

# Optimasi Koordinasi Sistem Proteksi Inverse-time Over Current Relay pada Sistem Distribusi Radial dengan Pertimbangan Distributed Generator untuk Studi Kasus Area Lahat, Sumatera Selatan

Farrel Grady Savio, Margo Pujiantara, dan Ni Ketut Aryani  
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: margo@ee.its.ac.id

**Abstrak**—PT. PLN merupakan perusahaan yang menyediakan jasa kelistrikan di Indonesia. Agar kontinuitas listrik tetap terjaga PT. PLN area Lahat menambahkan Distributed Generator pada jaringan listriknya. Dengan adanya penambahan Distributed Generator maka koordinasi proteksi pada PT. PLN area Lahat perlu dievaluasi kembali. Koordinasi proteksi yang tepat dibutuhkan agar kontinuitas sistem kelistrikan dapat terjaga dan gangguan yang terjadi dapat diamankan secara selektif dan akurat. Peralatan proteksi yang digunakan pada paper ini adalah Fuse Cut Out dan *Overcurrent Relay* atau rele arus lebih. Fuse merupakan peralatan proteksi yang digunakan pada transformator distribusi dan saluran cabang pada jaringan distribusi sedangkan rele arus lebih digunakan untuk merasakan gangguan hubung singkat yang terjadi dan mengirimkan sinyal pada *Circuit Breaker* / Pemutus Tenaga. Koordinasi antara rele primer dan rele backup perlu diperhatikan agar ketika rele primer gagal bekerja mengisolasi gangguan maka rele backup dapat mengisolasinya sesuai dengan CTI (*Coordination Time Interval*) yang dipilih. Pada umumnya perhitungan nilai TDS (*Time Dial Setting*) rele arus lebih inverse dilakukan dengan cara manual yang membutuhkan waktu cukup lama. Agar perhitungan nilai TDS dapat dicapai lebih cepat maka pada paper ini akan digunakan algoritma *Adaptive Modified Firefly Algorithm* untuk mendapatkan nilai TDS yang minimum dan terkoordinasi antar rele.

**Kata Kunci**—*Adaptive Modified Firefly Algorithm*, *Fuse Cut Out*, Koordinasi Proteksi, Rele Arus Lebih.

## I. PENDAHULUAN

KOORDINASI proteksi yang tepat dibutuhkan agar kontinuitas sistem kelistrikan dapat terjaga dan gangguan yang terjadi dapat diamankan secara selektif dan akurat. Untuk menunjang sistem koordinasi proteksi dibutuhkan peralatan yang handal dan pemilihan parameter proteksi yang tepat, dalam memilih parameter proteksi dibutuhkan analisa dalam menghitung parameter yang dibutuhkan agar mendapatkan setting yang tepat.

Peralatan – peralatan proteksi yang digunakan salah satunya adalah Fuse Cut Out. Fuse Cut Out merupakan alat pemutus rangkaian listrik pada jaringan distribusi yang berfungsi sebagai peralatan proteksi transformator distribusi terhadap gangguan arus lebih atau hubung singkat. Selain sebagai pengaman pada transformator distribusi fuse cut out juga digunakan sebagai pengaman saluran cabang. Koordinasi antar fuse pada transformator distribusi dan pada saluran cabang perlu diperhatikan agar dapat mengisolasi gangguan secara cepat. Peralatan lainnya yang digunakan adalah Rele arus lebih atau *Overcurrent Relay*. Rele arus

lebih digunakan untuk merasakan dan mengenali gangguan baik gangguan hubung singkat maupun gangguan beban lebih dan mengirimkan sinyal ke Pemutus Tenaga atau *Circuit Breaker*. Sedangkan rele arus lebih inverse digunakan untuk mengamankan peralatan akibat gangguan dari arus beban dengan durasi yang lama. Koordinasi antara rele primer dan rele backup perlu diperhatikan agar ketika rele primer gagal bekerja mengisolasi gangguan maka rele backup dapat mengisolasinya sesuai dengan *Coordination Time Interval* (CTI) yang akan dipilih. Selain pada pemilihan CTI, dalam menentukan koordinasi antar rele perlu diperhatikan bentuk kurva dari masing-masing rele agar tidak terjadi kesalahan urutan operasi. Parameter – parameter yang perlu ditentukan dalam melakukan *setting* rele antara lain arus pickup, jenis kurva dan TDS.

