

Koordinasi Adaptif DOCR Pada Sistem Transmisi *Loop* Multi Generator Menggunakan *Modified Firefly Algorithm-Artificial Neural Network*

Yolanda Dewi Puspita Ayu, Daeng Rahmatullah, Istiyo Winarno

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah Surabaya

Email: yolandaayu2@gmail.com

Abstract : Protection system is a very important component in the electric power distribution system. With good reliability, the distribution of electrical power will be better, one of which is by minimizing disruption to the system quickly, precisely and accurately. Components used in protection systems are directional overcurrent relays (DOCR). In this study proposed optimal and adaptive protection coordination using the Modified Firefly Algorithm-Artificial Neural Network (MFA-ANN) tested on the IEEE 9 real bus loop system with 4 generation combinations. Optimization using MFA will get the Time Delay Setting (TDS) and Pickup (lowset) values. The ANN used is Backpropagation Lavenberg Marquardt (BPLM) After the BPLM learning process, we will get the weight and bias values of the training results and later as a reference value to get the value of TDS and Pickup relay. The process will produce relay settings automatically based on the results of optimization and MFA-ANN training which are then simulated on the IEEE 9 bus loop system. The results achieved by MFA-ANN are suitable methods for modeling optimal and adaptive relay coordination systems. ANN training with the BPLM algorithm produces the smallest MSE value of 5.9308×10^{-10} .

Keywords: Protection Coordination, Directional Overcurrent Relay (DOCR), Modified Firefly Algorithm (MFA), Backpropagation Lavenberg Marquardt (BPLM)

PENDAHULUAN

Sistem proteksi memegang peranan penting terhadap kelangsungan dan keamanan dalam penyaluran daya listrik. Pengamanan pada sistem transmisi harus diperhatikan secara serius, karena sistem transmisi merupakan proses penyaluran daya listrik dari pusat pembangkit sampai ke distribusi. Namun, pada kenyataannya dalam proses penyaluran daya listrik masih banyak terjadi gangguan sehingga dapat mempengaruhi tingkat keandalan sistem tersebut.

Rele arus lebih berarah atau *Directional Over Current Relay* (DOCR) adalah rele yang sering dipakai dalam sistem proteksi *multiloop* pada sistem transmisi. Dalam mendesain sistem proteksi koordinasi rele memegang peranan penting, seperti skema koordinasi harus memastikan cepat selektif dan dapat diandalkan untuk dapat memutuskan bagian sistem tenaga yang mengalami gangguan (Adreson, 1998). Sistem transmisi *loop* multi generator pada sistem proteksi mengakibatkan beberapa masalah dalam koordinasi perlindungan, dengan multi generator yang saling berinterkoneksi menyebabkan sistem menjadi tidak terkoordinasi. Untuk mengatasi masalah tersebut beberapa metode telah diusulkan dengan menggunakan metode *Cascade*

Forward Neural Network (CFNN) untuk mensetting rele menggunakan rele arus waktu *definite* yang bekerja ketika arus yang terbaca oleh rele tersebut melebihi *pick-up setpoint-nya* akan diputus dalam waktu yang sama (Alfin, 2017). Namun hal itu belum cukup, karena perubahan daya yang disuply oleh pembangkit juga akan merubah arus gangguan.

Penelitian ini mengembangkan koordinasi DOCR optimal dan adaptif pada sistem transmisi *loop* menggunakan *Modified Firefly Algorithm-Artificial Neural Network* (MFA-ANN) dengan rele arus lebih waktu *inverse* karena memiliki karakteristik semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Koordinasi rele yang bagus adalah koordinasi rele yang memiliki waktu operasi rele yang secepat mungkin.

Modified Firefly Algorithm (FA) digunakan untuk pengoptimalan waktu operasi rele dan ANN *Backpropagation Lavenberg Marquardt* (BPLM) untuk mendapatkan pengaturan adaptif, sehingga memperoleh pengaturan yang tepat dan optimal untuk setiap perubahan kombinasi pembangkitan. Skema optimal dan adaptif yang diusulkan diuji pada sistem IEEE 9 bus *real* dengan berbagai perubahan kombinasi pembangkitan

TINJAUAN PUSTAKA

A. Proteksi Dalam Sistem Tenaga Listrik

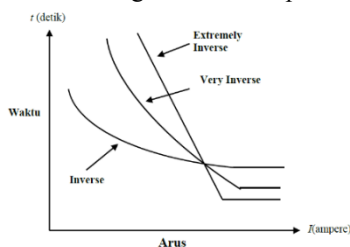
Proteksi merupakan sistem pengamanan yang terdapat pada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya generator, trafo, jaringan transmisi, jaringan distribusi dan lain terhadap kondisi gangguan sistem tersebut. Untuk menjamin keandalan, sebuah rele pengamanan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Wahyudi, 2004):

1. Kecepatan Bereaksi
Kecepatan rele saat mulai ada gangguan sampai pelepasan pemutus (CB).
2. Kecepatan Operasi (*Sensitivity*)
Merupakan kemampuan rele pengamanan untuk memberikan respon bila merasakan gangguan.
3. Selektif (*Selectivity*)
Kemampuan rele pengamanan untuk menentukan titik dimana gangguan muncul dan memutuskan rangkaian dengan membuka CB terdekat.
4. Keandalan (*Reliability*)
Merupakan jumlah rele yang bekerja atau mengamankan terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan proteksi yang baik adalah 90-99%.
5. Ekonomis
Penggunaan rele selain memenuhi syarat diatas, juga harus disesuaikan dengan harga peralatan yang diamankan.

B. Setting Rele Pengaman

Rele pengamanan yang digunakan pada sistem tenaga adalah rele arus lebih. Rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Sebaliknya, jika arus gangguan kecil maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama (Sahoo, 2014). Gambar 1 menunjukkan kurva karakteristik rele arus lebih waktu invers.

Untuk *setting* rele arus lebih waktu *inverse* dapat mensetting dua bagian yaitu setelan *pickup* dan *time dial*. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan memilih *tap*.



