

# SETTING DAN KOORDINASI DOCR (DIRECTIONAL OVERCURRENT RELAY) PADA JARINGAN TRANSMISI 150 KV UPT SEMARANG MENGGUNAKAN METODE PSO (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION)

Muhammad Rizki Kurniawan<sup>\*)</sup>, Hermawan, and Bambang Winardi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

*\*)Email : md.rizki.kurniawan@gmail.com*

## ABSTRAK

Sistem proteksi adalah suatu komponen yang sangat penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik. Dengan kehandalan yang baik maka penyaluran tenaga listrik akan semakin baik, salah satunya dengan dapat meminimalisir gangguan pada sistem dengan cepat, tepat dan akurat. Salah satu komponen penting dalam sistem proteksi adalah relai proteksi. Relai arus lebih berarah adalah relai proteksi yang dipakai untuk menunjang kehandalan dalam sistem proteksi jaringan transmisi dan distribusi. Dalam penelitian ini dibahas mengenai optimalisasi kerja relai arus lebih berarah (directional over current relay) dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada sistem transmisi 150 kV UPT Semarang, Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kinerja PSO dalam perancangan setting dan koordinasi relai arus lebih berarah (DOCR). Pada pengujian yang telah dilakukan nilai error minimum dihasilkan pada parameter ke-15 pada pengujian ke 6 yang memiliki nilai error sebesar adalah 9.375% atau 6 miss-koordinasi dari 64 pasang relai.

*Kata Kunci : DOCR, PSO, transmisi, proteksi, error*

## ABSTRACT

Protection system is the most important instrument in electrical power distribution. The better reliability in protection systems, the better capability of electrical power distribution. The one of the aspect is the protection systems can isolate the fault fast, appropriately and precisely. Relay protection is the most important apparatus in protection system. Directional overcurrent relay is one of the kinds of relay protections to optimize the reliability of power systems. But in reality, the directional overcurrent relay is not enough applicable. In this paper discussed about the optimization of directional overcurrent relay with Particle Swarm Optimization (PSO) method in Transmission Service Unit PT. PLN (Persero) 150 kV, Semarang, Central Java. The system contains about six multiloop-busses those are GI Krapyak, GI Srandol, GI Pandeanlamper, GIS Simpanglima, GIS Kalisari and GI Tambaklorok. The aim of this research is to gain result of PSO method on determining setting of DOCR. The minimum error gained in 15th parameter and 6th assessment is about 9.375% or six misses coordination of 64 pairs of relay.

*Keywords : DOCR, PSO, transmission system, protection system, error*

## 1. Pendahuluan

Pada akhir-akhir ini, kebutuhan manusia akan penggunaan energi listrik semakin meningkat. Dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik ini, maka akan meningkatkan pula peran PLN untuk mensuplai energi listrik. Suplai energi listrik dengan daya yang besar memiliki perlakuan yang berbeda dengan suplai energi listrik dengan daya yang kecil. Oleh karenanya, dibutuhkan pula peralatan yang mampu menunjang penyaluran energi listrik menuju ke beban.

Sistem transmisi merupakan penghubung antara pembangkit listrik dengan sistem jaringan distribusi. Diharapkan, daya yang dikirim oleh pembangkit listrik

sama dengan daya yang disalurkan oleh beban. Namun dalam praktiknya, energi listrik tidak dapat disalurkan sepenuhnya. Hal ini dipengaruhi beberapa hal, salah satunya adalah kehandalan dari sistem proteksi tenaga listrik. Oleh karena itu perlu adanya sistem proteksi yang baik sehingga membantu dalam meminimalisir gangguan yang terjadi selama proses penyaluran.

Relai arus lebih berarah (DOCR) adalah relai yang sering dipakai dalam sistem proteksi multiloop pada sistem transmisi[1]. Namun pada kenyataannya belum banyak sistem transmisi yang menerapkan sistem proteksi dengan menggunakan DOCR sehingga hal ini mendorong untuk dilakukannya penelitian guna menunjang kinerja sistem proteksi tenaga listrik.