PT. PLN sebagai perusahaan yang menyediakan kelistrikan bagi masyarakat, untuk menjaga kontinuitas listrik maka PT. PLN area Lahat menambahkan Distributed Generator pada jaringan listriknya. Dengan adanya penambahan Distributed Generator, maka koordinasi proteksi pada PT. PLN area Lahat perlu dievaluasi kembali. Oleh karena itu, pada paper ini akan dibahas mengenai evaluasi koordinasi proteksi pada PT. PLN Area Lahat dengan mempertimbangkan Distributed Generator dengan menggunakan algoritma *adaptive modified firefly algorithm*.

## II. SISTEM PROTEKSI DAN ALGORITMA ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM

Jaringan distribusi disupply dari sumber yang merubah energi listrik pada tegangan tinggi menjadi tegangan rendah yang kemudian digunakan oleh pelanggan. Untuk menghindari kerusakan total atau sebagian dari peralatan yang terhubung dan memastikan kontinuitas listrik kepada pelanggan sistem proteksi pada jaringan ini sangatlah penting [1]. Distributed Generator pada jaringan distribusi akan memberikan dampak pada sistem proteksi dalam jaringan distribusi tersebut yang sebagian besar merupakan sistem konfigurasi radial [2]. Untuk memaksimalkan manfaat Distributed Generator ketika terjadi gangguan pada salah satu bus dibutuhkan koordinasi proteksi yang baik dalam mengisolasi gangguan [3].

Algoritma Adaptive Modified Firefly Algorithm (AMFA) digunakan untuk mempercepat dan mempermudah perhitungan nilai time dial setting (TDS) pada rele arus lebih dalam menjalankan algoritma diperlukan beberapa input seperti arus hubung singkat yang melewati rele, nilai FLA

Tabel 1.

Koefisien kurva inverse berdasarkan datasheet rele SEPAM S40

Curve Type	Coefficient values		
	K	$\alpha$	$\beta$
Standard	0.14	0.02	2.97
Inverse			
Very Inverse	13.5	1	1.5
Extremely Inverse	80	2	0.808

Tabel 2.

Rekomendasi CTI minimum

Komponen	Waktu (detik)	
	Elektromekanik	Statik
Waktu pembukaan <i>circuit breaker</i>	0.08	0.08
<i>Overtravel</i> Rele	0.1	0
Toleransi dan <i>error</i> pada rele	0.12	0.12
Total CTI	0.3	0.2

Tabel 3.

Data pasangan relay tipikal 1

No	Relay	Tegangan (kV)	Isc Prim (kA)	Isc Back (kA)	Primer CT
1	Relay 9	20	9350	0	400
2	Relay 8	20	7660	7660	1000

Tabel 4.

Data pasangan relay tipikal 2

No	Relay	Tegangan (kV)	Isc Prim (kA)	Isc Back (kA)	Primer CT
1	Relay 10	20	3.78	0	400
2	Relay 11	20	3.3	1.69	400
3	Relay 12	20	1.69	1.69	400

yang dirasakan oleh rele, jarak waktu atau Coordination Time Interval (CTI) antar rele. Perhitungan pada algoritma AMFA dapat memperoleh nilai TDS minimum [4] dan menghasilkan error dibawah 3% dibandingkan dengan hasil simulasi ETAP [5].

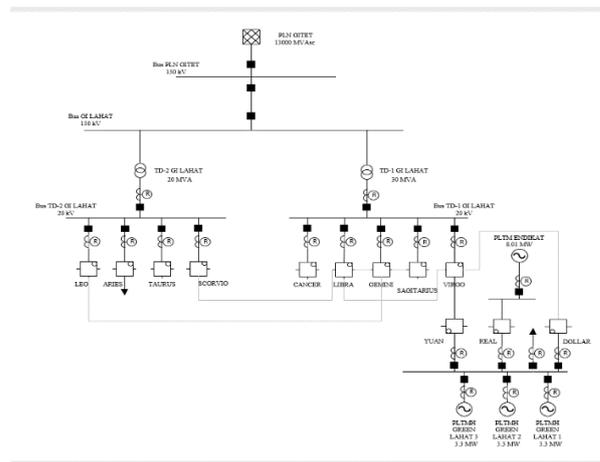
A. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Sistem jaringan distribusi radial merupakan sistem distribusi sederhana dan murah untuk biaya investasinya. Pada sistem jaringan ini arus terbesar merupakan arus yang paling dekat dengan Gardu Induk. Kekurangan dari jenis distribusi ini adalah Kualitas listrik kurang baik, dan jika mengalami gangguan pada satu titik maka titik yang lain tidak akan teraliri.