Gambar 1. Karakteristik Standart Inverse, Very Inverse dan Extremely Inverse (Sumber: Daeng, 2018)

Adapun untuk menentuka besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Tap = I_{set} \times \frac{CT_{Sekunder}}{CT_{Primer}} \quad (1)$$

Dimana : I_{set} merupakan arus *pickup* dalam *ampere*.

Berdasarkan *standard british* BS 142 batas penyetelan arus *pickup* adalah sebagai berikut:

$$1,05 I_{fla} < I_{set} < 1,4 I_{fla} \quad (2)$$

I_{fla} adalah arus saat beban maksimum peralatan. Menentukan waktu operasi rele dilakukan dengan berdasarkan IEC 255-3 *setting time dial* didapatkan melalui persamaan:

$$td = \frac{k \times tds}{\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}}\right)^{\alpha} - 1} \quad (3)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

TDS = *time dial setting*

I_{scmax} = nilai arus hubung singkat maksimum (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

α = koefisien invers (lihat tabel 1)

k = koefisien invers (lihat tabel 1)

Tabel 1. Koefisien *Inverse Time Dial*

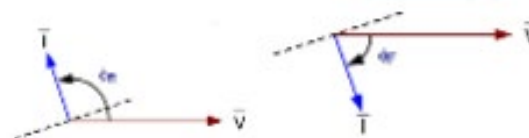
Tipe Kurva	Koefisien	
	α	k
<i>Standard Inverse</i>	0,02	0,14
<i>Very Inverse</i>	1,00	13,50
<i>Extremely Inverse</i>	2,00	80

C. Directional Over Current Relay (Rele Arus Lebih Berarah)

DOCR adalah rele yang digunakan untuk memproteksi jaringan cincin atau jaringan yang terhubung dengan beberapa sumber pembangkit sebab pada jaringan tersebut rele arus lebih tidak bekerja secara selektif.

Elemen *directional* bekerja berdasarkan pergeseran fasa antara besar polarisasi dan besar operasinya. Untuk kondisi *forward*, I lag terhadap V dan untuk kondisi *reverse* I lead terhadap V. Gambar 2 menjelaskan tentang DOCR arah *reverse* dan *forward*.

Rele arus lebih berarah dapat diseting dengan satu setingan untuk satu arah (*conventional DOCR*) dan dapat diseting dua setingan dengan dua arah yang berbeda (*dual settings DOCR*) (Zineldin, 2015).



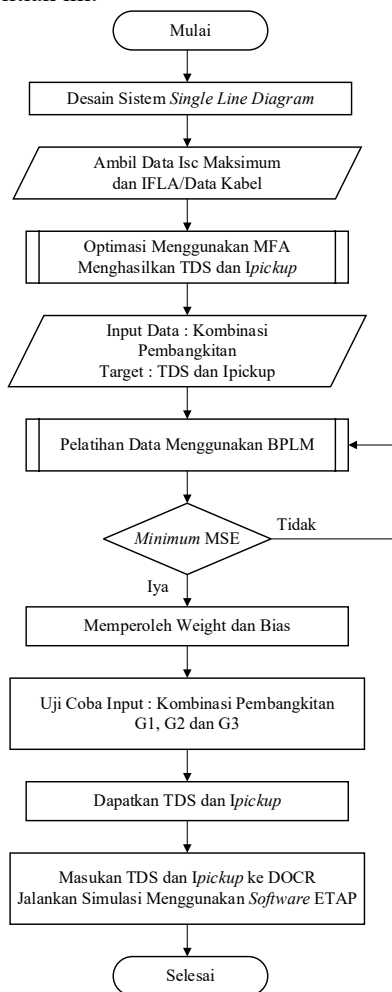
Gambar 2. *Basic Directional Element Reverse and Forward* (Sumber: Rizky, 2016)

Untuk satu setingan pada satu arah, artinya rele arus lebih berarah diseting dengan satu setingan dan satu arah kerja. Arah kerja bisa forward (maju) atau reverse (mundur).

METODE PENELITIAN

A. Proses Penelitian

Poses penelitian dimulai dari mendesain *single line diagram* sistem loop untuk penerapan koordinasi DOCR. Dilanjutkan dengan pengambilan data arus hubung singkat (*Isc*), *full load ampere (Ifla)*. Setelah itu baru dilakukan proses optimasi menggunakan program MFA pada setiap skema pembangkitan hingga didapat nilai *lowset* setting DOCR berupa TDS dengan total waktu operasi rele paling minimum pada setiap skema pembangkitan. Nilai TDS dan *Ipickup* dari MFA sebagai target ANN-BPLM agar mendapatkan nilai yang adaptif pada setiap pembangkitan. Setelah didapat *lowset* pada setiap skema pembangkitan baru maka nilai TDS dan *Ipickup* dimasukkan pada DOCR dan dilakukan simulasi gangguan untuk membuktikan kebenaran koordinasi rele. Gambar 3 menjelaskan tentang proses penelitian ini.



Gambar 3. Flowchart Proses Penelitian

B. Modified Firefly Algorithm (MFA)

Firefly algorithm adalah suatu algoritma yang terinspirasi dari perilaku kunang-kunang pada alam bebas. Algoritma *firefly* yang memiliki karakteristik cahaya berkedip dan dapat dinyatakan dalam tiga rule yaitu (Fister dkk, 2013):

1. Semua kunang-kunang memiliki jenis kelamin yang sama sehingga suatu kunang-kunang mengikuti yang lain dengan mengabaikan jenis kelamin.
2. Ketertarikan sebanding dengan kecerahan yang memiliki kunang-kunang dan keduanya berbanding terbaliki dengan jarak antara dua kunang-kunang. Jika dua kunang-kunang yang kurang cerah akan bergerak mengikuti yang lebih cerah. Suatu kunang-kunang akan bergerak secara acak jika tidak ada yang lebih cerah dibandingkan dirinya.
3. Kecerahan atau intensitas suatu kunang-kunang dipengaruhi atau ditentukan oleh fungsi objektif yang akan dioptimasi

Dalam aplikasinya, intensitas kecerahan tiap kunang-kunang dirumuskan melalui *objective function*. Semakin besar nilai pada kunang-kunang tersebut, makin semakin terang intensitas cahayanya. Selanjutnya, dilakukan perubahan posisi kunang-kunang lain. Perubahan posisi kunang-kunang dirumuskan sebagai berikut:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + ae \quad (4)$$

