

Perhitungan *TDS Overcurrent Relay* Menggunakan *Adaptive Modified Firefly Algorithm* Pada PT.Pertamina RU V Integrasi Dengan PLN

¹ Margo Pujiantara, ² Rahmanditya R. Muhammad, dan ³Soedibyo

^{1,2,3} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
¹margo@ee.its.ac.id, ²r.rahadianm@gmail.com, ³soedieb@ee.its.ac.id

Abstrak Bahasa Indonesia

PT. Pertamina RU V Balikpapan akan diintegrasikan sumber listrik dengan PT. PLN. Maka akan terjadi perubahan pola operasi generator pada sistem sehingga perlu dilakukan analisis sistem proteksi ulang. Sistem proteksi bertujuan untuk untuk mengisolasi gangguan secara cepat, selektif, dan koordinatif sehingga kerusakan pada sistem dapat diminimalisir dan kontinuitas tenaga listrik dapat terjaga dengan baik. Hal penting yang harus diperhatikan dari koordinasi proteksi khususnya pada rele arus lebih adalah pengisian parameter TDS (*Time Dial Setting*). TDS mengatur waktu operasi rele dalam mengamankan suatu gangguan. Umumnya nilai TDS ditentukan menggunakan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai TDS minimum. Namun untuk mendapatkan nilai TDS yang tepat dalam pengkoordinasian dengan rele lain masih menggunakan metode *trial and error*. Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang cara perhitungan *time dial setting inverse time overcurrent relay* dengan metode *adaptive modified firefly algorithm* pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan mempertimbangkan integrasi dengan PLN untuk mendapatkan nilai TDS yang minimum. Hasil dari tugas akhir ini adalah mendapatkan nilai TDS minimum pada beberapa kasus jenis tipikal seperti saluran terpanjang, pertimbangan waktu operasi LVCB, dan saluran yang pendek agar dapat tetep terkoordinasi dengan baik dengan saluran panjang yang terpasang pada bus yang sama.

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

Abstraks English

PT. Pertamina RU V Balikpapan will be integrated with electricity sources with PT. PLN. Then there will be a change in the generator operating pattern on the system so that it needs to be analyzed again. The protection system aims to isolate the interference quickly, selectively, and coordinatively so that damage to the system can be minimized and the continuity of electric power can be maintained properly. The important thing that must be considered from protection coordination, especially in overcurrent relays, is filling the TDS (*Time Dial Setting*) parameter. TDS regulates the relay operation time in securing a disturbance. Generally the TDS value is determined using a manual calculation to obtain a minimum TDS value. However, to get the right TDS value in coordinating with other relays it still uses trial and error methods. In this final project, we will discuss how to calculate the time dial overcurrent relay inverse setting with the adaptive modified firefly algorithm method in the electrical system at PT. Pertamina RU V Balikpapan considers integration with PLN to obtain a minimum TDS value. The result of

this final project is to obtain a minimum TDS value in some cases typical types such as the longest channel, consideration of LVCB operating time, and short channels so that it can be well coordinated with the long lines installed on the same bus.

Keywords- *protection coordination, time dial setting, adaptive modified firefly algorithm.*

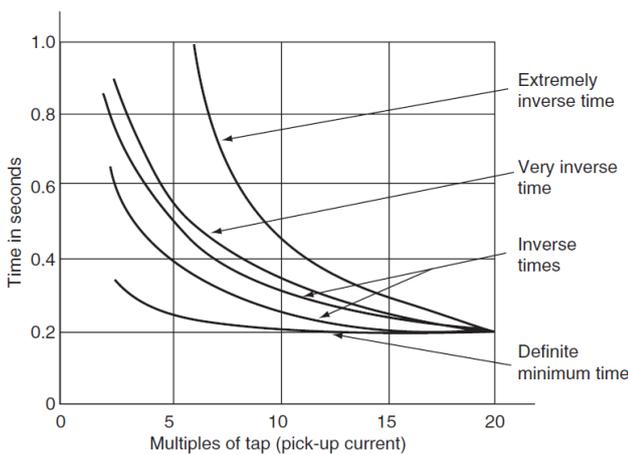
I. PENDAHULUAN

Dengan berjalannya waktu sistem proteksi selalu berkembang, sehingga mampu memiliki kemampuan lebih baik dalam hal selektivitas dan operasi. Sistem proteksi saat ini membutuhkan analisa yang lebih untuk dapat mengisi parameter dengan baik dan tepat sehingga mendapatkan *setting* yang tepat [1].