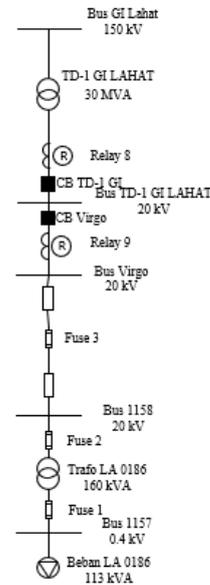
B. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam jaringan sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan pada suatu titik maka dapat menyebabkan arus total dalam titik gangguan tersebut sangat besar. Kondisi ini akan menyebabkan kontinuitas suplai dari sumber menuju beban akan terganggu. Gangguan yang terjadi pada umumnya diklasifikasikan menjadi gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri.

Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan hubung singkat dimana hubung singkat berpengaruh pada semua fasa yang menyebabkan arus dan tegangan pada masing-masing fasa bernilai sama. Jenis gangguan yang termasuk pada gangguan hubung singkat simetri adalah gangguan hubung singkat 3 fasa (L-L-L) dan gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah (L-L-L-G)



Gambar 1. Sistem kelistrikan PT. PLN area lahat.



Gambar 2. Single line diagram tipikal 1.

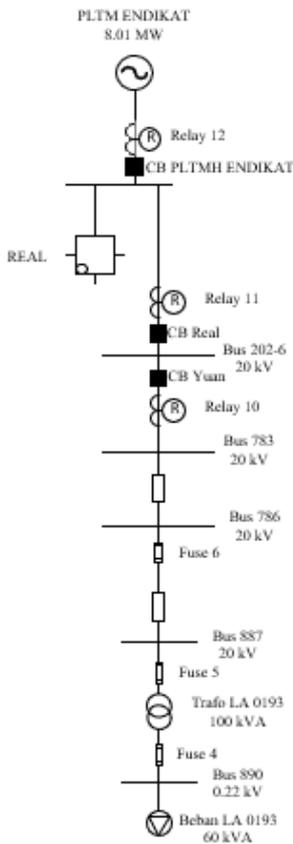
Gangguan hubung singkat tidak simetri / asimetri merupakan gangguan hubung singkat yang mengakibatkan perbedaan sudut fasa maupun magnitudo pada ketiga fasanya. Jenis gangguan hubung singkat tidak simetri / asimetri adalah hubung singkat satu fasa ke tanah (L-G), hubung singkat dua fasa (L-L) dan hubung singkat dua fasa ketanah (L-L-G).

C. Proteksi Dalam Sistem Tenaga Listrik

Dalam suatu sistem tenaga listrik, proteksi yang digunakan harus dapat mengarasi berbagai macam gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik. Salah satu peralatan yang digunakan adalah rele pengaman. Dalam pengoperasian peralatan rele pengaman harus memenuhi beberapa syarat yaitu Sensitifitas, Selektivitas, Kecepatan, Keandalan, Ekonomis [6].

D. Fuse Cut Out

Fuse Cut Out merupakan alat pemutus rangkaian listrik pada jaringan distribusi. Fungsi dari Fuse Cut Out adalah dengan cara membatasi tegangan lebih maupun arus lebih yang mengalir pada suatu sistem. Cara kerja dari Fuse Cut Out adalah dengan meleburkan salah satu bagiannya berupa kawat lebur (fuse link), sehingga bila terjadi gangguan arus lebih akibat gangguan hubung singkat yang terjadi.



Gambar 3. Single line diagram tipikal 2.

Penentuan Rating Fuse Cut Out sebagai pengaman trafo distribusi adalah dengan melihat arus inrush pada trafo tersebut.

$$I_{fuse} = 1.02 \frac{s}{d} 1.3 I_n \text{ Trafo (A)} \quad (1)$$

Sedangkan untuk menghitung  $I_n$  trafo dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_n \text{ Trafo} = \frac{\text{Kapasitas trafo (kVA)}}{\sqrt{3} \times \text{Tegangan TM (V)}} \quad (2)$$