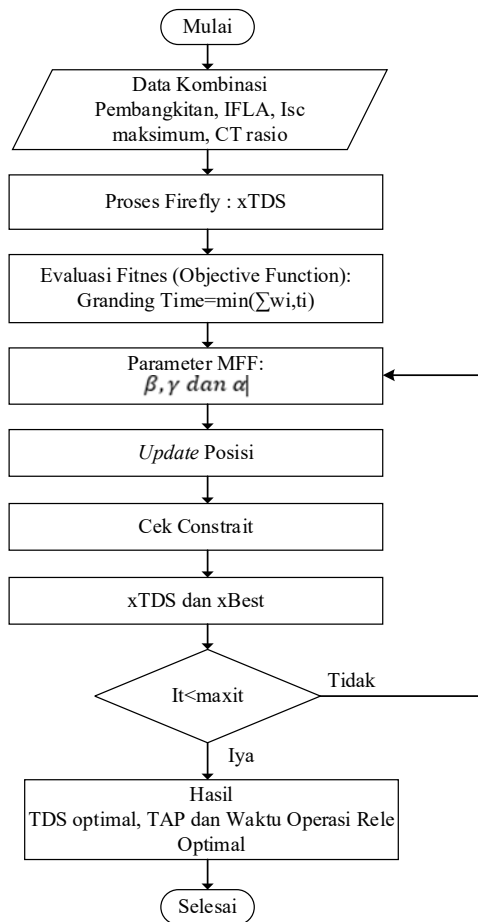
Pada penelitian ini modifikasi *firefly algorithm* dilakukan pada kecepatan kunang-kunang untuk mendapatkan posisi kunang-kunang yang diperbarui setiap iterasi. Sehingga posisi kunang-kunang setelah diperbarui dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$x_i = x_i + \exp(\gamma \times r^2) \times (x_j - x_i) + a_t (randn - 0.4) \quad (5)$$

Dimana :

- x_i = posisi kunang-kunang
- x_j = posisi kunang-kunang pembandingan
- β = faktor ketertarikan kunang-kunang
- γ = faktor kemampuan penyerapan cahaya
- r = jarak antar kunang-kunang i dan j
- a = parameter acak penggerak kunang-kunang
- e = suatu vector yang berisi konstanta acak

Gambar 4 menjelaskan tentang proses optimasi menggunakan *modified firefly algorithm* yang dimulai dari pengumpulan berupa data seperti pada Tabel 2. Selanjutnya proses optimasi dilakukan dengan semua kondisi pembangkitan. Hasil dari MFA berupa nilai *ipickup* dan TDS. Sehingga waktu operasi rele yang didapat lebih cepat dibandingkan dengan mencari menggunakan perhitungan manual.



Gambar 4. Diagram Alir MFA

C. Artificial Neural Network Backpropagation Levenberg-Marquardt (ANN-BPLM)

Secara umum *Artificial Neural Network* (ANN) adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan syaraf manusia. NN ini merupakan sistem adaptif yang dapat merubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui jaringan tersebut.

Jaringan saraf backpropagation menggunakan *Levenberg-Algorithm Marquardt*. Metode ini merupakan kombinasi dari algoritma newton dengan metode penurunan curam (gradien keturunan). Persamaan metode Levenberg-Marquardt (LM) dalam ditulis sebagai berikut (Herry, 2006):

$$W_{k+1} = W_k - (J_k^T J_k + \mu I)^{-1} J_k^T e \quad (6)$$

Dimana:

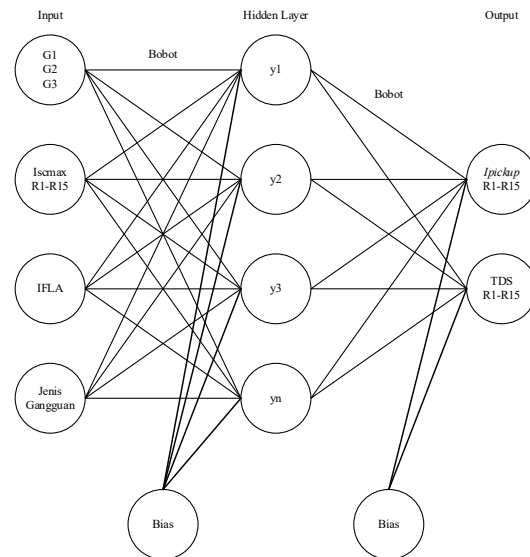
W = bobot

I= identitas matriks

μ = tingkat pelatihan

Perbedaan antara algoritma ini dan backpropagation adalah tentang peningkatan bobot dan bias. Ketika nilai laju pembelajaran sama dengan 0 ($\mu = 0$), maka LM Metode akan sama dengan Gauss newton.

Namun, jika nilai μ lebih besar, kemudian metode LM dengan metode backpropagation sama. Metode adalah untuk mengurangi matriks J Jacobian. JST digunakan 1 lapisan input, 1 lapisan tersembunyi dengan fungsi i aktivasi tansig dan 1 lapisan output dengan fungsi aktivasi purelin. Arsitektur ANN pada penelitian sebagai berikut :