Sistem proteksi bertujuan untuk untuk mengisolasi gangguan secara cepat, selektif, dan koordinatif, sehingga kerusakan pada sistem dapat diminimalisir dan kontinuitas tenaga listrik dapat terjaga dengan baik [2]. Sehingga mengamankan sebuah gangguan dengan cepat dan tepat mampu meminimalisir hal-hal yang tidak diinginkan seperti, kerusakan yang lebih parah, mengganggu kontinuitas suplai, dan membahayakan manusia.

PT Pertamina (Persero) dan PT PLN (Persero) bersinergi untuk penyediaan pasokan listrik untuk kilang minyak. Lewat kerja sama yang dituangkan dalam nota kesepahaman ini, PLN akan menyuplai listrik untuk lima kilang minyak Pertamina yang salah satunya adalah PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah dilakukan integrasi sumber listrik PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan PT. PLN maka akan terjadi perubahan nilai hubung singkat dan pola operasi generator pada sistem sehingga perlu dilakukan analisis sistem proteksi ulang. Namun, ketika di lapangan untuk menganalisa sistem proteksi penentuan TDS pada PT. Pertamina RU V Balikpapan masih menggunakan perhitungan secara manual, oleh karena itu pada tugas akhir ini akan dibahas bagaimana cara menentukan TDS pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*.

Pada rele arus lebih *inverse time* (rele 51), parameter-parameter yang perlu diatur adalah arus *pickup*, jenis kurva, dan *time dial setting* (TDS). Ketika terjadi gangguan pada sistem, rele primer harus bekerja dengan cepat dalam mengisolasi gangguan. Apabila rele primer gagal mengisolasi gangguan, maka rele *backup* harus bekerja sesuai dengan *Coordination Time Interval* (CTI) yang telah ditentukan [3]. Namun pada praktiknya, saat operator melakukan plot kurva *Time Current Characteristic* (TCC) menggunakan *software*, CTI antar rele yang didapat sering kurang optimal. Hal ini menyebabkan operator harus melakukan uji coba *trial and error* sehingga didapatkan koordinasi antarkurva yang baik. Sehingga pengembangan perhitungan nilai TDS untuk rele arus lebih terus dilakukan guna menghasilkan metode yang lebih efektif dan cepat yaitu menggunakan *adaptive modified firefly algorithm* (AMFA).



Gambar. 1. Kurva Rele Waktu *Inverse* [2]

I. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan merupakan kondisi tidak normal yang terjadi pada sistem kelistrikan. Pada kondisi normal, suplai listrik berasal dari sumber dan menuju ke beban. Jika terjadi sebuah gangguan maka akan terdapat arus yang mengalir ke titik gangguan yang menyebabkan arus total pada titik tersebut sangat besar [1] sehingga kontinuitas suplai ke beban terganggu.

Pada suatu sistem tenaga listrik gangguan dapat diklasifikasikan berdasarkan penyebab gangguan. Gangguan yang umumnya terjadi adalah gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat. Terdapat tiga jenis kesalahan dapat dipertimbangkan; tiga fase (3PH), fase-ke-fase (L-L), dan satu fase-ke-tanah (L-G). Biasanya, 3PH atau L-G adalah yang paling parah dan L-L yang tidak begitu parah [1].

B. Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Merupakan jenis rele yang berkerja saat arus gangguannya melebihi batas setting yang ditentukan yang dimana waktu operasinya berbanding terbalik dengan besar hubung singkat, semakin besar hubung singkat maka waktu rele beroperasi makin cepat pula [2]. Ada beberapa macam bentuk kurva yang dapat dipilih antara lain, *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*

C. Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Untuk setting rele arus lebih waktu *inverse*, terdapat beberapa parameter yang harus dimasukkan antara lain, *I pickup* dan *Time Dial Setting*. Pada *British Standard 142* batas dalam menentukan setting nilai *I pickup* pada rele waktu *inverse* sebagai pelindung dari arus beban lebih adalah:

$$1,05 \text{ FLA} < I_p < 1,4 \text{ FLA} \quad (1)$$

Sementara untuk batas penentuan arus *pickup* pada rele sebagai pelindung kejadian hubung singkat adalah:

$$1,6 \text{ FLA} < I_p < 0,8 I_{sc \text{ min}} \quad (2)$$

Dimana FLA adalah *Full Load Ampere* yang berarti arus yang mengalir pada beban sesuai daya maksimum dan $I_{sc \text{ min}}$ adalah arus hubung singkat minimum ($I_{sc \text{ 2 fase}}$) dalam durasi *steady state* (30 cycle). Untuk menentukan tap nilai *pickup* pada rele dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$tap = \frac{I_p}{\text{Primer CT}} \quad (3)$$

