*. Populasi dengan nilai *cost* yang paling minimum di akhir iterasi akan terpilih sebagai nilai TDS yang paling optimal.

Tabel 5. Nilai Cost Minimum Tiap Iterasi Tipikal 1

Iterasi	Cost	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3	TDS Rele 4	TDS Rele 5	TDS Rele 6
1	1.739	0.425	0.275	0.45	0.375	0.15	0.575
2	1.503	0.3	0.225	0.5	0.275	0.125	0.575
3	1.435	0.3	0.225	0.5	0.225	0.1	0.65
4	1.313	0.3	0.275	0.35	0.225	0.1	0.375
5	1.226	0.325	0.225	0.4	0.25	0.1	0.25
.
50	1.037	0.225	0.2	0.225	0.225	0.1	0.225

Diakhir iterasi akan dipilih 1 populasi dengan nilai yang paling optimal atau populasi dengan nilai TDS yang paling minimum. Populasi ini terpilih sebagai TDS minimum.

Pada tabel 4, terlihat nilai *cost* minimum pada iterasi ke 1 adalah 1,739 dan akan terus diperbarui hingga iterasi ke 50. TDS yang terpilih adalah TDS pada populasi iterasi terakhir.

Program akan memberikan hasil berupa beberapa parameter yang digunakan untuk setting relay 51 seperti *Ipickup*, dan setting TDS nya.

Relay No.	pickup	Ipickup
1	0.92	368.00
2	0.88	1760.00
3	0.55	440.00
4	0.55	440.00
5	0.88	1760.00
6	0.81	161.74

Waktu Operasi LVCB = 0.300

Relay No.	TDS	WAKTU OPERASI PRIM...	WAKTU OPERASI SEKUN...	CURVE TYPE
1	0.2250	0.1047	0.3204	Very Inverse
2	0.2000	0.3120	0.3229	Very Inverse
3	0.2250	0.1047	0.3511	Very Inverse
4	0.2250	0.1047	0.3511	Very Inverse
5	0.1000	0.3141	0.3141	Standard Inverse
6	0.2250	0.1047	0.3873	Very Inverse

Gambar 7. Parameter *Output* Tipikal 1 dari Program

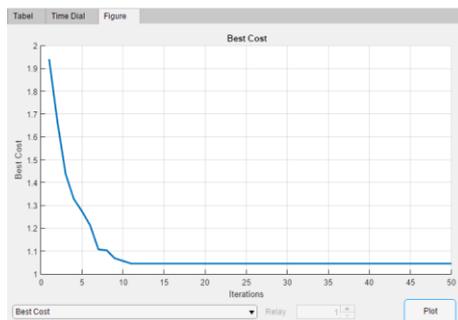
Didalam program, rele memiliki nomor urut. Konversi dari nomor urut dengan ID rele dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 6. Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 1

Relay No	Relay ID
1	Relay 2
2	Relay 3
3	Relay 10-2
4	Relay UTILITY
5	Relay INC FEED A
6	Relay PLN A

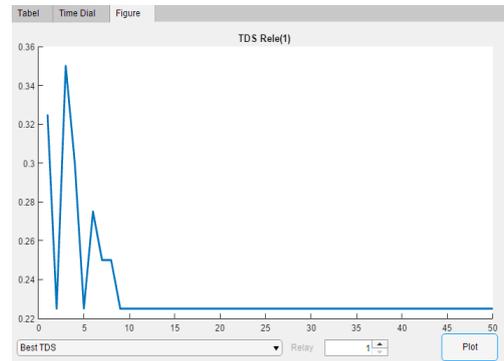
Karena relay 10-2 dan Relay Utility berada pada satu *feeder* yang sama maka akan kedua relay *disetting* sama.

Selanjutnya, pada gambar 7 terlihat nilai dari fungsi objektif (*Cost*) dari setiap iterasi hingga mencapai nilai yang optimal pada iterasi tertentu. Fungsi objektif pada tipikal 1 mencapai waktu konvergensi pada iterasi ke -11.



Gambar 8. Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 1

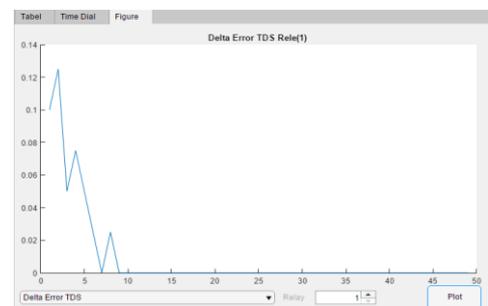
Setelah diperoleh fungsi objektif (nilai *cost*), langkah berikutnya yaitu plot nilai TDS tiap relay agar dapat mengetahui pergerakan *firefly* mencapai *best firefly* (nilai yang optimal).