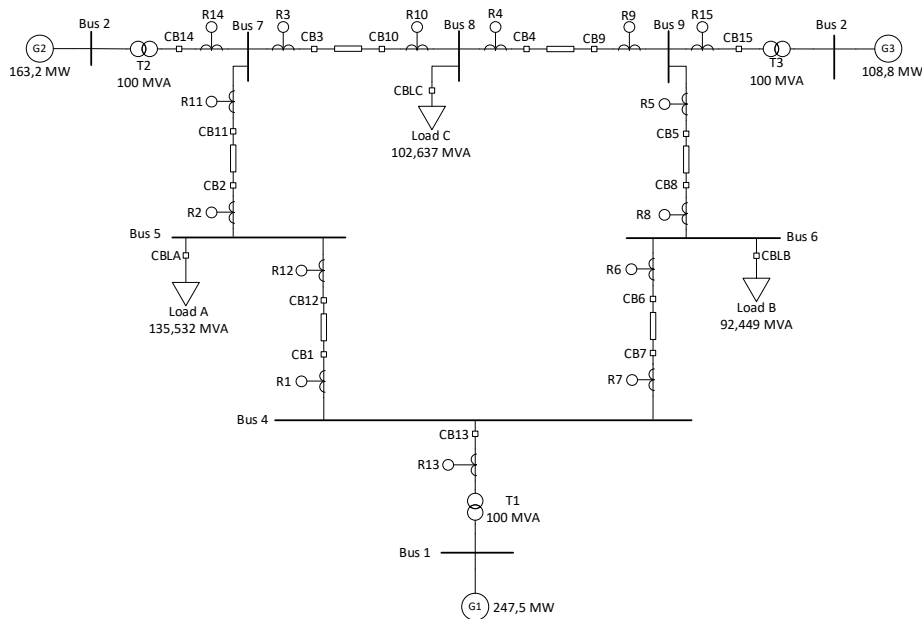
Gambar 5. Arsitektur ANN

Gambar 5 menjelaskan tentang arsitektur ANN pada penelitian ini terdapat layer pertama yaitu input layer dengan 35 neuron yang terdiri dari kombinasi pembangkitan, *iscmax* rele 1-15, *ifla* rele 1-15, 2 jenis gangguan. Layer kedua yaitu hidden layer dengan 1-20 neuron dan layer ketiga yaitu output layer dengan 30 neuron yang terdiri dari *ipickup* rele 1-15 dan TDS rele 1-15.

D. Single Line Diagram Transmisi Loop Multi Generator

Sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah diagram satu garis yang ditunjukkan Gambar 6. Sistem transmisi *loop* IEEE 9 bus multi generator yang terdiri dari 3 buah generator, 3 buah trafo *step up* dengan kapasitas masing-masing sebesar 100 MVA, 3 buah *static load* dan 15 rele sebagai pengaman. Trafo 1 merupakan trafo *step up* dari 16,6 kV dinaikan menjadi 230 kV. trafo 2 merupakan trafo *step up* dari 18 kV dinaikan menjadi 230 kV serta trafo 3 merupakan trafo *step up* dari 13,8 kV dinaikan menjadi 230 kV. Sehingga pada penelitian ini menggunakan sistem transmisi *loop* 230 kV. Penelitian ini terdiri dari 4 skema kombinasi pembangkitan yaitu:

1. G1, G2, G3 On
2. G1, G2 On dan G3 Off
3. G1, G3 On dan G2 Off
4. G1 On dan G2, G3 Off



Gambar 6. Single Line Diagram Sistem

Tabel 2. Data *I_{fla}*, CT dan Arus Hubung Singkat

Rele	G1+G2+G3				G1+G2				G1+G3				G1			
	<i>I_{fla}</i>	CT	<i>I_{scmax}</i> Utama	<i>I_{scmax}</i> Backup	<i>I_{fla}</i>	CT	<i>I_{scmax}</i> Utama	<i>I_{scmax}</i> Backup	<i>I_{fla}</i>	CT	<i>I_{scmax}</i> Utama	<i>I_{scmax}</i> Backup	<i>I_{fla}</i>	CT	<i>I_{scmax}</i> Utama	<i>I_{scmax}</i> Backup
1	105	150/5	2660	1890	105	150/5	1930	1380	105	150/5	2260	1760	105	150/5	1530	1240
2	105	150/5	1890	1140	105	150/5	1380	828	105	150/5	1760	1280	105	150/5	1240	965
3	105	150/5	2760	1990	105	150/5	2450	1890	105	150/5	1280	794	105	150/5	965	689
4	105	150/5	1990	1240	105	150/5	1890	1350	105	150/5	794	309	105	150/5	689	415
5	105	150/5	2500	1750	105	150/5	1350	809	105	150/5	1580	1090	105	150/5	415	139
6	105	150/5	1750	993	105	150/5	809	265	105	150/5	1090	595	105	150/5	139	139
7	105	150/5	2770	2010	105	150/5	2460	1910	105	150/5	1840	1350	105	150/5	1530	1240
8	105	150/5	2010	1250	105	150/5	1910	1360	105	150/5	1350	858	105	150/5	1240	965
9	105	150/5	2520	1760	105	150/5	1360	823	105	150/5	2120	1630	105	150/5	965	689
10	105	150/5	1760	1010	105	150/5	823	279	105	150/5	1630	1140	105	150/5	689	415
11	105	150/5	2630	1870	105	150/5	1900	1350	105	150/5	1140	663	105	150/5	415	139
12	105	150/5	1870	1110	105	150/5	1350	800	105	150/5	663	177	105	150/5	139	139
13	251	300/5	1670	1660	251	300/5	1670	1660	251	300/5	1670	1660	251	300/5	1670	1660
14	251	300/5	1630	1620	251	300/5	1630	1620	0	0	0	0	0	0	0	0
15	251	300/5	1280	1260	0	0	0	0	251	300/5	1270	1270	0	0	0	0

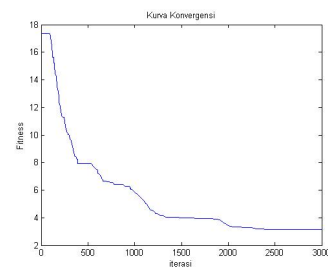
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Optimasi MFA

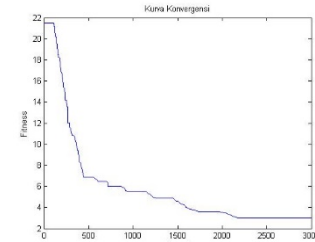
Optimasi dilakukan pada 4 kombinasi pembangkitan yang nantinya akan didapat nilai *lowset setting* pada rele dengan total waktu operasi paling optimal. Pada proses optimasi, sistem transmisi *loop* pada setiap pembangkitan.

Pembagian pengaturan rele berdasarkan pembangkitannya ini digunakan sebagai perhitungan secara akurat untuk semua kondisi pembangkitan. Optimasi ini dilakukan dalam beberapa kali uji sampai didapat hasil nilai TDS dan *Ipickup* dengan waktu total operasi rele tercepat.