Parameter lain yang harus diisi adalah nilai *Time Dial Setting* (TDS), sesuai dengan *datasheet* manufaktur dengan standar [3] adalah:

$$t_{op} = TDS \times \left(\left(\frac{\beta}{\left(\frac{I}{I_p} \right)^\alpha - 1} \right) + L \right) + C \quad (4)$$

Tabel 1. PARAMETER KOEFISIEN RELE *INVERSE* STANDAR IEC

Tipe Kurva	β	α	L	C
Standard Inverse	0,14	0,02	0	0
Very Inverse	13,5	1	0	0
Extremely Inverse	80	2	0	0

t_{op} adalah waktu operasi dari rele, TDS adalah nilai *time dial setting* yang akan dicari, I adalah arus hubung singkat 3 fase, I_p adalah arus *pickup*, nilai α dan β adalah sebuah konstanta yang nilainya tergantung dari bentuk kurva yang dipilih.

D. Clearing Time Interval (CTI)

Untuk mengkoordinasikan beberapa rele perlu mempertimbangkan *clearing time interval* (CTI). Tanpa adanya interval antar rele, peralatan pengaman mungkin bekerja secara tidak tepat dan dapat memutus aliran daya ke lokasi yang tidak mengalami gangguan. Berdasarkan standar

IEEE 242 [3] telah dijelaskan bahwa terdapat rekomendasi CTI minimum untuk jenis rele elektromekanik dan rele static seperti pada table berikut:

Tabel 2. CTI MINIMUM RELE

Uraian Respon	Waktu (detik)	
	Elektromekanik	Statik
Waktu pembukaan <i>circuit breaker</i>	0,08	0,08
<i>Overtravel</i> pada rele	0,1	0
Toleransi dan <i>error</i> pada rele	1,2	0,2
Total CTI	0,3	0,2

E. Adaptive Modified Firefly Algorithm

Algoritma *Firefly* terinspirasi dari pola kebiasaan dari kunang kunang serta intensitas cahaya yang dihasilkannya dimana semua kunang kunang adalah *unisex*, sehingga kunang-kunang dapat tertarik pada kunang-kunang lain tidak tergantung dari jenis kelaminnya, melainkan dari intensitas cahayanya. Artinya, kunang-kunang yang lebih terang akan didekati oleh kunang-kunang yang redup [4].

Intensitas cahaya tiap kunang-kunang digambarkan sebagai persamaan *objective function* yang akan diselesaikan. Semakin sesuai nilai pada kunang-kunang dengan *objective function*, maka semakin terang intensitas cahayanya. Kemudian dilakukan pembaruan posisi kunang-kunang yang terpengaruh oleh intensitas cahaya kunang-kunang lain. Perubahan posisi kunang-kunang dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon \tag{5}$$

x_i menunjukkan posisi dari kunang-kunang i, sedangkan x_j adalah posisi dari kunang-kunang lain yang akan dijadikan acuan dan ϵ adalah nilai vektor acak dari distribusi gaussian.

Koefisien β , γ , dan α hanya bernilai 0 sampai 1. Nilai ini β yang semakin besar akan mempercepat kunang-kunang dalam mendekati kunang-kunang lain yang lebih terang namun dengan hasil yang tidak akurat, sebaliknya jika nilainya semakin kecil, maka perubahan posisi antar kunang-kunang akan lebih lambat, namun dengan nilai yang akurat. Sementara itu koefisien γ dapat dimisalkan sebagai kondisi cuaca saat pergerakan kunang-kunang. Semakin besar nilai γ berarti kondisi cuaca saat itu sedang berkabut yang mengakibatkan kunang-kunang tidak dapat melihat kunang-kunang yang lebih terang pada posisi yang lebih jauh, sementara jika nilai γ kecil, berarti cuaca saat tersebut dalam kondisi cerah sehingga kunang-kunang dapat melihat kunang-kunang lain walaupun kondisinya sangat jauh. Koefisien α berfungsi sebagai faktor pengali dari nilai vektor kunang-kunang.