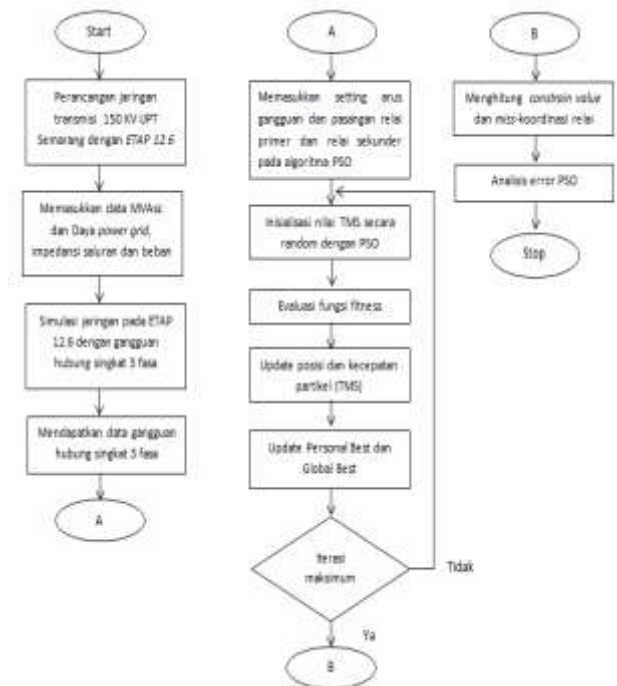
Pada penelitian ini dibahas lebih lanjut mengenai DOCR karena DOCR adalah relai yang sering dipakai dan sederhana[1]. Untuk mendapatkan koordinasi optimal dari DOCR ini digunakan metode PSO (*Particle Swarm Optimization*) yaitu salah satu metode yang sangat baik untuk menyelesaikan masalah optimalisasi global[1].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai TSM relai optimal dengan menggunakan algoritma PSO pada Matlab2008a.

## 2. Metode

### 2.1 Langkah Penelitian

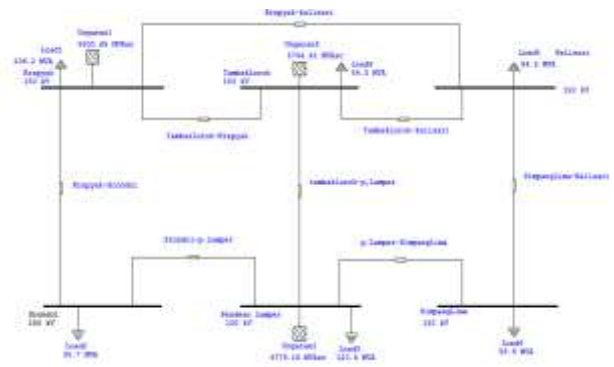
Pada tugas akhir ini terdapat beberapa metode yang di terapkan sebagai dasar metodologi penelitian dalam melakukan penelitian tugas akhir. Metode penelitian dalam penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian Setting dan Koordinasi DOCR pada UPT Semarang dengan PSO

### 2.2 Data Sistem

Data data yang diperlukan untuk skema jaringan ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Skema Jaringan Transmisi 150 kV UPT Semarang

Adapun data yang di perlukan untuk analisis ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Jenis Penghantar dan Panjang Saluran antar GI

No	Saluran Gardu Induk	Tipe Penghantar	Panjang Saluran (km)
1	Srondol-Krapyak	OHL-150kV-ACSR 240/40 mm (600A)	13.144
2	Pandeanlamper-Srondol	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	8.045
3	Pandeanlamper-Simpanglima	CAB-150kV-CU 240mm (550A)	3.185
4	Simpanglima-Kalisari	CAB-150kV-CU 240mm (550A)	2.556
5	Tambaklorokgu-Kalisari	OHL-150kV-HAWK 2X281.1mm (1160A)	7.401
6	Tambaklorokgu-Krapyak	OHL-150kV-HAWK 2X281.1mm (1160A)	15.559
7	Tambaklorokgu-pandeanlamper	OHL-150kV-ACSR 2x240mm (1200A)	6.142
8	Kalisari-Krapyak	OHL-150kV-HAWK 2X281.1mm (1160A)	8.674

Tabel 2. Impedansi Penghantar Saluran antar GI

No	Saluran Gardu Induk	R1 ohm/km	X1 ohm/km	R0 ohm/km	Z0 ohm/km
1	Srondol-Krapyak	1.800728	5.212911	3.77233	15.6387
2	Pandeanlamper-Srondol	1.102165	3.190647	2.30892	9.57194
3	Pandeanlamper-Simpanglima	0.277095	0.42042	0.75485	1.26126
4	Simpanglima-Kalisari	0.222372	0.337392	0.60577	1.01218
5	Tambaklorok-Kalisari	0.506969	1.513505	1.61712	4.54051
6	Tambaklorok-Krapyak	1.065791	3.181816	3.39964	9.54545
7	Tambaklorok-pandeanlamper	0.237695	1.724059	1.159	5.17218
8	Kalisari-Krapyak	0.594169	1.773833	1.89527	5.3215

Tabel 3. Daya Pembangkitan pada Skema Jaringan Transmisi 150 kV UPT Semarang

No	Power Grid	Daya aktif	Daya reaktif	Daya hubung singkat
		MW	MVAR	MVAsc
1	Ungaran 1	193.576	123.346	5502.65
2	Ungaran 2	219.676	129.949	4779.18
3	Ungaran 3	60.347	41.744	5744.42