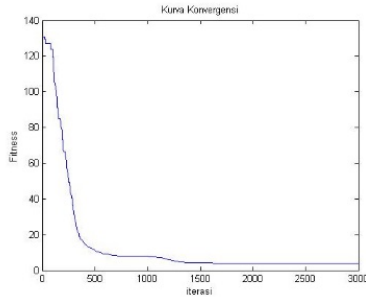
Pada gambar 7 hingga 10 merupakan kurva konvergensi MFA dari 4 skema pembangkitan. Merupakan proses pencarian nilai optimum td (time delay) oleh partikel-partikel MFA. Nilai TDS dan *ipickup* ditampilkan pada Tabel 3.



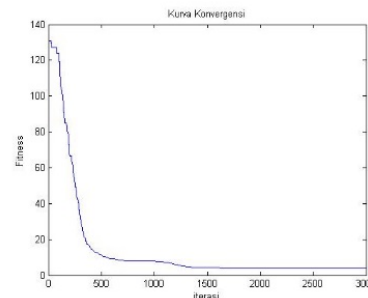
Gambar 7. Kurva Konvergensi Skema 1



Gambar 8. Kurva Konvergensi Skema 2



Gambar 9. Kurva Konvergensi Skema 3



Gambar 10. Kurva Konvergensi Skema 4

Tabel 3. Nilai Perbandingan *Ipickup* (IP) dan TDS *Output* MFA Dengan Perhitungan Manual

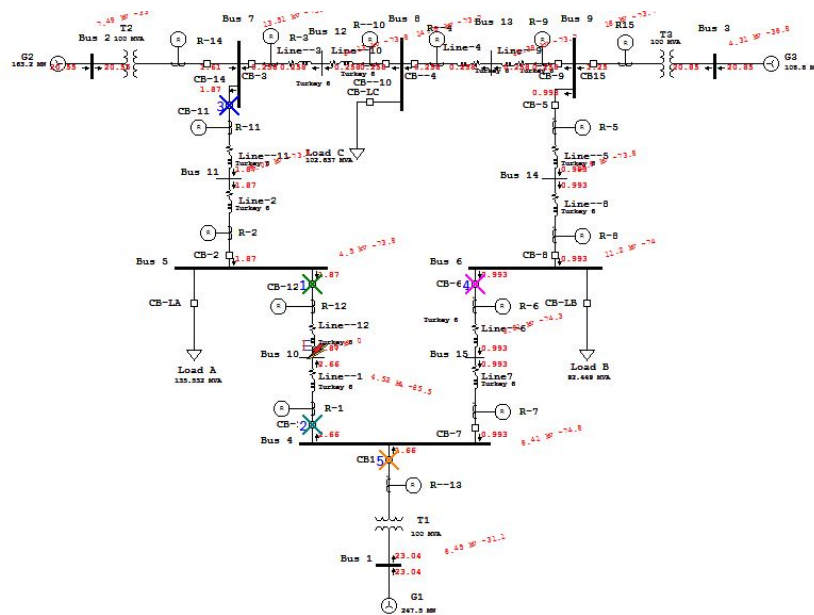
Rele	G1+G2+G3					G1+G2					G1+ G3				G1					
	IP	Manual		MFA		IP	Manual		MFA		IP	Manual		MFA		IP	Manual		MFA	
		TDS	TD	TD	TD		TDS	TD	TD	TD		TDS	TD	TD	TD		TDS	TD	TD	TD
1	3.675	1.5360	0.2120	1.2951	0.1790	3.675	0.8365	0.2191	0.7362	0.1920	3.675	1.4079	0.2686	1.2731	0.2430	3.675	0.7946	0.3318	0.6999	0.2920
2	3.675	0.690	0.1660	0.5350	0.1460	3.675	0.3500	0.1798	0.3286	0.1690	3.675	0.6147	0.1937	0.5060	0.1510	3.675	0.4024	0.2565	0.3541	0.2240
3	3.675	1.71199	0.2188	1.4990	0.1920	3.675	1.5730	0.2554	1.4856	0.2410	3.675	0.1966	0.1175	0.1752	0.1050	3.675	0.6662	0.7578	0.4462	0.1540
4	3.675	0.6969	0.1716	0.6234	0.1530	3.675	0.6585	0.1798	0.5980	0.1630	3.675	0.1257	0.0956	0.0323	0.0050	3.675	0.0707	0.1128	0.0480	0.1010
5	3.675	1.2463	0.1942	1.0537	0.1640	3.675	0.1931	0.1037	0.1690	0.0910	3.675	0.4846	0.1897	0.3396	0.1330	3.675	0.0610	0.1786	0.0053	0.1500
6	3.675	0.4621	0.1480	0.4016	0.11290	3.675	0.0280	0.0932	0.0263	0.0911	3.675	0.1823	0.1759	0.1719	0.1430	3.675	0.0704	0.5813	0.0037	0.5420
7	3.675	1.7446	0.2114	1.6217	0.2060	3.675	1.6095	0.2591	1.5330	0.2460	3.675	0.8341	0.2404	0.7947	0.2280	3.675	0.7946	0.3318	0.6999	0.2920
8	3.675	0.7091	0.1711	0.6358	0.1540	3.675	0.6747	0.1804	0.5854	0.1570	3.675	0.3681	0.1980	0.3609	0.1940	3.675	0.4024	0.565	0.541	0.2240
9	3.675	1.2695	0.1947	1.0494	0.1610	3.675	0.2023	0.1071	0.1925	0.1020	3.675	1.1305	0.2420	1.0991	0.2380	3.675	0.6662	0.7578	0.4462	0.1540
10	3.675	0.4762	0.1500	0.4036	0.1270	3.675	0.3310	0.0982	0.260	0.0964	3.675	0.4505	0.1656	0.0009	0.1480	3.675	0.4707	0.128	0.480	0.1010
11	3.675	1.4873	0.2100	1.3135	0.1850	3.675	0.7941	0.2146	0.7194	0.1940	3.675	0.1196	0.1196	0.0880	0.0991	3.675	0.6107	0.786	0.053	0.1500
12	3.675	0.5780	0.1620	0.5110	0.1430	3.675	0.3287	0.1765	0.3000	0.1610	3.675	0.0096	0.1301	0.0091	0.1180	3.675	0.0704	0.813	0.037	0.5420
13	4.3925	0.2240	0.4600	0.2001	0.4130	4.3925	0.2491	0.5091	0.2340	0.4820	4.3925	0.2531	0.5190	0.2411	0.4960	4.3925	0.2847	0.5840	0.2510	0.5140
14	4.3925	0.2130	0.4630	0.1806	0.4070	4.3925	0.2324	0.5054	0.2210	0.4800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4.3925	0.1255	0.4580	0.1116	0.4060	0	0	0	0	0	4.3925	0.1432	0.5170	0.1382	0.5010	0	0	0	0	0
Total Waktu		3.5929		3.1650			3.0814		2.8655			3.6111		2.9421			3.6793		3.4400	