Pada *Adaptive Modified Firefly Algorithm* nilai α yang merupakan gambaran dari probabilitas gerakan kunang-kunang akan berubah setiap iterasinya. Nilai α memiliki persamaan [5]:

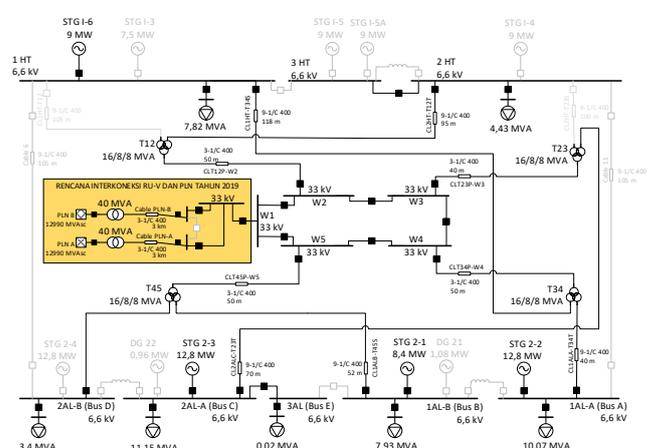
$$\alpha^{k+1} = \alpha^k \times \left(\frac{1}{2} \times k_{max}\right)^{\frac{1}{k_{max}+1}} \tag{6}$$

k adalah nilai iterasi dan k_{max} adalah iterasi maksimum yang telah ditentukan. Sehingga α^k menunjukkan nilai α ketika di iterasi tertentu. Sedangkan α^{k+1} adalah perubahan nilai α ketika di iterasi telah bertambah. Nilai α ini adalah kunci untuk mempercepat waktu konvergenn. Nilai α awal dibuat yg terbesar atau mendekati satu kemudian nilainya mengecil tiap iterasinya menjadi nilai α yang paling minimum atau bisa dikatakan arah gerakan kunang-kunang dari kesegala arah sudah tereliminasi menjadi ke beberapa atau hanya satu arah yang sehingga pergerakan menuju intensitas cahaya terbreasr semakin cepat di dapat.

II. SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

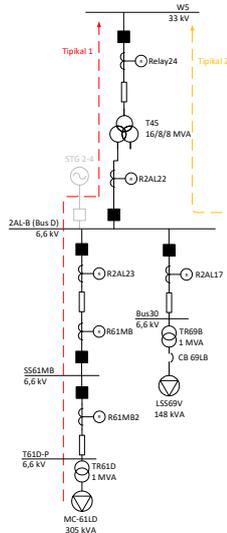
A. Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah Integrasi Dengan PLN

Sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah diintegrasikan dengan PLN direncanakan akan disuplai dengan 4 generator yang berjenis steam turbine generator (STG) dari total 11 generator dan besar daya suplai dari PLN akan melewati trafo sebesar 40 MVA dengan besar arus hubung singkat dari PLN sebesar 50 kA yang akan disambungkan pada bus *ring* 33 kV. Empat Generator tersebut antara lain STG I-6 (9 MW), STG 2-1 (8.4 MW), STG 2-2 (12.8 MW), dan STG 2-3 (12.8 MW). Seperti pada Gambar 2. Tegangan 33 kV adalah tegangan di sistem *ring* yang berfungsi untuk meningkatkan keandalan sistem. Tegangan 6.6 kV adalah tegangan keluaran generator dan digunakan untuk menyuplai beban berkapasitas besar seperti motor. Tegangan 0.38 kV digunakan untuk menyuplai beban berkapasitas kecil. Setelah dilakukan integrasi direncanakan



Gambar. 2. Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah di Integrasi dengan PLN

akan terjadi relokasi beban yang bertujuan untuk meratakan pembebanan terhadap kapasitas trafo tiga belitan. Beberapa tipikal yang mewakili beberapa kasus, seperti saluran terpanjang, beban terbesar, dan studi khusus sesuai kebutuhan dalam melakukan pengaturan rele seperti berikut :



Gambar. 3. Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah di Integrasi dengan PLN untuk tipikal 1 dan 2

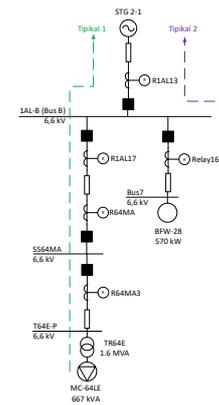
Tipikal 1 merupakan saluran terpanjang dari beban menuju ke bus ring 33 kV dimana memiliki jumlah rele yang paling banyak yaitu sebanyak 5 rele. Tujuan pemilihan saluran ini untuk mendapatkan skema proteksi dengan penilaian waktu yang tepat dengan rele terbanyak.

