

# Optimasi DOCR Pada Sistem Distribusi Loop dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma *Modified Particle Swarm Optimastion* (MPSO)

Daeng Rahmatullah, Belly Yan Dewantara

Universitas Hang Tuah Surabaya  
daengrahmatullah@gmail.com, bellyyandewantara@yahoo.com

Received: Mei 2018; Accepted: Juni 2018; Published: Juli 2018  
DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/je.v1i1.10>

## Abstrak

Untuk mendesain koordinasi proteksi pada sistem radial bukanlah hal yang sulit, namun pada sistem loop merupakan hal yang menantang bagi para peneliti, ditambah lagi sistem loop yang terkoneksi dengan pembangkit tersebar (DG). Untuk mensetting Directional Overcurrent Relay (DOCR) sistem loop hanya menggunakan lowset, sehingga waktu operasi rele tergantung dari besaran arus gangguan. Arus gangguan akan bervariasi apabila ada DG didalam sistem. Perubahan On /OFF DG juga akan membuat arah arus berubah-ubah. Sehingga kita harus mensetting ulang rele proteksi. Untuk mensetting ulang sistem proteksi peneliti membutuhkan lebih banyak waktu. Metode Modified Particle Swarm Optimastion (MPSO) di sarankan untuk mengurangi waktu perhitungan rele proteksi dan mendapatkan waktu proteksi yang paling optimum pada sistem LOOP yang terdapat DG. Data full load ampere (IFLA) peralatan dan Arus gangguan maksimum(Isc max) sebagai input MPSO dan lowset sebagai keluaran MPSO. *Lowset* hasil keluaran MPSO kemudian dimasukkan pada rele sebagai settingan DOCR. Hasil penelitian ini telah diuji dalam simulasi menggunakan software ETAP dengan sukses dan jelas bahwa metode MPSO adalah metode yang tepat untuk mendapatkan *setting* rele dengan waktu yang optimum.

**Kata kunci:** Loop sistem, DG, MPSO

## Abstract

*To design the coordination of protection on radial systems is not difficult, but the loop system is challenging for researchers, plus loop systems connected with distributed generators (DG). For setting up Directional Overcurrent Relay (DOCR) in loop system only use lowset, so the operating time of release depends on rated of fault current. The fault current will vary if there is DG in the system. Change ON/OFF DG will also make the direction of the current fluctuate. So we have to reset the protection relay. To re-setting the protection system researchers need more time.*

*The Modified Particle Swarm Optimization (MPSO) method is recommended to reduce the calculation time of the protection relay and obtain the most optimum protection time in loop system with DG. Full load ampere (IFLA) equipment and Maximum fault current ( $I_{sc\ max}$ ) as inputs MPSO and lowset as outputs MPSO. Lowset output of MPSO then put on rele as setting DOCR. The results of this study have been tested in simulation using ETAP software successfully and it is clear that MPSO method is the right method to obtain the release settings with the most optimum time.*

**Key words:** Loop system, DG, MPSO

## I. PENDAHULUAN

Proteksi sistem tenaga listrik dipasang disetiap susunan sistem tenaga listrik seperti pembangkit, transmisi, dan distribusi. Pada distribusi sistem proteksi pada dasarnya digunakan untuk mendeteksi arus gangguan hubung singkat dan beban lebih dari berbagai penyebab di lapangan salah satunya karena adanya pembangkit tersebar. Pada sebuah sistem radial proteksi rele bisa menggunakan kurva *inverse*, kurva *definite*, atau keduanya. Dibandingkan dengan sistem radial koordinasi proteksi pada sistem loop lebih kompleks. Karena arah arus yang mengalir dari berbagai arah sehingga diperlukan koordinasi proteksi *Directional Over Current Relay* (DOCR).

Pembangkit tersebar (DG) di zaman modern saat ini banyak mengakibatkan berbagai tingkat arus gangguan [1]. Hal ini membutuhkan skema perlindungan dengan estimasi sinyal kesalahan yang efisien dan cerdas pengambilan keputusan dalam kasus terjadinya gangguan tak terduga. Koordinasi proteksi rele untuk sistem yang terdapat DG menggunakan *directional* telah dibahas oleh beberapa makalah [2] dan [3]. Namun variasi kondisi DG setiap waktu berubah sehingga membuat perubahan arah dan nilai arus gangguan. Solusi untuk memproteksi sistem disetiap perubahan kondisi DG dengan menggunakan koordinasi proteksi multi setting rele [4].

Koordinasi yang bagus adalah koordinasi yang memiliki waktu operasi rele yang secepat mungkin. Untuk mendapatkan koordinasi rele yang optimal telah diusulkan menggunakan algoritma optimalisasi yang dibahas dalam karya ilmiah [5] dan [6]. Namun hal itu belum cukup, perubahan daya yang disuply oleh DG juga akan merubah besar arus gangguan yang digunakan. Sehingga nilai setting relay juga akan berubah. Sedikit saja perubahan daya pada setiap pembangkitan maka semua dihitung ulang untuk mendapatkan koordinasi rele yang benar.