Tabel 4 menunjukkan nilai *ipickup*, TDS dan TD dari *output* MFA dan perhitungan manual. Nilai tersebut dimasukan untuk *setting* rele DOCR. Dengan menggunakan MFA didapatkan nilai TD yang lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan perhitungan manual. Skema 1 nilai TD=3.1650 detik, skema 2 nilai TD=2.8655 detik, skema 3 nilai TD=2.9421 detik dan skema 4 nilai TD=3.4400 detik. Gambar 11 merupakan koordinasi rele dengan nilai *setting* DOCR *output* dari MFA. Bukti koordinasi rele dilakukan pada skema 1 saluran antara bus 4 dan bus 5.

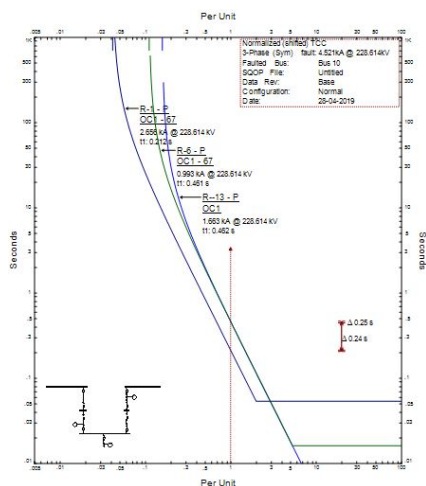
Gambar 12 sampai gambar 15 merupakan kurva hasil dari koordinasi rele pada skema 1 dengan menggunakan perhitungan manual dan MFA. Gambar 12 hasil dari perhitungan manual dan Gambar 13 MFA merupakan gambar kurva rele 1 sebagai rele utama *setting*

DOCR didapat TD=0.212 detik untuk perhitungan manual dan TD=0.179 detik untuk MFA. Rele 6 dan rele 13 sebagai rele *backup* dari rele 1.

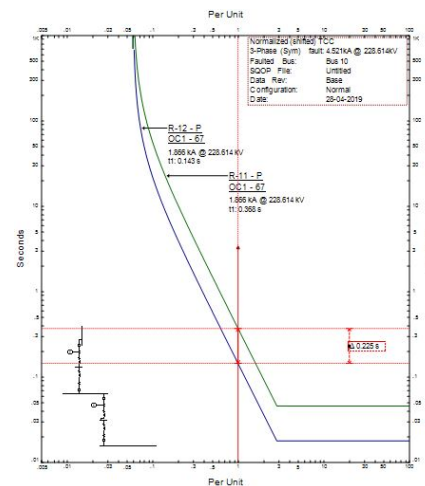
Gambar 14 hasil dari perhitungan manual dan Gambar 15 MFA merupakan gambar kurva rele 12 sebagai rele utama *setting* DOCR didapat TD=0.162 detik untuk perhitungan manual dan TD=0.143 detik untuk MFA. Rele 11 sebagai rele *backup* dari rele 12.



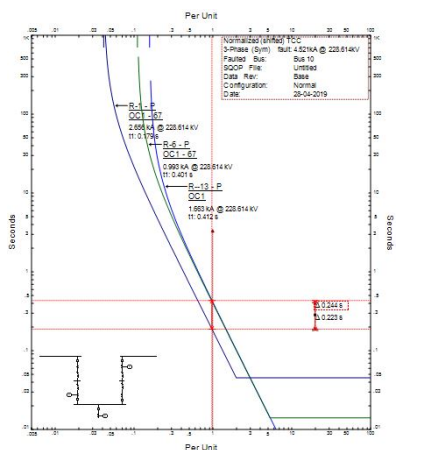
Gambar 12. Simulasi Koordinasi Rele Skema 1



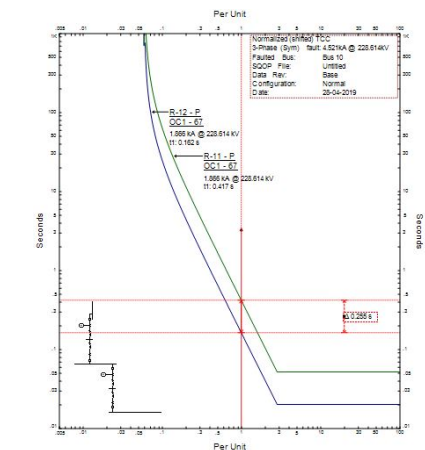
Gambar 12. Kurva Rele 1, Rele 6 dan Rele 13 Perhitungan Manual