Tipikal 2 merupakan saluran dari beban menuju ring 33 kV yang hampir sama dengan tipikal 1 namun hanya memiliki 3 buah rele dan terdapat LVCB. Tujuan pemilihan saluran ini untuk membandingkan hasil perhitungan TDS dengan jumlah rele yang berbeda dan mempertimbangkan adanya asumsi waktu LVCB.

Tipikal 3 merupakan saluran dari beban menuju generator yang memiliki 4 buah rele. Tujuan pemilihan saluran ini untuk mengetahui skema proteksi saluran menuju generator yang memiliki jumlah rele yang berbeda dari tipikal 1 dan 2.

Tipikal 4 hampir menyerupai tipikal 3 yang mengarah ke generator namun hanya memiliki 2 buah rele. Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan TDS saluran terpendek dengan hasil tipikal 3 dimana jumlah relenya yang lebih banyak.

Data arus hubung singkat yang tertulis pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.4 yang merupakan gangguan arus hubung singkat maksimum (3 fasa - 1/2 cycle) yang dirasakan oleh rele ketika berfungsi menjadi rele utama maupun rele backup pada saat terjadi gangguan.



Gambar. 4. Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan Setelah di Integrasi dengan PLN untuk tipikal 3 dan 4

Tabel 3. DATA RELE TIPIKAL 1

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup (A)	Primer CT
1	R61MB2	6.6	13178	-	100
2	R61MB	6.6	10774	10605	750
3	R2AL23	6.6	10774	10605	1250
4	R2AL22	6.6	11935	10483	1000
5	Relay24	33	19832	1713	500

Tabel 4. DATA RELE TIPIKAL 2

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup (A)	Primer CT
1	R2AL17	6.6	12916	1609	200
2	R2AL22	6.6	11935	10447	1000
3	Relay24	33	19832	1713	500

Tabel 5. DATA RELE TIPIKAL 3

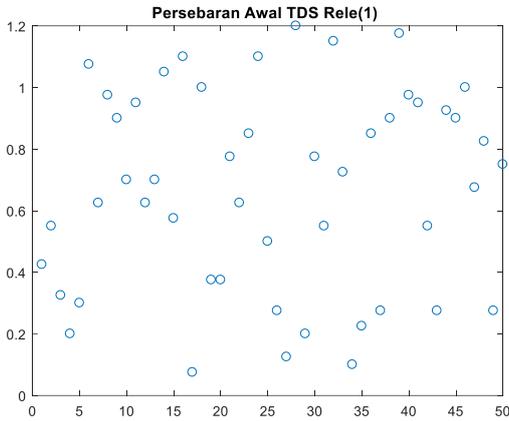
Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup (A)	Primer CT
1	R64MA3	6.6	17736	-	150
2	R64MA	6.6	16124	15716	600
3	R1AL17	6.6	16124	15716	1250
4	R1AL13	6.6	5204	4365	1000

Tabel 6. DATA RELE TIPIKAL 4

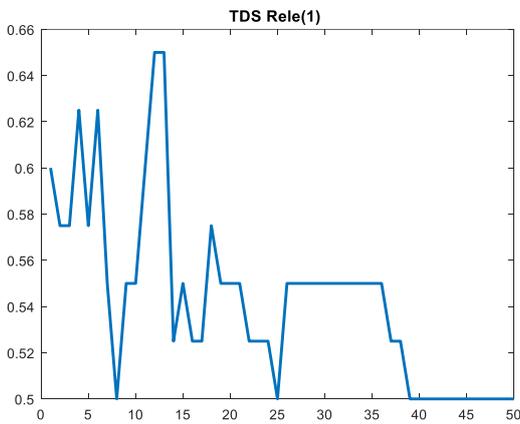
Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup (A)	Primer CT
1	Relay160	6.6	19230	-	75
2	R1AL13	6.6	5204	4752	1000