Semakin kompleks sistem distribusi tenaga listrik maka perhitungan ulang membutuhkan waktu semakin yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi dari permasalahan tersebut. Menggunakan algoritma PSO untuk mengoptimalkan waktu operasi rele. Sehingga memperoleh pengaturan yang tepat dan optimal untuk setiap perubahan kondisi pembangkitan.

Skema optimal yang diusulkan diuji pada sistem IEEE 9 bus yang di modif. Setelah itu di simulasikan dengan berbagai studi kasus. Hasil simulasi memverifikasi bahwa rele mampu mendeteksi gangguan dan dan bekerja secara cepat sesuai kombinasi pembangkitan.

## II. METODE PENELITIAN

Dalam penulisan ini dibutuhkan suatu metodologi untuk mendapatkan hasil

yang memuaskan. Rancang metodologi dalam mengerjakan proyek ini menggunakan metode *Modified particle swarm optimization (MPSO)*. Untuk menggambarkan proses dan metode penelitian ini maka akan ditampilkan pada *flowchart* proses penelitian pada Gambar 1.

**A. Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)**

*Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)* adalah metode optimasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternative dari algoritma genetika, yang dsering disebut *evolution based procedures* [15].

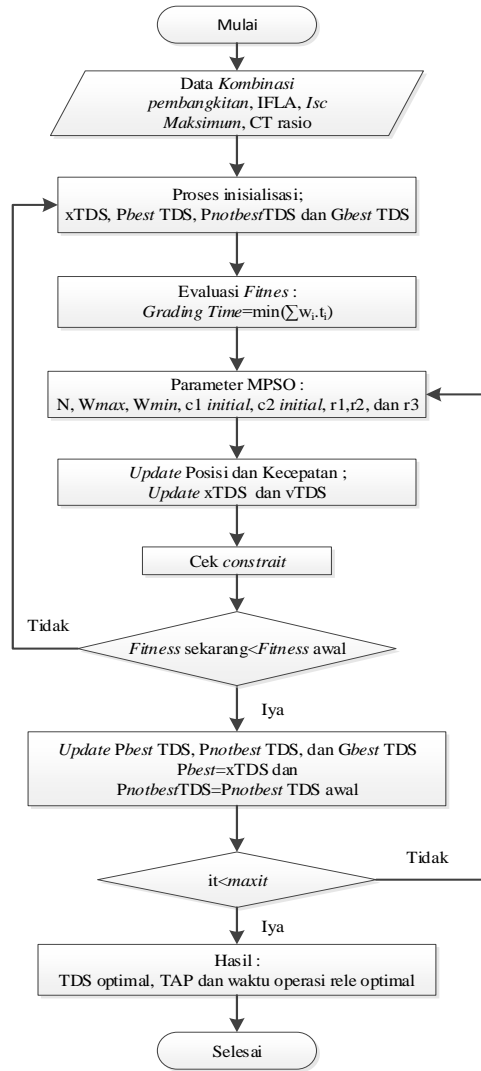
MPSO adalah penyempurnaan dari metode PSO. Berikut rumus MPSO:

$$v_{k+1} = w_k v_k + c_1 r_1 \times (P_{best} - x^k) + c_1 r_2 \times (x^k - P_{notbest}) + c_2 r_3 (G_{best} - x^k) \tag{1}$$

Dimana :

- $w_k$  = inertia weight
- $c_1$  = faktor *learning* untuk *particle*
- $c_2$  = faktor *learning* untuk *swarm*
- $r_1$  = random nilai 1 (0 sampai 1)
- $r_2$  = random nilai 2 (0 sampai 1)
- $r_3$  = random nilai 3 (0 sampai 1)
- $v_k$  = kecepatan setiap *particle*
- $x^k$  = posisi setiap *particle*
- $v_{k+1}$  = kecepatan baru setiap *particle*
- $P_{best}$  = posisi terbaik dari *particle*
- $P_{notbest}$  = posisi bukan terbaik dari *particle*
- $G_{best}$  = posisi terbaik dari populasi

Perbedaan PSO dan MPSO adalah konstanta *Pnotbest* dipasang untuk menghindari nilai yang bukan terbaik di iterasi sebelumnya tidak akan ditemukan pada pada iterasi berikutnya, sehingga mempercepat proses iterasi menemukan nilai paling optimum. MPSO digunakan untuk menggantikan perhitungan manual yang rumit.