**E. Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse**

Parameter yang diperlukan dalam melakukan setting rele arus lebih waktu inverse adalah  $I$  pickup dan Time Dial Setting (TDS). Untuk menentukan setting nilai  $I$  pickup digunakan berdasarkan British Standard 142 yaitu:

$$1,05 \text{ FLA} < I_p < 1,3 \text{ FLA} \quad (3)$$

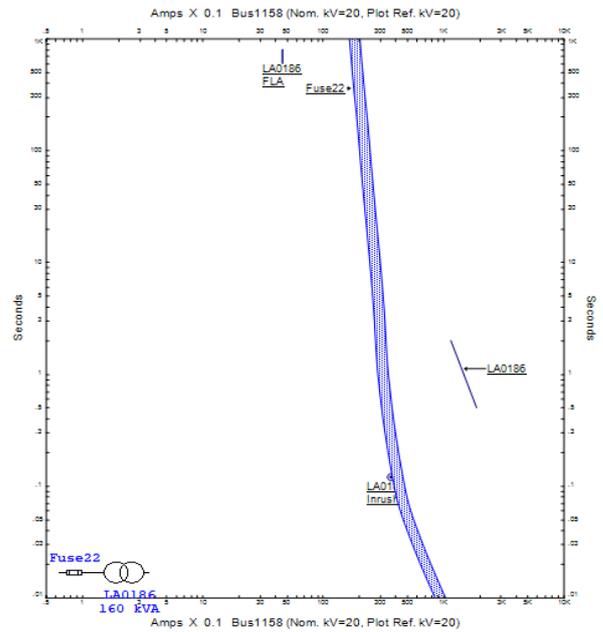
Sedangkan untuk setting  $I$  pickup menggunakan pembagian  $I_{set}$  dan CT Primer dari relay yang terpasang.

$$T_{ap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primer}} \quad (4)$$

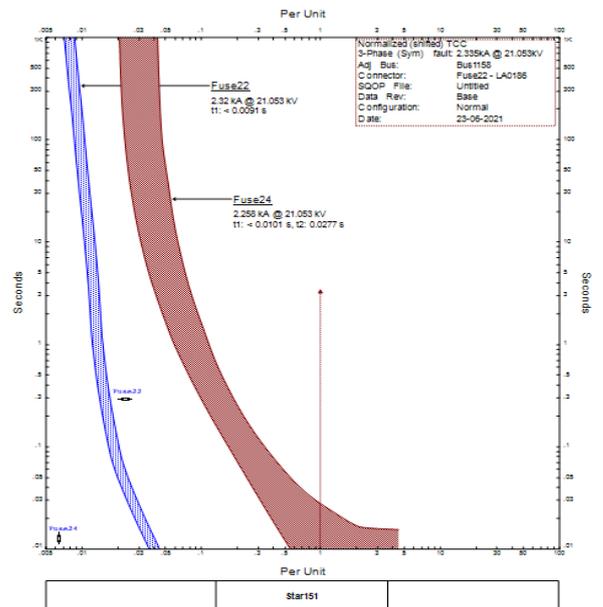
Dalam menghitung nilai Time Dial Setting menggunakan persamaan sesuai dengan datasheet manufaktur pada rele arus lebih, pada paper ini digunakan rele Sepam S40 [8].

$$t = \frac{k}{\left(\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)} \times \frac{TDS}{\beta} \quad (5)$$

$t$  adalah waktu operasi dari rele, TDS adalah nilai *time dial setting* yang akan dicari,  $I$  adalah arus hubung singkat 3 fasa,



Gambar 4. Kurva fuse terhadap inrush current dan damage curve trafo.



Gambar 5. Koordinasi proteksi antara fuse 1 pada trafo distribusi dan fuse 3 pada saluran cabang.

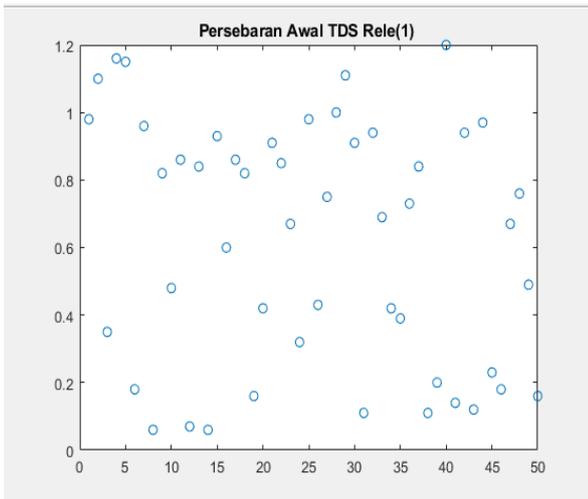
$I_{set}$  adalah arus *pickup*, nilai  $\alpha, \beta$  dan  $k$  adalah nilai koefisien kurva. Koefisien kurva inverse berdasarkan an datasheet rele SEPAM S40 tertera pada Tabel 1.