Gambar 14. Kurva Rele 12 dan Rele 11 Perhitungan Manual



Gambar 13. Kurva Rele 1, Rele 6 dan Rele 13 MFA

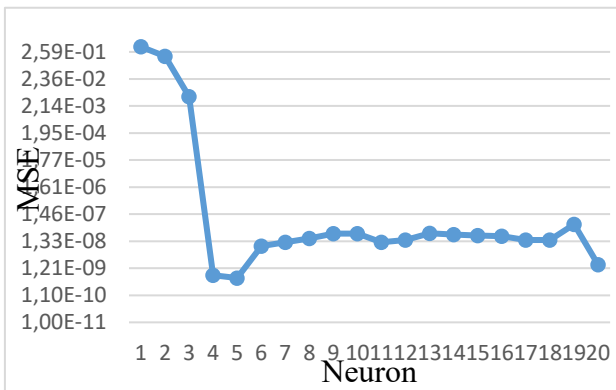


Gambar 15. Kurva Rele 12 dan Rele 11 MFA

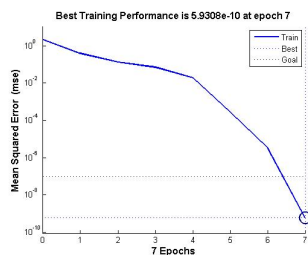
B. Pengujian dan Pelatihan ANN-BPLM

Pada penelitian ini proses *neural network* menggunakan teknik pelatihan algoritma BPLM. Arsitektur dari ANN penelitian ini ditunjukkan pada gambar 5. Untuk inputan dari ANN terdiri dari skema kombinasi, jenis gangguan, arus hubung singkat (*iscmax*), *full load ampere* (ifla) dan untuk nilai target ANN adalah nilai *output* dari MFA pada tabel 3 yang terdiri dari nilai *ipickup* rele 1 sampai rele 15 dan TDS rele 1 sampai rele 15.

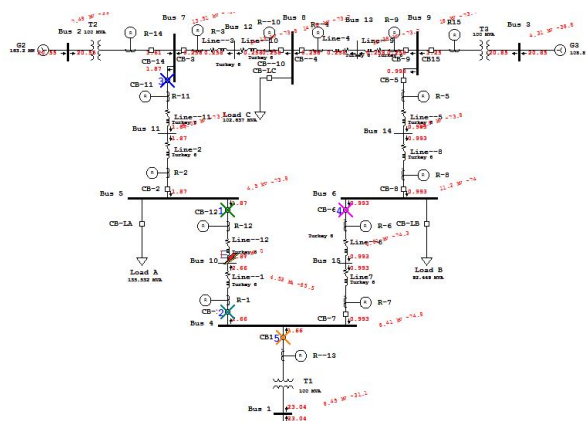
Setelah mengumpulkan data tersebut kemudian dilatih sampai menemukan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang paling minimum. Gambar 16 merupakan nilai MSE dari percobaan 20 neuron yang didapatkan nilai MSE terkecil pada neuron 5 dengan $MSE=5.9308 \times 10^{-10}$ yang ditunjukkan pada Gambar 17.



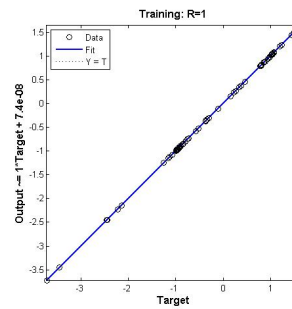
Gambar 16. Kurva Best Performens Validasi



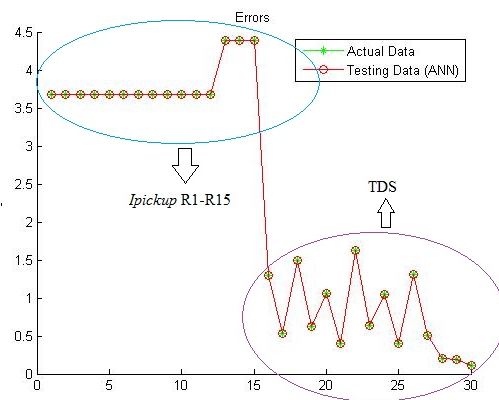
Gambar 17. Kurva MSE Neuron 5



Gambar 20. Simulasi Koordinasi Rele Skema 1



Gambar 18. Kesesuaian Dengan Data Target



Gambar 19. Kurva Pengujian Kesesuaian antara Data Target dan Data Keluaran Pada Skema 1

Gambar 18 menunjukkan kurva kesesuaian antara data target dan output. Dengan nilai kesesuaian mencapai 1 yang artinya kesesuaian antar data target dan keluaran ANN mirip. Dari hasil pelatihan akan didapat nilai bobot dan bias yang nantinya akan digunakan untuk proses pengujian.

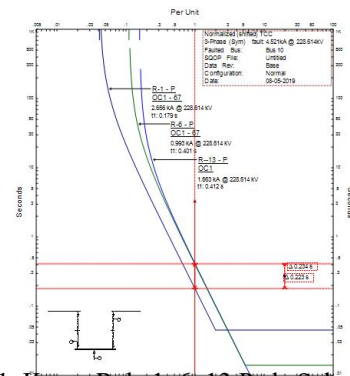
Gambar 19 menjelaskan hasil pengujian kesesuaian antara data target dan data keluaran ANN pada skema 1 yang menunjukkan antara data target dan data keluaran ANN sama.