**Gambar 1.** Proses MPSO

**Skema Proteksi**

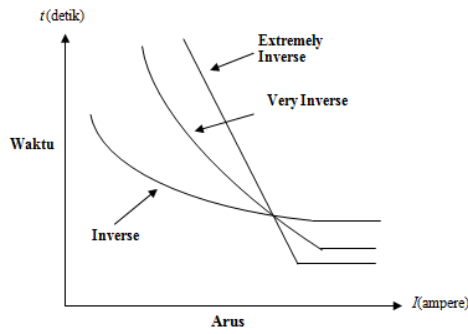
Study literatur meliputi teori pengaman, komponen yang digunakan, algoritma yang digunakan.

**a. Rele Pengaman**

Ada beberapa jenis rele arus lebih berdasarkan jenis waktu tripnya :

- (1) Rele Arus Lebih waktu Invers

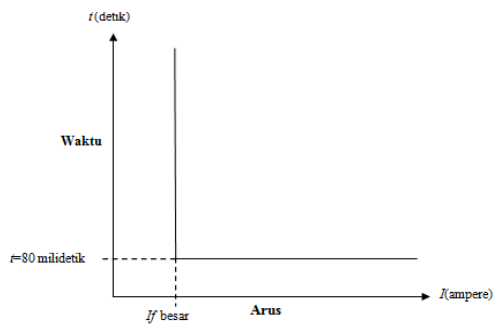
Rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Sebaliknya, jika arus gangguan kecil maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama [3].



**Gambar 2.** Karakteristik *standard inverse, very inverse, dan extremely inverse*

(2) Rele Arus Lebih Waktu *instat*

Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan level arus yang berbeda. Sehingga dengan mengguankan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan waktu tundayang di setting.



**Gambar 3.** Karakteristik rele arus lebih instant

A. Penyetelan Rele Arus Lebih

Untuk melakukan setting pada rele arus lebih maka perlu dilakukan studi aliran daya dan studi hubung singkat agar didapat nilai arus hubung singkat sebagai salah satu nilai parameter dari rele. Studi hubung singkat bertujuan untuk menentukan arus dan tegangan maksimum dan minimum pada bagian-bagian dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis gangguan yang mungkin terjadi [3].

(1) Penyetelan rele waktu inverse

Untuk *setting* rele arus lebih waktu *inverse* dapat mensetting dua bagian yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan memilih *tap*

$$TAP = \frac{I_{set}}{CT\ primary} \tag{1}$$

$I_{set}$  adalah arus *pickup* dalam *Ampere*. Menurut *standard british BS 142*[5] batas penyetelan adalah  $1,05 I_{fla} < I_{set} < 1,4 I_{fla}$  diman  $I_{fla}$  adalah arus saat beban maksimum peralatan.

$$td = \frac{k \times tds}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \tag{2}$$

- $td$  = waktu operasi (detik)
- $tds$  = *time dial setting*
- $I$  = nilai arus (*Ampere*)
- $I_{set}$  = arus *pickup* (*Ampere*)
- $k$  = koefisien *invers 1* (lihat tabel 1)
- $\alpha$  = koefisien *invers 2* (lihat table 1)

**Tabel 1.** Koefisien inverse time dial [5]

Tipe Kurva	Koefisien	
	$k$	$\alpha$
<i>Standard inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very inverse</i>	13,50	1,00
<i>Extremely inverse</i>	80,00	2,00

(2) Penyetelan rele arus lebih instan

Untuk menentukan setting *pickup* ( $I_{set}$ ) menggunakan arus hubung singkat pembangkitan minimum ( $I_{scmin}$ ) dua fasa:

$$1,6 \times I_{FLA} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc\ min} \tag{3}$$

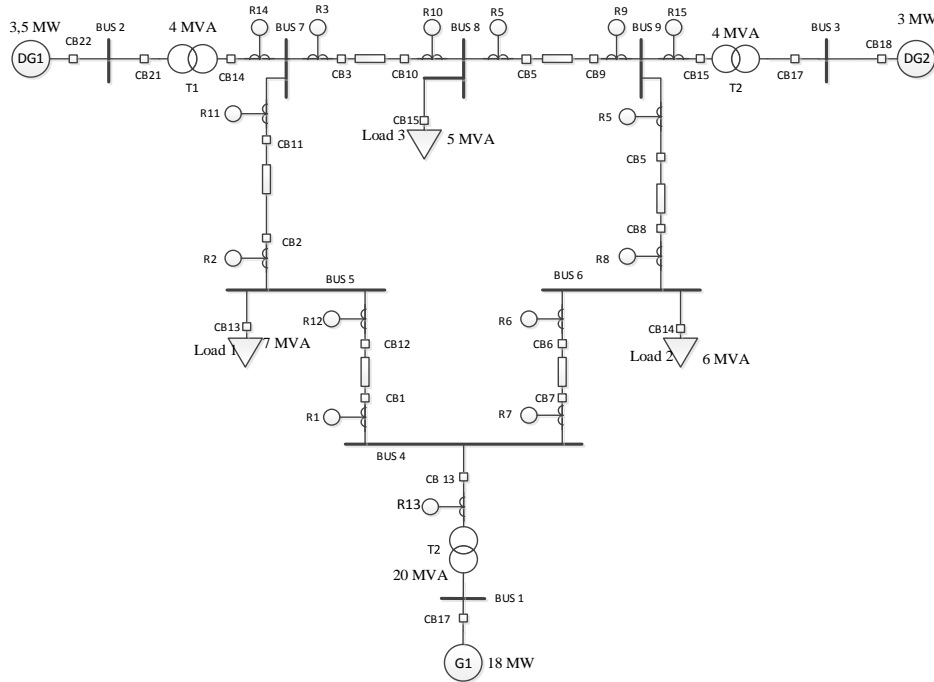
B. *Directional Overcurrent Relay* (DOCR)