**F. Clearing Time Interval (CTI)**

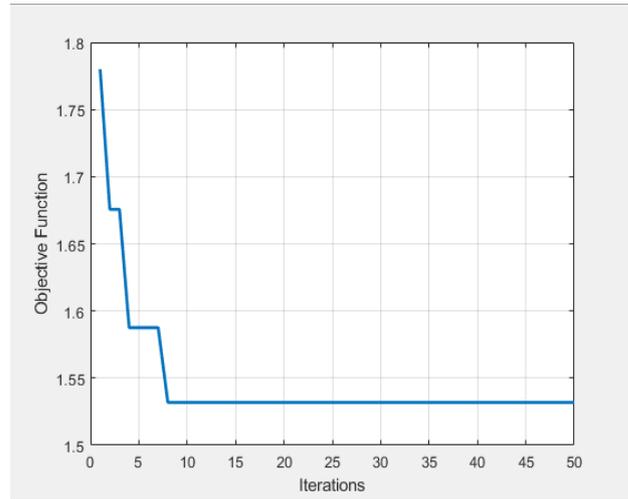
Agar koordinasi proteksi rele dapat berjalan dengan optimal maka diperlukan waktu operasi backup rele lebih besar daripada rele primer pada lokasi gangguan yang sama. Berdasarkan standar IEEE 242 rekomendasi CTI minimum dapat dilihat pada Tabel 2 untuk jenis rele elektromekanik dan rele statik [7].

**G. Distributed Generator**

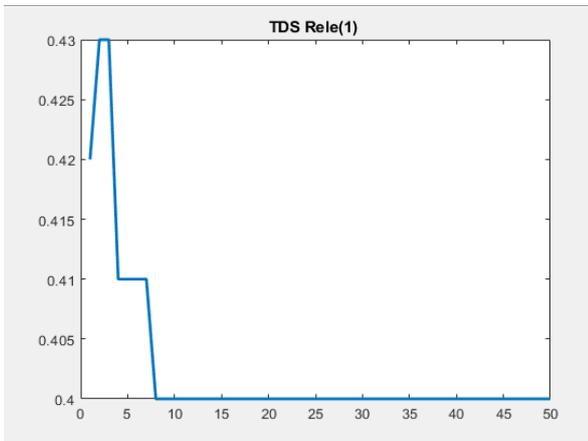
Distributed Generator atau DG mengacu pada pembangkitan listrik yang dekat dengan beban. Sumber daya yang digunakan untuk membangkitkan DG adalah Energi Baru Terbarukan atau EBT dan cogeneration (Produksi Listrik dan panas secara bersamaan) [8].



Gambar 6. Persebaran awal TDS Rele 10 pada tipikal 2



Gambar 8. Perubahan nilai *objective function* untuk tipikal 2.



Gambar 7. Perubahan nilai TDS Rele 10 pada tipikal 2.

SETTING RELAY					
Relay No.	PICKUP	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER	CURVE TYPE
1	0.18	0.400	0.3054 s	0.0000 s	Standard Inverse
2	0.11	0.670	0.5115 s	0.5115 s	Standard Inverse
3	0.76	0.530	0.7150 s	0.7150 s	Standard Inverse

Gambar 9. Hasil perhitungan TDS untuk tipikal 2.

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon \tag{6}$$

$x_i$  menunjukkan posisi kunang-kunang  $i$ , sedangkan  $x_j$  adalah posisi dari kunang-kunang dari kunang-kunang lain yang akan dijadikan acuan,  $\beta$  adalah faktor ketertarikan kunang-kunang (attractiveness),  $\gamma$  adalah faktor kemampuan penyerapan cahaya,  $r$  adalah jarak antara kunang-kunang  $i$  dan  $j$ ,  $\alpha$  adalah parameter acak (randomization) pergerakan kunang-kunang, dan  $\epsilon$  adalah nilai vector acak dari distribusi gaussian.

I. Adaptive Modified Firefly Algorithm

Adaptive Modified Firefly Algorithm yang digunakan untuk menentukan koordinasi rele arus lebih (OCR) pada sistem kelistrikan 4 bus ketika terdapat DG (Distributed Generation). Berdasarkan hasil dari jurnal waktu operasi rele menggunakan AMFA lebih cepat 41.63%. Hasil yang lebih cepat ini dikarenakan nilai  $\alpha$  yang berubah-ubah [12].

$$\alpha^{k+1} = \alpha^k \times (1/2 \times k_{max})^{\frac{1}{k_{max}+1}} \tag{7}$$

$k$  adalah nilai iterasi dan  $k_{max}$  adalah iterasi maksimum yang telah ditentukan. Sehingga  $\alpha^k$  menunjukkan nilai  $\alpha$  ketika di iterasi tertentu. Sedangkan  $\alpha^{k+1}$  adalah perubahan nilai  $\alpha$  ketika di iterasi telah bertambah.