III. HASIL ANALISIS

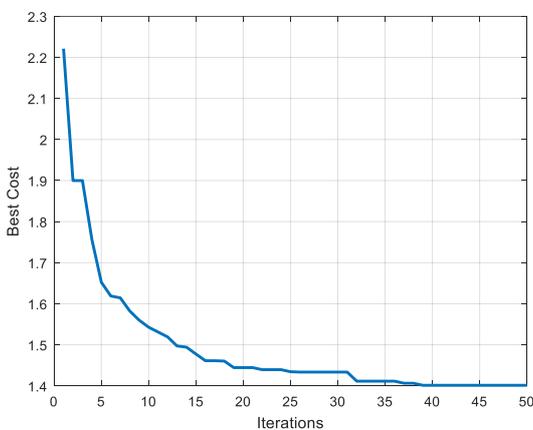
Perhitungan TDS diawali dengan membangkitkan persebaran nilai TDS yang memiliki nilai *cost* agar dapat bergerak ke TDS yang nilai *cost* yang lebih terang.



Gambar. 5. Persebaran Nilai TDS Pada Rele 1 Tipikal 1



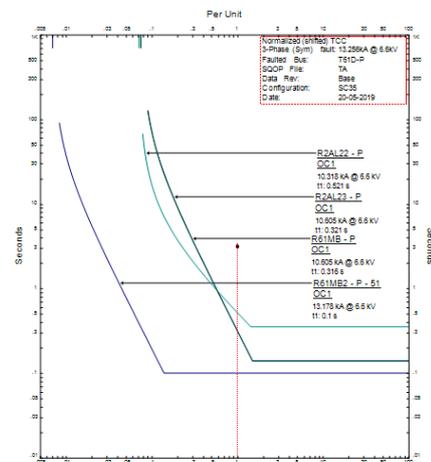
Gambar. 6. Pergerakan Nilai TDS Pada Rele 1 Tipikal 1



Gambar. 7. Pergerakan Nilai Fungsi Objektif Pada Tipikal 1

SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER	CURVE TYPE
1	0.92	0.500	0.1003 s	0.0000 s	Extremely Inverse
2	1.06	0.700	0.3049 s	0.3147 s	Extremely Inverse
3	0.64	0.700	0.3049 s	0.3147 s	Extremely Inverse
4	0.74	0.500	0.4428 s	0.5088 s	Very Inverse
5	0.59	0.125	0.2486 s	0.4877 s	Standard Inverse

Gambar. 8. Tampilan Hasil Setting Rele Tipikal 1



Gambar. 9. Hasil TCC Tipikal 1 ketika Rele 1 Sebagai Pengaman Utama

Meninjau dari *datasheet* rele [6], [7], [8] yang digunakan yaitu dengan *Manufacture* ALSTOM dengan tipe P142, P220, P343 dan Standard IEEE [3] didapatkan parameter yang dimasukkan ke dalam logika AMFA dan berbagai parameter batasan lain juga dimasukkan ke dalam logika AMFA didapatkan hasil seperti berikut :

Tabel 7. RANGKUMAN WAKTU OPERERASI RELE TIPIKAL 1

No	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen
1	0,5	0,1003	-	EI	39
2	0,7	0,3049	0,3147	EI	26
3	0,7	0,3049	0,3137	EI	26
4	0,5	0,4428	0,5088	VI	32
5	0,125	0,2486	0,4877	SI	10

Tabel 8. RANGKUMAN WAKTU OPERERASI RELE TIPIKAL 2

No	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen
LVCB	-	0,3000	-	-	-
1	0,15	0,2983	0,3563	SI	1
2	0,5	0,4428	0,5107	VI	4
3	0,125	0,2486	0,4877	SI	2

Keterangan : EI adalah *Extremely Invers*, VI adalah *Very Invers*, dan SI adalah *Standard Invers*

Dari rincian Tabel 7 dan Tabel 8 terlihat suatu kasus pada tipikal 2 dengan mempertimbangan waktu operasi LVCB CB69LB yang diasumsikan sebesar 0,3 detik akan menggeser nilai TDS rele pertama (rele R2AL17) sehingga waktu operasinya mendekati waktu operasi LVCB. Ketika terdapat dua level tegangan yang berbeda program perhitungan TDS dibuat agar nilai TDS kedua rele sama untuk mempercepat melokalisasi gangguan.