Rele *directional* adalah rele yang digunakan untuk memproteksi jaringan cincin atau jaringan yang terhubung dengan beberapa sumber pembangkit. Elemen *directional* bekerja berdasarkan pergeseran fasa antara besar polarisasi dan besar operasinya.

C. Pembangkit Tersebar (DG)

Pembangkit tersebar atau yang sering disingkat DG merupakan sebuah pembangkit listrik bersekala kecil. Beberapa literatur menyatakan DG berdasarkan tingkat tegangan pembangkitan, perdaskan letak pembangkitan pada sistem jaringan listrik.

Pada penelitian ini DG yang digunakan merupakan unit pembangkit listrik dengan tegangan pembangkitan 16,8 kv dan 13,5 kV yang terhubung ke jaringan dengan penghubung Trasformer step-up ke 20 kV dengan kapasitas kurang dari 5 MW.



Gambar 4. IEEE 9 bus modifikasi ke microgrid

B. Pemodelan Sistem

A. IEEE 9 bus (yang dimodifikasi)

Untuk menguji penelitian ini menggunakan sistem loop standart IEEE 9 Bus yang dirubah menjadi *microgrid* dan ditambahi 2 pembangkit tersebar. hal ini bisa dilihat pada Gambar 5.

Dari 9 bus terdapat 3 pembangkit 1 generator dengan kapasitas 18 MW, dan 2 pembangkit tersebar (DG), dengan kapasitas DG1 3,5 MW dan DG2 3 MW.

B. Skema setting rele proteksi

Pada sistem loop dilakukan perencanaan skema proteksi, rele dikelompokkan berdasarkan arah pendeteksian arus rele tersebut berikut tabel skema proteksi rele berdasarkan tugasnya :

Tabel 2. Skema Proteksi

No	Rele Utama	Rele Backup	No	Rele Utama	Rele Backup
	CCW			CW	
1	R1	R6	10	R7	R12
2	R1	R13	11	R7	R13
3	R2	R1	12	R8	R7
4	R3	R2	13	R9	R8
5	R3	R14	14	R9	R15
6	R4	R3	15	R10	R9
7	R5	R4	16	R11	R10
8	R5	R15	17	R11	R14
9	R6	R5	18	R12	R11

Rele utama adalah rele proteksi yang pertama harus bekerja apa bila terjadi gangguan dan apabila rele utama tidak bekerja maka rele *backup* bekerja. Jarak waktu rele dan rele utama bekerja disebut sesuai dengan standart CTI sebesar 0,2 detik.