Gambar 9. Nilai TDS Relay 1 pada Tiap Iterasi di Tipikal 1

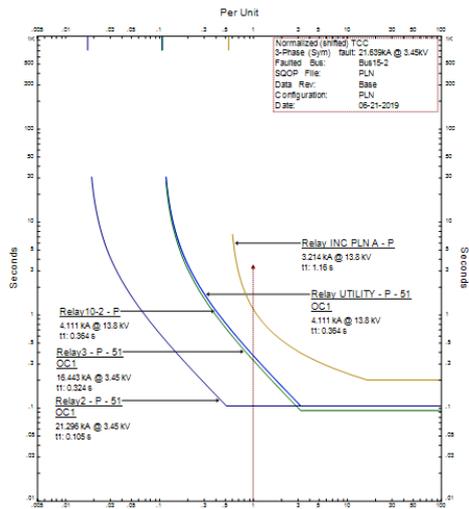
Plot *delta error* TDS di tiap iterasi

Selanjutnya diplot *delta error* dari tiap iterasi, Grafik akan menunjukkan nilai yang konvergen ketika *delta error* tiap iterasi sudah sama dengan 0.



Gambar 10. *Delta Error* TDS Relay 1 di Tiap Iterasi pada Tipikal 1

Selanjutnya, plot hasil perhitungan TDS Tipikal 1 dengan program pada software ETAP 12.6 untuk diamati waktu operasi relay bekerja sebagai primer dan *backup* ketika terjadi gangguan pada tiap bus.



Gambar 11. Hasil Tipikal 1 pada ETAP ketika gangguan terjadi di bus 15-2 (3,45 kV)

Berdasarkan hasil plot kurva TCC pada gambar 9, terlihat bahwa CTI antara rele primer dan *backup* pada saluran yang berbeda lebih besar dari 0,2 detik. Sesuai dengan *standard IEEE 242*, koordinasi proteksi ini dikatakan aman.

Berikut hasil perhitungan nilai TDS minimum menggunakan program dirangkum pada tabel 7 dan tabel 8.

Tabel 7. Rangkuman Waktu Operasi Relay pada Tipikal 1

No.	Relay ID	TDS	Top Primer (detik)	Top Backup (detik)
1	Relay 2	0,225	0,105	0,321
2	Relay 3	0,200	0,313	0,324
3	Relay 10-2	0,225	0,105	0,352
4	Relay UTILITY	0,225	0,105	0,105
5	Relay INC FEED A	0,100	0,314	0,314
6	Relay PLN A	0,225	0,105	0,388

Tabel 8. Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 2

No.	Relay ID	TDS	Top Primer (detik)	Top Backup (detik)
1	Relay 16	0,575	0,115	0,304
2	Relay 5	0,250	0,349	0,349
3	Relay 8OSS-21B	0,250	0,116	0,349
4	Relay INC FEED B	0,100	0,314	0,341
5	Relay PLN B	0,225	0,105	0,388

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis perhitungan yang telah dilakukan dengan metode *Adaptive Modified Firefly*

Algorithm pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan dengan AMFA dapat digunakan dan telah diperoleh hasil nilai TDS yang minimum sesuai dengan Batasan yang telah ditentukan seperti CTI dan waktu operasi minimum relay.
2. Program dapat digunakan untuk menghitung *setting* relay dengan level tegangan yang berbeda serta dengan pertimbangan waktu operasi LVCB.
3. Rata-rata waktu operasi relay primer yang diperoleh yaitu 0,174 detik pada tipikal 1, dan 0,1999 detik pada tipikal 2.
4. Rata-rata waktu konvergensi dari kedua tipikal mencapai waktu konvergensi rata-rata pada iterasi ke-7.
5. Nilai Fungsi Objektif pada tipikal 1 sebesar 1,0451 detik dan tipikal 2 sebesar 0,9985 detik.

B. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan dan analisis yang telah dilakukan, penulis dapat memberikan saran untuk penelitian selanjutnya dengan topik sejenis sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya, program dapat dikembangkan agar dapat digunakan untuk *setting* relay 50 instantaneuous.
2. Mengembangkan metode AI dengan mempertimbangkan *motor starting, damage curve, dan inrush current*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," p. 751.
- [2] J. D. Pico, D. Celeita, and G. Ramos, "Protection Coordination Analysis Under a Real-Time Architecture for Industrial Distribution Systems Based on the Std IEEE 242-2001," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, no. 4, pp. 2826–2833, Jul. 2016.
- [3] J. L. Blackburn and T. J. Domin, "Protective Relaying: Principles and Applications," p. 638, 2006.
- [4] N. D. Wijayanto, A. Soeprijanto, and O. Penangsang, "Koordinasi Proteksi Tegangan Kedip dan Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan Industri Nabati."
- [5] Dr. Prof. Mohammed Tawfeeq, "Power System Protection."
- [6] 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, Jul. 2017.
- [7] Wahyudi, "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik by Wahyudi."
- [8] WAHYUDI, "DIKTAT KULIAH PENGAMAN RELAY ARUS LEBIH."
- [9] "Technical Manual MiCOM P141, P142, P143 P342 P343 P344 P345 P346 P391 ALSTOM."
- [10] H. Setiawan, L. H. Hanafi, and K. R. Prilianti, "Implementasi Algoritma Kunang-Kunang Untuk

Penjadwalan Mata Kuliah di Universitas Ma Chung.” *J. Buana Inform.*, vol. 6, no. 4, Oct. 2015.