Tabel 4. Hasil MFA dan ANN

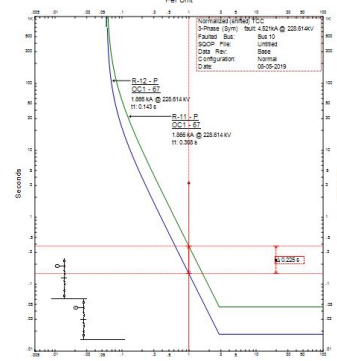
Rel e	G1+G2+G3				G1+G2				G1+G3				G1			
	MFA		ANN		MFA		ANN		MFA		ANN		MFA		ANN	
	<i>I</i> _{pickup}	TDS	<i>I</i> _{pickup}	TDS	<i>I</i> _{pickup}	TDS	<i>I</i> _{pickup}	TDS	<i>I</i> _{pickup}	TDS	<i>I</i> _{pickup}	TDS	<i>I</i> _{pickup}	TDS	<i>I</i> _{pickup}	TDS
1	3.675	1.2951	3.675	1.2951	3.675	0.7362	3.675	0.7362	3.675	1.2731	3.675	1.2731	3.675	0.6999	3.675	0.6999
2	3.675	0.5350	3.675	0.5350	3.675	0.3286	3.675	0.3286	3.675	0.5060	3.675	0.5060	3.675	0.3541	3.675	0.3541
3	3.675	1.4990	3.675	1.4990	3.675	1.4856	3.675	1.4856	3.675	0.1752	3.675	0.1752	3.675	0.1462	3.675	0.1462
4	3.675	0.6234	3.675	0.6234	3.675	0.5980	3.675	0.5980	3.675	0.0323	3.675	0.0323	3.675	0.0480	3.675	0.0480
5	3.675	1.0537	3.675	1.0537	3.675	0.1690	3.675	0.1690	3.675	0.3396	3.675	0.3396	3.675	0.0053	3.675	0.0053
6	3.675	0.4016	3.675	0.4016	3.675	0.0263	3.675	0.0263	3.675	0.1719	3.675	0.1719	3.675	0.0037	3.675	0.0037
7	3.675	1.6217	3.675	1.6217	3.675	1.5330	3.675	1.5330	3.675	0.7947	3.675	0.7947	3.675	0.6999	3.675	0.6999
8	3.675	0.6358	3.675	0.6358	3.675	0.5854	3.675	0.5854	3.675	0.3609	3.675	0.3609	3.675	0.3541	3.675	0.3541
9	3.675	1.0494	3.675	1.0494	3.675	0.1925	3.675	0.1925	3.675	1.0991	3.675	1.0991	3.675	0.1462	3.675	0.1462
10	3.675	0.4036	3.675	0.4036	3.675	0.0260	3.675	0.0260	3.675	0.4009	3.675	0.4009	3.675	0.0480	3.675	0.0480
11	3.675	1.3135	3.675	1.3135	3.675	0.7194	3.675	0.7194	3.675	0.0880	3.675	0.0880	3.675	0.0053	3.675	0.0053
12	3.675	0.5110	3.675	0.5110	3.675	0.3000	3.675	0.3000	3.675	0.0091	3.675	0.0091	3.675	0.0037	3.675	0.0037
13	4.3925	0.2001	4.3925	0.2001	4.3925	0.2340	4.3925	0.2340	4.3925	0.2411	4.3925	0.2411	4.3925	0.2510	4.3925	0.2510
14	4.3925	0.1865	4.3925	0.1865	4.3925	0.2210	4.3925	0.2210	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4.3925	0.1116	4.3925	0.1116	0	0	0	0	4.3925	0.1382	4.3925	0.1382	0	0	0	0

Gambar 20 menunjukkan simulasi koordinasi rele hubung singkat pada saluran antara bus 5 dan bus 4 dapat terkordinasi sangat baik rele bekerja sesuai urutannya koordinasinya, yaitu R12 *trip* yang pertama dan yang kedua R1. R12 dan R1 merupakan rele utama pada saluran antara bus 5 dan bus 4. R1 *trip* yang ketiga, disusul R11, R11 merupakan rele *backup* dari R12. Selanjutnya yang *trip* keempat adalah R6, R6 rele *backup* R1 dan yang *trip* terakhir atau kelima adalah R13 yang juga rele *backup* dari R1. Dengan menggunakan nilai *setting* DOCR keluaran dari ANN yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Gambar 21 merupakan kurva rele 1 *trip* terlebih dahulu pada waktu 0.179 detik dengan arus yang terdeteksi 2.656 kA, disusul rele 6 sebagai rele *backup* pada 0.401 detik dengan arus terdeteksi 0.993 kA dan selanjutnya rele 13 juga sebagai rele *backup trip* pada waktu 0.412 detik arus yang terdeteksi 1.563 kA. Nilai CTI antara rele 1 dan rele 6 0.223 detik dan antara rele 1 dengan rele 13 0.234 detik. Gambar 22 merupakan rele 12 *trip* terlebih dahulu pada waktu 0.143 detik dengan arus yang terdeteksi 1.866 kA, disusul rele 11 sebagai rele *backup* pada 0.368 detik dengan arus terdeteksi 1.866 kA. Nilai CTI antara rele 12 dan rele 11 0.225 detik.



Gambar 21. Kurva Rele 1, 6, 13 Pada Saluran Bus 4 dan 5 Skema 1



Gambar 22. Kurva Rele 12, 11 Pada Saluran Bus 4 dan 5 Skema 1

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis koordinasi dapat disimpulkan bahwa MFA dapat memudahkan mendapatkan nilai *setting* DOCR dengan waktu operasi rele lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan perhitungan manual di setiap skema skema 1 nilai TD=3.1650 detik, skema 2 nilai TD=2.8655 detik, skema 3 nilai TD=2.9421 detik dan skema 4 nilai TD=3.4400 detik. ANN-BPLM mampu mendapatkan nilai yang adaptif dengan nilai MSE 5.9308×10^{-10} , sehingga nilai target dan keluaran ANN hampir sama untuk nilai TDS dan *ipickup* untuk setiap skema. Metode MFA-ANN merupakan metode yang tepat untuk mendapatkan nilai *setting* DOCR dengan waktu operasi rele optimum dan mendapatkan koordinasi rele yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adreson P.M. 1998. *Power System Protection*. John Wiley & Sons. Inc. Canada.
- Alfin Sahrin, Anang Tjahjono, Margo Pujiantara dan Mauridhi Hery Purnomo. 2017. *The Modeling Of Directional Overcurrent Relay In Loop System Using Cascade Forward Neural Network*”, *Journal International Seminar On Intelligent Technology And Its Applications*. pp.69-74.
- Daeng Rahmatullah, Belly Yan Dewantara. 2018. Optimasi DOCR Pada Sistem Distribusi *Loop* Dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO). *J-Eltrik*. Vol 1 no 1.
- Hery P dan Kurniawan A. *Supervised Neural Networks*. Surabaya: Graha Ilmu, 2006.
- I. Fister, X-S Yang and J. Brest. 2013. *A Comperehensive Review Of Firefly Algorithms*. *Swarm Evol.Comput*. vol 13, pp.34-46.
- Rizky F. H, Margo Pujiantara, Ardyono Priyadi. 2016. Koordinasi Proteksi Adaptif Rele Arus Lebih Digital Menggunakan *Artificial Neural Network* Pada Sistem *Mesh* Dengan Pembangkit Tersebar. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 5 no.2.
- Sahoo AK. 2014. *Protection of micro-grid through coordinated directional over-current relays*, in *2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference - South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 2014, hal. 129–134.
- H.H Zineldin, Sharaf Hebatallah. 2015. *Optimal Protection Coordination For Meshed Distribution System With DG Using Dual Setting Directional Over Current Relays*. IEEE. Vol 6 no 1.