**Tabel 3.** Data arus hubung singkat

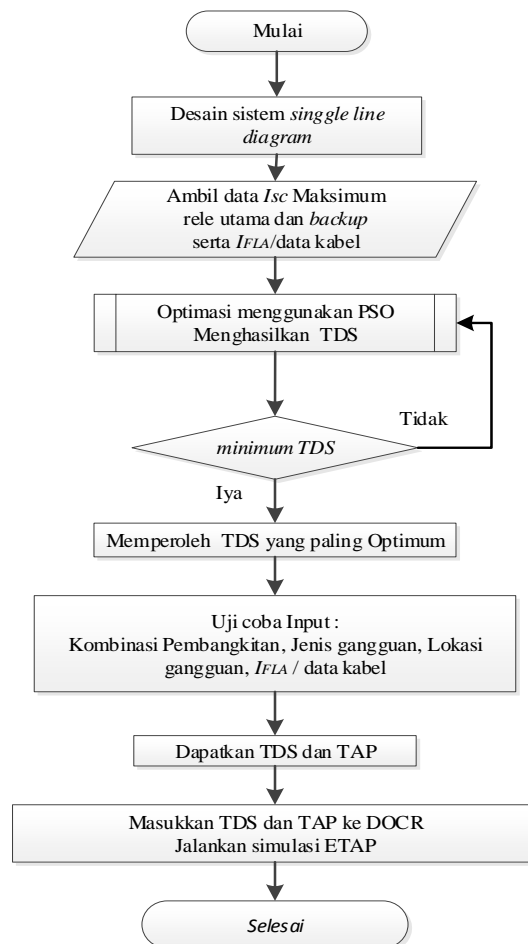
Rele	ALL			G+DG2			G+DG1			G		
	IFLA	Isc max Utama	Isc max Backup	IFLA	Isc max Utama	Isc max Backup	IFLA	Isc max Utama	Isc max Backup	IFLA	Isc max Utama	Isc max Backup
1	517	2690	1940	517	2570	1900	517	2460	1780	517	2330	1740
2	400	2370	1640	400	2320	1680	400	2200	1550	400	2160	1590
3	400	2110	1460	400	1680	1110	400	2020	1430	400	1590	1080
4	400	1830	1190	400	1480	915	400	1800	1220	180	1450	949
5	400	1600	950	200	1320	750	200	1220	646	180	949	444
6	300	1390	735	100	1190	609	100	1090	498	70	887	371
7	517	2660	1980	517	2400	1800	517	2560	1950	517	2300	1770
8	400	2420	1760	400	2240	1650	400	2390	1790	400	2210	1680
9	400	2160	1510	400	2060	1480	400	1790	1210	400	1680	1180
10	400	1880	1170	300	1850	1220	300	1580	945	180	1540	992
11	400	1650	937	201	1220	598	201	1420	777	180	992	437
12	300	1370	711	100	1030	456	100	1210	617	70	872	364
13	577	1980	1960	577	1980	1960	577	1980	1960	577	1980	1960
14	116	477	473				116	477	473			
15	116	411	408	116	411	408						

**C. Proses Penelitian**

Poses penelitian telah 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 MPSO pada setiap skema pembangkitan hingga didapat nilai *lowset setting* DOCR berupa TDS dengan total waktu operasi rele paling minimum pada setiap skema 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. Berikut *flowchart* proses penelitian pada Gambar 5.

Data *Isc* maksimum rele utama, *Isc* maksimum rele *backup*, *Ifla* kabel pada tabel 3 digunakan sebagai data masukan MPSO untuk mendapatkan nilai *lowset* DOCR.



**Gambar 5.** Proses Penelitian

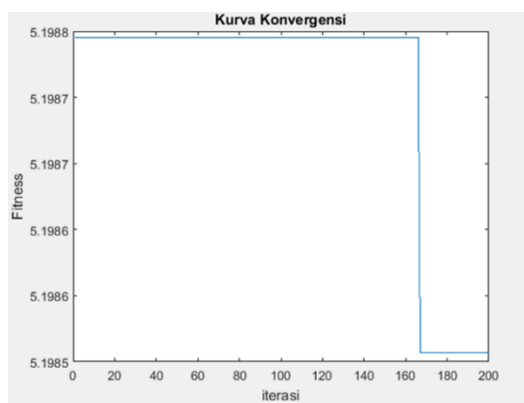
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

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 distribusi loop dengan DG dibagi menjadi 4 kondisi pembangkitannya yaitu :

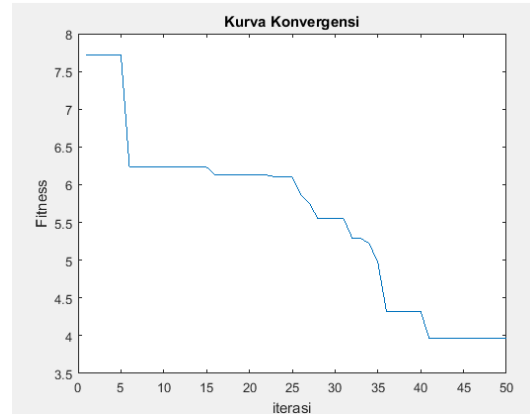
- a. Skema 1 : Kondisi terhubung generator utama, DG2 dan DG1,
- b. Skema 2 : Kondisi terhubung generator utama dan DG2,
- c. Skema 3 : Kondisi terhubung generator utama dan DG1,
- d. Skema 4 : Kondisi hanya terhubung generator utama.

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.