III. SISTEM KELISTRIKAN PT. PLN AREA LAHAT DAN PERANCANGAN ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM

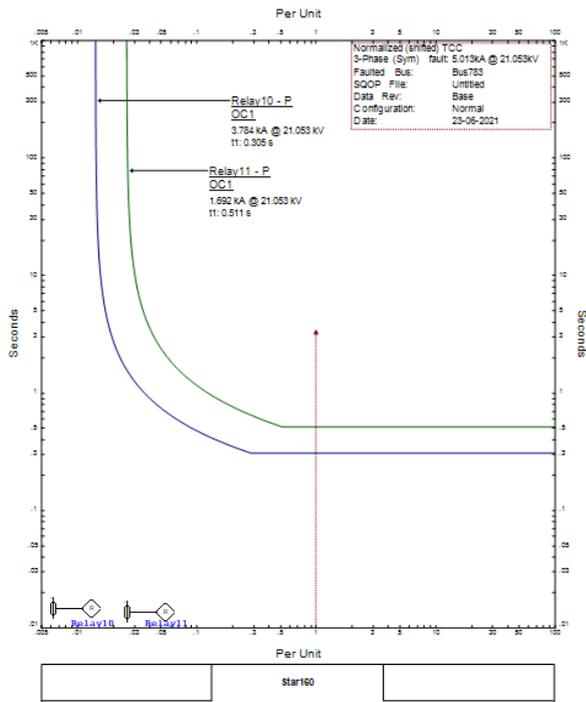
4 Distributed Generator akan ditambahkan pada sistem kelistrikan pada PT. PLN Area Lahat. 4 Distributed Generator tersebut yaitu PLTM Endikat dan 3 PLTMH Green Lahat yang akan terhubung pada bus 3 dan bus 202-6 sebesar 20 kv. 4 Distributed Generator ini memiliki kapasitas sebesar 8.01 MW pada PLTM Endikat dan 3 x 3.3 MW pada PLTMH

Distributed Generator utamanya memiliki efek pada aliran daya, menyebabkan efek negatif dan positif tergantung pada karakteristik jaringan dan lokasi dari koneksi Distributed Generator. Salah satu efek positif dengan digunakannya DG adalah meningkatkan reliabilitas dari jaringan, mengurangi losses pada transmisi dan meningkatkan power quality [8].

Masalah proteksi utama yang berhubungan dengan koneksi jaringan DG dapat diidentifikasi menjadi : level tegangan yang berubah sepanjang jaringan, tegangan transient akan muncul akibat koneksi dan pemisahan dari generator, aliran daya menjadi *bidirectional*, *short circuit* level akan meningkat, load losses berubah akibat produksi dan level beban, kualitas daya dan *reliability* akan terdampak, koordinasi proteksi harus disetting ulang [8].

H. Firefly Algorithm

Algoritma Firefly terinspirasi dari pola kebiasaan dari kunang-kunang serta intensitas cahaya yang dihasilkannya dimana semua kunang-kunang adalah unisex. Kunang-kunang lain akan tertarik pada lainnya berdasarkan intensitas cahayanya. Artinya kunang-kunang yang lebih terang akan didekati oleh kunang-kunang yang redup [9]. Firefly Algorithm merupakan algoritma efisien dan lebih baik daripada algoritma konvensional lainnya dikarenakan algoritma ini dapat mencari nilai optimal global dan local bersamaan [10]. FA merupakan algoritma yang baru-baru ini digunakan oleh peneliti untuk memecahkan masalah optimasi dalam lingkungan dinamis [11]. Perubahan posisi kunang-kunang dirumuskan melalui persamaan berikut:



Gambar 10. Koordinasi proteksi ketika rele 10 bekerja sebagai pengaman utama.

Green Lahat. Sistem kelistrikan PT. PLN Area Lahat dapat dilihat pada Gambar 1.

Sistem distribusi kelistrikan pada PT.PLN Area Lahat terdiri atas 3 level tegangan yaitu 150 kV, 20 kV dan 0.4 kV. Tegangan 150 kV merupakan tegangan dari bus PLN Gitet yang kemudian akan didistribusikan pada GI Linggau, GI Lahat, GI Pagaralam dan GI Tebing Tinggi. Tegangan 20 kV merupakan tegangan keluaran dari Transformator GI Lahat dan tegangan keluaran Distributed Generator yang akan digunakan untuk mensuplai jaringan distribusinya setelah diturunkan menjadi 0.4 kV melewati transformator distribusi.