Terlihat juga bahwa antara tipikal 1 dan tipikal 2 pada saluran yang dilewati rele yang sama, yaitu rele nomor 4 tipikal 1 dengan rele nomor 2 tipikal 2 dengan ID rele R2AL22 dan rele nomor 5 tipikal 1 dengan rele nomor 3 tipikal 2 dengan ID rele Relay24 mendapatkan hasil perhitungan TDS yang sama sehingga tidak akan terjadi miskoordinasi pengaman.

Tabel 9. RANGKUMAN WAKTU OPERERASI RELE TIPIKAL 3

No	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen
1	0,5	0,1003	-	EI	8
2	0,65	0,3026	0,3126	VI	8
3	0,65	0,3026	0,3126	VI	9
4	0,125	0,3557	0,5132	EI	14

Tabel 10. RANGKUMAN WAKTU OPERERASI RELE TIPIKAL 4

No	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Tipe Kurva	Konvergen
1	0,5	0,1003	-	EI	1
2	0,125	0,3557	0,4296	EI	1

Keterangan : EI adalah *Extremely Invers*, VI adalah *Very Invers*, dan SI adalah *Standard Invers*

Dari rincian Tabel 9 dan Tabel 10 terlihat bahwa antara tipikal 3 dan tipikal 4 memiliki jumlah rele yang berbeda dan terdapat rele yang sama yaitu rele nomor 4 tipikal 3 dengan rele nomor 2 tipikal 4 dengan ID rele R1AL13. Agar koordinasi pengaman bekerja dengan baik maka rele R1AL13 diharuskan memiliki nilai TDS yang sama. Referensi nilai TDS yang digunakan tentu menggunakan saluran yang terpanjang sehingga perlu dimasukkan suatu parameter pada perhitungan TDS tipikal 4 agar tidak terjadi miskoordinasi pengaman dari hasil program perhitungan TDS. Parameter yang digunakan adalah menambah waktu target CTI yang pada kondisi normalnya adalah 0,2 detik. Untuk perhitungan TDS pada tipikal 4 ini waktu target CTI ditambah hingga menjadi 0,3 detik yang akhirnya hasil perhitungan TDS rele R1AL13 mendapatkan nilai TDS yang sama dengan ketika rele R1AL13 di tipikal 3.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan TDS menggunakan metode *adaptive modified firefly algorithm* pada PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan

mempertimbangkan Integrasi dari PLN yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. CTI yang diperoleh pada kondisi saluran normal dari hasil program rata-rata sudah sesuai dengan target CTI yaitu minimal sebesar 0,2 detik.
2. Hasil nilai TDS ketika terdapat beberapa rele dengan level tegangan yang berbeda dan berada pada satu *feeder* yang sama dapat diperoleh dengan hasil nilai TDS yang sama.
3. Hasil nilai TDS dapat diperoleh dengan mempertimbangkan waktu kerja LVCB yang akan mempengaruhi nilai TDS dari rele setelah LVCB.
4. Hasil nilai TDS dengan mempertimbangkan jumlah rele yang lebih sedikit dari satu saluran yang berbeda tipikalnya dapat diperoleh dengan menambah nilai target CTI
5. Nilai TDS yang diperoleh dapat di aplikasikan pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan setelah diintegrasikan dengan PLN.
6. Waktu operasi yang didapatkan menggunakan program AMFA jika di bandingkan dengan waktu operasi yang dihaikan oleh ETAP mendapatkan nilai *error* dibawah 3%

DAFTAR PUSTAKA

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

[2] J. L. Blackburn and T. J. Domin, "Protective Relaying: Principles and Applications," p. 638, 2006.

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

[4] X.-S. Yang and X. He, "Firefly Algorithm: Recent Advances and Applications," *Int. J. Swarm Intell.*, vol. 1, no. 1, p. 36, 2013.

[5] A. Tjahjono *et al.*, "Adaptive modified firefly algorithm for optimal coordination of overcurrent relays," *IET Gener. Transm. Distrib., International Journal* vol. 11, no. 10, pp. 2575–2585, Jul. 2017.

[6] *Datasheet* "MiCOM P141, P142, P143, P144 & P145 Feeder Management Relay Technical Manual." AREVA, 2009.

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

[8] *Datasheet* "MiCOM P220/P225 Motor Protection Relays Technical Manual." Schneider Electric, 2012.