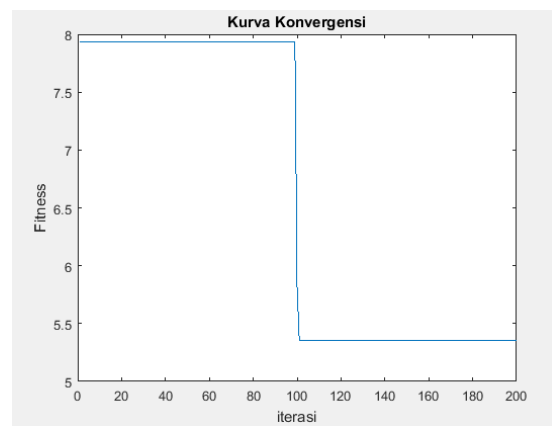
Pada gambar 6 hingga 9 merupakan kurva konvergensi MPSO dari 4 skema pembangkitan. Merupakan proses pencarian nilai optimum *td* (time delay) oleh partikel-partikel MPSO. Nilai tersebut ditampilkan pada Tabel 4.



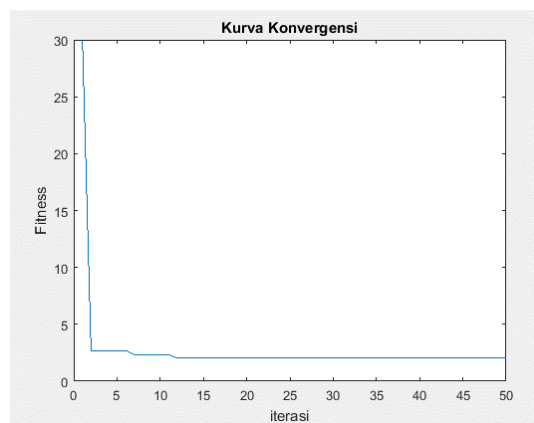
**Gambar 6.** Kurva konvergensi rele skema 1



**Gambar 7.** Kurva konvergensi rele skema 2



**Gambar 8.** Kurva konvergensi rele skema 3



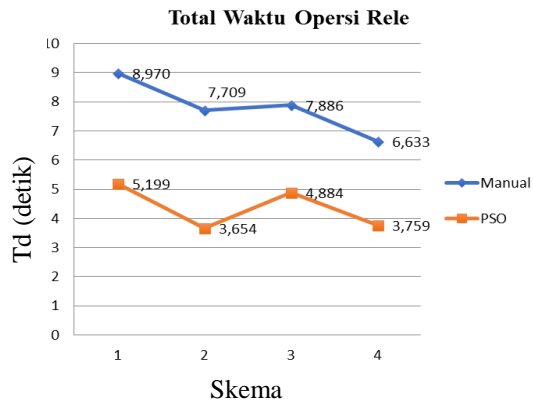
**Gambar 9.** Kurva konvergensi rele skema 4

Nilai *lowset* yang berupa TDS dan *Ipickup* hasil proses MPSO ditampilkan pada Tabel 4.

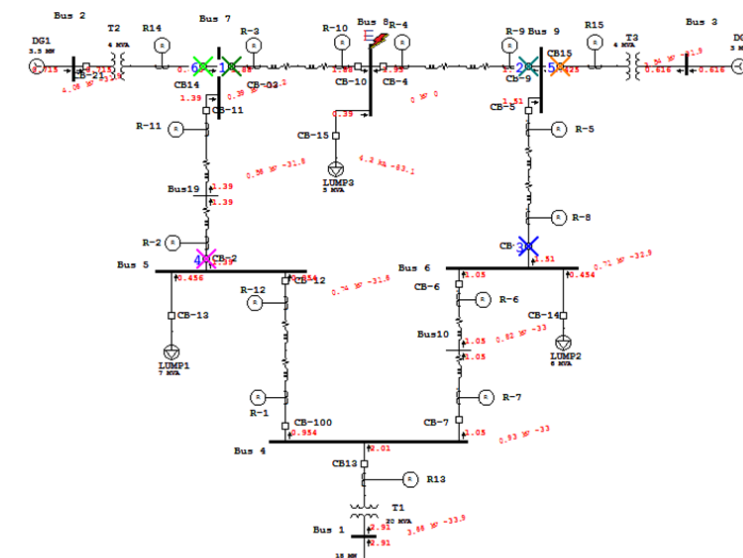
**Tabel 4.** Nilai TDS dan *Ipickup output* MPSO dan perhitungan manual