Dalam menghitung setting proteksi akan diasumsikan dilakukan secara 2 tipikal agar generator/suplai dapat trip dalam waktu terlama karena generator/ suplai merupakan peralatan vital dan hubung singkat pada kedua tipikal diasumsikan didalam network. Tipikal pertama dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan tipikal kedua dapat dilihat pada Gambar 3.

Arus hubung singkat yang dirasakan oleh rele primer dan rele backup saat terjadi gangguan adalah arus hubung singkat maksimum yaitu 3 fasa – 1/2 cycle. Tabel 3 adalah tabel data pasangan rele dan arus hubung singkat utama dan backup yang mengalir pada rele tersebut untuk tipikal 1 dan Tabel 4 untuk tipikal 2.

#### IV. HASIL ANALISIS

##### A. Perhitungan Fuse Cut Out

Perhitungan fuse dilakukan secara manual dengan melihat nilai Inrush current pada trafo distribusi untuk fuse yang dihubungkan pada trafo tersebut dan melihat nilai Inrush current pada seluruh trafo pada saluran cabang. Dalam mencari rating  $I_{fuse}$  digunakan persamaan (1) dan (2).

Pada pemilihan fuse, fuse dianggap aman apabila memenuhi standar pada SPLN 64:1985. Berdasarkan perhitungan pada persamaan (1) dan (2) pada fuse incoming trafo distribusi 160 kVA dipilih fuse Bussmann 24kV Size

Tabel 5.

Rangkuman setting rele pada tipikal 1

No	ID Relay	I pickup	TDS	Top Primer (s)	Top Backup (s)	Konvergen Pada Iterasi
1	Relay 10	0.18	0.4	0.305	0	8
2	Relay 11	0.11	0.67	0.511	0.511	8
3	Relay 12	0.76	0.53	0.715	0.715	8

Tabel 6.

Rangkuman setting rele pada tipikal 2

No	ID Relay	I pickup	TDS	Top Primer (s)	Top Backup (s)	Konvergen Pada Iterasi
1	Relay 9	0.15	0.4	0.305	0	2
2	Relay 8	0.91	0.47	0.509	0.509	3

6.3 A model 24TDMEJ, pada outgoing trafo dipilih dipilih fuse Siemens 0.5 kV Size 250 A model 3NA2 2, kurva fuse tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Sedangkan pada fuse yang berada pada saluran cabang untuk tipikal 1 dipilih fuse Mitsubishi 24kV Size 40 A model BA-200CZ. Koordinasi fuse 1 pada trafo distribusi dan fuse 3 pada saluran cabang tertera pada Gambar 5.

##### B. Perhitungan TDS menggunakan algoritma Adaptive Modified Firefly Algorithm

Perhitungan TDS menggunakan algoritma Adaptive Modified Firefly Algorithm atau AMFA dilakukan dengan menggunakan software matlab. Cara kerja algoritma AMFA adalah dengan membangkitkan persebaran nilai-nilai TDS yang kemudian nilai TDS ini akan bergerak menuju *objective function* yang lebih terang. Dalam melakukan perhitungan diperlukan pengisian beberapa parameter seperti tegangan, nilai FLA, arus hubung singkat maksimum pada saat rele bekerja menjadi rele primer dan rele backup, jumlah belitan primer trafo arus, tipe kurva yang digunakan dan waktu operasi minimum rele bekerja. Persebaran awal TDS dapat dilihat pada Gambar 6 untuk tipikal 2. Untuk perubahan nilai TDS dapat dilihat pada Gambar 7.

Pada Gambar 8 dapat terlihat persebaran awal TDS pada rele 1 dengan persebaran diantara nilai 0.01 – 1.2, Setelah didapatkan nilai persebaran awal maka langkah selanjutnya adalah mendapatkan *objective function* atau fungsi objektif dari persebaran TDS yang didapatkan dari 50 populasi tersebut. Fungsi objektif adalah penjumlahan waktu operasi rele primer untuk seluruh rele.