Rele	G, DG1 dan DG2					G+DG2					G+DG1					G				
	Ip	MPSO		Manual		Ip	MPSO		Manual		Ip	MPSO		Manual		Ip	MPSO		Manual	
		tds	td	tds	td		tds	td	tds	td		tds	td	tds	td		tds	td	tds	td
1	4,524	0,071	0,243	0,185	0,627	4,524	0,074	0,277	0,178	0,665	4,524	0,074	0,304	0,157	0,642	4,524	0,068	0,312	0,151	0,693
2	4,200	0,105	0,271	0,214	0,555	4,200	0,109	0,296	0,209	0,566	4,200	0,103	0,312	0,194	0,587	4,200	0,111	0,349	0,191	0,602
3	4,200	0,064	0,212	0,152	0,501	4,200	0,048	0,256	0,077	0,413	4,200	0,102	0,370	0,147	0,530	4,200	0,046	0,278	0,075	0,449
4	4,200	0,057	0,252	0,089	0,395	4,200	0,030	0,210	0,048	0,335	4,200	0,113	0,521	0,088	0,407	1,890	0,167	0,231	0,265	0,366
5	4,200	0,048	0,284	0,052	0,310	2,100	0,071	0,147	0,154	0,320	2,100	0,094	0,230	0,103	0,251	1,890	0,047	0,155	0,053	0,175
6	3,150	0,065	0,280	0,074	0,319	1,050	0,219	0,138	0,557	0,350	1,050	0,137	0,103	0,361	0,270	0,735	0,166	0,092	0,426	0,236
7	4,524	0,098	0,341	0,202	0,702	4,524	0,072	0,309	0,169	0,727	4,524	0,089	0,335	0,197	0,741	4,524	0,071	0,323	0,164	0,775
8	4,200	0,103	0,256	0,247	0,613	4,200	0,088	0,257	0,223	0,649	4,200	0,142	0,362	0,244	0,623	4,200	0,118	0,355	0,221	0,664
9	4,200	0,092	0,290	0,156	0,491	4,200	0,073	0,255	0,154	0,535	4,200	0,056	0,262	0,094	0,439	4,200	0,071	0,381	0,090	0,481
10	4,200	0,076	0,319	0,083	0,348	3,150	0,072	0,171	0,159	0,380	3,150	0,043	0,141	0,100	0,332	1,890	0,173	0,211	0,284	0,347
11	4,200	0,067	0,373	0,051	0,281	2,111	0,045	0,112	0,085	0,210	2,111	0,096	0,174	0,167	0,302	1,890	0,070	0,212	0,052	0,155
12	3,150	0,051	0,227	0,072	0,320	1,050	0,187	0,157	0,319	0,268	1,050	0,342	0,208	0,604	0,367	0,735	0,172	0,099	0,434	0,248
13	5,049	0,120	0,709	0,166	1,371	5,049	0,098	0,536	0,169	1,396	5,049	0,095	0,785	0,171	1,409	5,049	0,101	0,762	0,175	1,442
14	2,030	0,160	0,568	0,173	0,964						2,030	0,139	0,777	0,176	0,985					
15	2,030	0,090	0,574	0,152	1,172	2,030	0,112	0,532	0,116	0,895										
Total td (detik)			5,199		8,970			3,654		7,709			4,884		7,886			3,759		6,633

Dari Tabel 4 nilai TDS dan *Ipickup* merupakan nilai dari metode MPSO dan manual *setting* untuk dimasukkan pada DOCR. Rekap perbandingan total waktu operasi rele pada setiap skema ditampilkan dalam sebuah kurva pada gambar 10. TDS dan *Ipickup* keduanya dimasukkan pada DOCR dan dilakukan simulasi gangguan hubung singkat menggunakan *software* ETAP. Salah satu hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 11, plot kurva rele koordinasi akan ditampilkan pada Gambar 12,13, 14 dan 15.

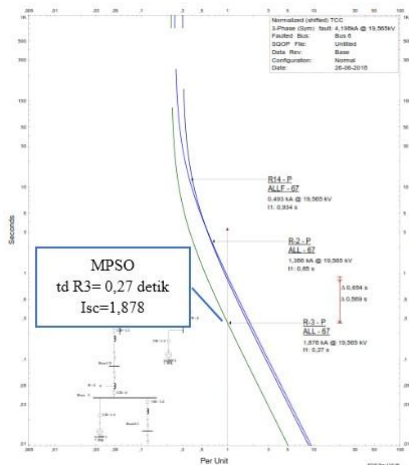


**Gambar 10.** Kurva waktu operasi rele

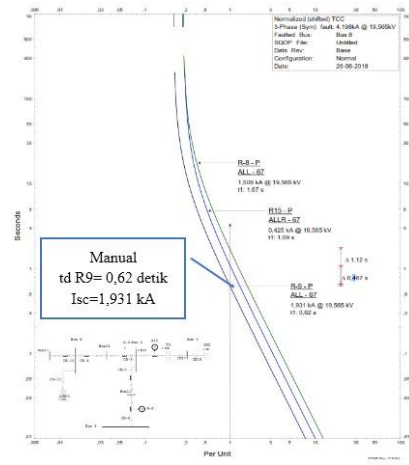


**Gambar 11.** Simulasi hubung singkat pada bus 8 skema 1

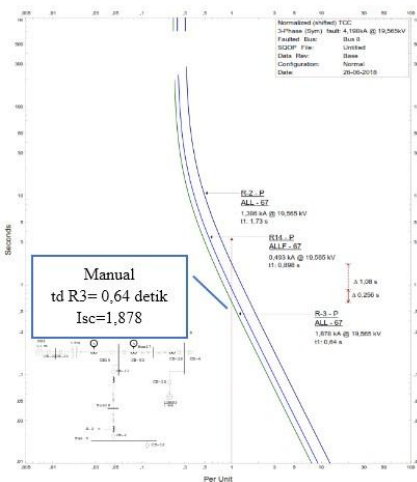




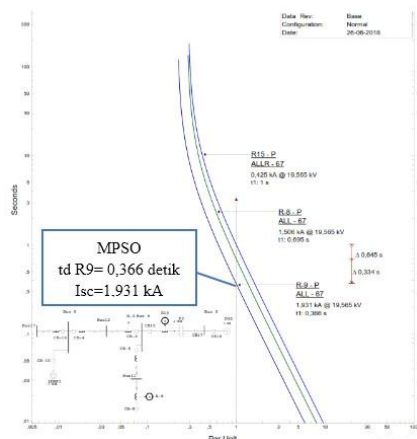
**Gambar 12.** Kurva rele 9, 8 dan 15 manual



**Gambar 15.** Kurva rele 9, 8 dan 15 manual



**Gambar 13.** Kurva rele 9, 8 dan 15 manual



**Gambar 14.** Kurva rele 9, 8 dan 15 MPSO

Dari simulasi gangguan hubung singkat pada bus 8 pada skema 1 didapat plot kurva rele ketika menggunakan *setting lowset* hasil perhitungan manual dan menggunakan *setting lowset* metode MPSO. Sehingga dapat dibandingkan waktu operasi rele (td) pada rele utama lebih cepat rele yang menggunakan *setting lowset* hasil metode MPSO dibandingkan perhitungan manual dengan nilai arus hubung singkat dan jenis kurva yang sama.

Pada Gambar 12 dan Gambar 13 merupakan kurva rele 3 sebagai rele utama. Pada MPSO *setting*  $td = 0,27$  detik dan *setting* manual  $td = 0,64$  detik. Begitu juga pada rele utama 9 dengan MPSO *setting*  $td = 0,366$  detik dan manual *setting*  $td = 0,62$  detik.

#### IV. SIMPULAN

Dari tabel 4 merupakan tabel nilai *lowset rele* yang berupa TDS dan *Ipickup* disertai dengan td hasil perhitungan menggunakan metode MPSO apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan manual total waktu operasi rele (td) utama disetiap skema, menggunakan metode MPSO memiliki waktu operasi rele lebih cepat dibandingkan perhitungan manual dengan nilai pada skema 1=5,92 detik, skema

2=3,654 detik, skema=3 4,884 dan skema 4=3,759 detik.

Hal itu diperkuat dengan simulasi gangguan pada software ETAP dengan hasil waktu operasi rele dengan metode MPSO cepat beroperasi dibandingkan perhitungan manual. selain itu nilai *lowset* sesuai pada setiap skema pembangkitan. dengan kedua bukti tersebut dapat disimpulkan bahwa metode MPSO adalah metode yang tepat untuk mendapatkan *setting* rele dengan waktu yang optimum pada sistem microgrid dengan terdapat DG didalamnya.

## V. RUJUKAN

- [1] Nimpitiwan N, Heydt GT, Ayyanar R, dan Suryanarayanan S. 2007. *Fault Current Contribution From Synchronous Machine and Inverter Based Distributed Generators*. *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 22, no. 1, hal. 634–641, Jan 2007.
- [2] Sharaf H M, Zeineldin H H, Ibrahim DK dan Zahab EEDAE. 2014. *Protection coordination of directional overcurrent relays considering fault current direction*, in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe*, 2014, hal. 1–5.
- [3] Sahoo AK. 2014. *Protection of microgrid through coordinated directional over-current relays*, in *2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference - South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 2014, hal. 129–134.
- [4] Zeineldin H, Hebatallah M S, dan Doaa K. Ibrahim. 2015. *Protection Coordination for Meshed Distribution Systems With DG Using Dual Setting Directional Over-Current Relays*. *IEEE Trans. On*, vol. 6, no. 1, hal. 115–123, Jan 2015.
- [5] Alipour A dan Pacis M. 2016. *Optimal coordination of directional overcurrent relays (DOCR) in a ring distribution network with distributed generation (DG) using genetic algorithm*. in *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2016, hal. 3109–3112.
- [6] Pujiantara M. *et al.*, 2016. *Optimization technique based adaptive overcurrent protection in radial system with DG using genetic algorithm*. in *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2016, hal. 83–88.
- [7] Lin H, Guerrero JM, Jia C, Tan Z, Vasquez JC dan Liu C. 2016. *Adaptive overcurrent protection for microgrids in extensive distribution systems*. in *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2016, hal. 4042–4047.