Apabila telah didapatkan *objective function* pada setiap populasi kemudian membandingkan nilai *objective function* pada setiap populasi. Pada populasi yang memiliki nilai *objective function* yang lebih besar akan bergerak menuju nilai *objective function* yang lebih rendah. Perubahan nilai *objective function* ini akan menyebabkan perubahan nilai TDS. Pada setiap iterasi nilai *objective function* juga akan diperbarui sesuai dengan TDS yang sudah berubah. Perubahan ini akan terus terjadi sampai didapatkan nilai *objective function* yang paling rendah. Pergerakan nilai TDS dapat dilihat pada GAMBAR 9. Setelah didapatkan nilai *objective function* terendah maka program akan menunjukkan nilai TDS, Ipickup, waktu operasi rele primer dan backup

serta tipe kurva yang digunakan. Hasil ini kemudian dapat digunakan untuk melakukan setting pada program ETAP. Hasil akhir dari program dapat dilihat pada GAMBAR 10. Kemudian dilakukan simulasi pada software ETAP ketika terjadi gangguan pada bus terdekat dengan rele 1. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 10, dapat dilihat waktu operasi yang didapatkan pada algoritma AMFA dan hasil simulasi sudah sama dan dengan CTI yang didapat adalah  $\geq 0.2$  detik maka koordinasi proteksi pada tipikal ini sudah aman.

Hasil perhitungan setting rele dengan menggunakan algoritma *adaptive modified firefly algorithm* dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa setting proteksi menggunakan perhitungan manual dan perhitungan menggunakan algoritma *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada sistem kelistrikan PT. PLN Area Lahat Sumatera Selatan dengan pertimbangan Distributed Generator dapat didapatkan kesimpulan. Algoritma *Adaptive Modified Firefly Algorithm* dapat menghitung nilai TDS pada sistem kelistrikan PT. PLN Area Lahat Sumatera Selatan dengan pertimbangan Distributed Generator dengan parameter – parameter input yang telah ditentukan.

Perhitungan menggunakan Algoritma *Adaptive Modified Firefly Algorithm* memenuhi target *Clearing Time Interval* (CTI) yang diperlukan yaitu dengan minimal  $\geq 0.2$  detik.

Perhitungan nilai TDS dengan menggunakan perhitungan manual dan perhitungan menggunakan algoritma *Adaptive Modified Firefly Algorithm* menghasilkan nilai yang relatif sama.

Waktu konvergensi yang didapatkan dengan menggunakan Algoritma *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada kedua tipikal adalah  $< 10$  iterasi. Karenanya perhitungan

menggunakan algoritma *Adaptive Modified Firefly Algorithm* lebih baik digunakan dibandingkan perhitungan manual.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Koumba, A. Cheriti, and M. L. Doumbia, "Impacts of Distributed Generation on the Coordination of Protective Devices in Distribution Network," in *IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2015, pp. 460-465.
- [2] H. Cheung, A. Hamlyn, L. Wang, C. Yang, and R. Cheung, "Investigations of Impacts of Distributed Generations on Feeder Protections," in *IEEE Power & Energy General Meeting*, 2009, pp. 1-7.
- [3] M. Dewadasa, A. Ghosh, and G. Ledwich, "Protection of distributed generation connected networks with coordination of overcurrent relays," in *37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 2011, pp. 924--929.
- [4] K. Fajriati, M. Pujiantara, and N. K. Aryani, "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," *SinarFe7*, vol. 2, no. 1, pp. 496--503, 2019.
- [5] M. Pujiantara and R. R. Muhammad, "NPerhitungan TDS Overcurrent Relay Menggunakan Adaptive Modified Firefly Algorithm Pada PT. Pertamina RU V Integrasi Dengan PLN," *SinarFe7*, vol. 2, no. 1, pp. 478--483, 2019.
- [6] P. Dondi, D. Bayoumi, C. Haederli, D. Julian, and M. Suter, "Network integration of distributed power generation," *J. power*, vol. 106, no. 1-2, pp. 1-9, 2002.
- [7] IEEE Industry Applications Society, *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. New Jersey: IEEE, 2001.
- [8] L. Dulău, L. Ioan, M. Abrudean, and D. Bică, "Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems," in *Procedia Technology*, 2014, pp. 681-686, [Online]. Available: doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.549.
- [9] X.-S. Yang and X. He, "Firefly Algorithm: Recent Advances and Applications," *Int. J. swarm Intell.*, vol. 1, no. 1, pp. 36--50, 2013.
- [10] T. Apostolopoulos and A. Vlachos, "Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem," *Int. J. Comb.*, vol. 2011, 2010.
- [11] Y. Zhang, L. Wu, and S. Wang, "Solving two-dimensional HP model by firefly algorithm and simplified energy function," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013, 2013.
- [12] 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.