Tabel 4. Data Beban Tiap Gi pada Jaringan Transmisi 150 kV UPT Semarang

No	Gardu Induk	Beban (MW)	Beban (MVA)
1	Semarang Baru	26.6	29.6
2	Kalisari	76	84.4
3	Kaliwungu	47.7	53
4	Krapyak	40.7	45.2
5	Pandean Lamper	77.8	86.4
6	Pudak Payung	30.6	34
7	Randu Garut	42.2	46.9
8	Sayung	84.9	94.3
9	Simpang Lima	52.9	58.8
10	Srondol	32.2	35.8
11	Tambak Lorok	48.8	54.2
12	Weleri	28.4	31.6
13	Mranggen	46.4	51.6
	Total	635.2	705.8

Tabel 5. Data Arus Pick-up Relai

No	Relai	Nama Relai	PMT	Pick Up (1.2xIn) (A)
1	r1	krapyak1	1	150
2	r2	srodol1	2	300
3	r3	srodol2	3	300
4	r4	lamper1	4	150
5	r5	lamper3	5	1000
6	r6	lima1	6	1000
7	r7	lima2	7	500
8	r8	kalisari1	8	500
9	r9	kalisari2	9	600
10	r10	lorok1	10	1600
11	r11	lorok3	11	1250
12	r12	krapyak2	12	600
13	r13	lorok2	13	1250
14	r14	lamper2	14	300
15	r15	krapyak3	15	600
16	r16	kalisari3	16	600

Program simulasi arus gangguan hubung singkat tiga fasa dibuat dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.

Pada hasil simulasi maka akan didapatkan arus gangguan hubung singkat tiga fasa yang selanjutnya akan menjadi dasar dalam perhitungan setting dan koordinasi relai arus lebih berarah pada jaringan transmisi di UPT Semarang.

Selanjutnya data yang telah didapat dimasukkan ke dalam fungsi *far.m*. Pada algoritma fungsi *far.m* akan dilakukan optimasi dengan algoritma fungsi *pso.m* dan *get\_psoOptions.m* yang selanjutnya akan di dapat nilai TSM optimum pada 16 relai yang ada.

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

Tabel 6. Nilai Impedansi Saluran antar GI dalam Satuan Per Unit (pu)

No	Gardu Induk	Z saluran (pu)
1	GI Krapyak-GI Srondol	0.1051945+0.3045266i
2	GI Srondol-GI Pandean Lamper	0.0394085+0.1140833i
3	GI Pandean Lamper-GIS Simpanglima	0.0039224+0.0059512i
4	GIS Simpanglima - GIS Kalisari	0.002526+0.003832i
5	GIS Kalisari- GI Tambak Lorok	0.016675+0.0497842i
6	GI Tambak Lorok- GI Krapyak	0.073700+0.22002611i
7	GI Tambak Lorok- GI Pandean Lamper	0.00648+0.04706297i
8	GI Krapyak- GIS Kalisari	0.02290+0.06838323i

Nilai impedansi di atas adalah nilai impedansi per unit dengan  $MVA_{base} = 100MVA$ .  $I_{base} = 384.9$  A dan  $Z_{base} = 225$  ohm.

Dari hasil impedansi saluran pada tabel 6 maka dapat dihitung nilai arus hubung singkat 3 fasa per saluran. Berikut nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa hasil simulasi pada ETAP 12.6

Tabel 7. Nilai Impedansi Saluran antar GI dalam Satuan Per Unit (pu)

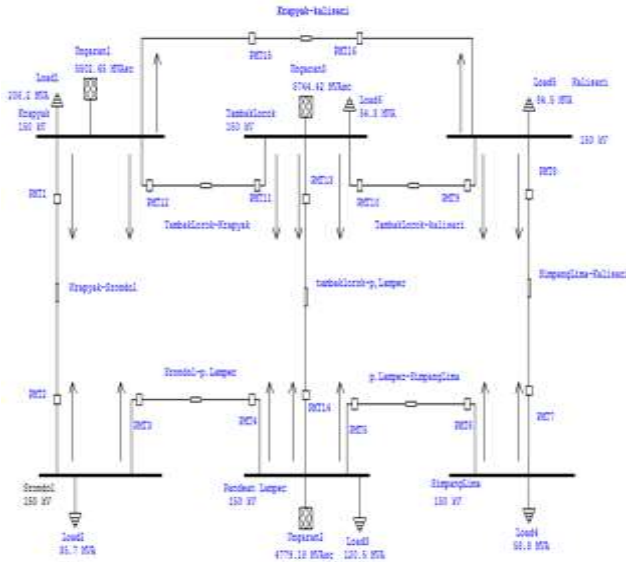
Fault di bus	Arus Hubung Singkat 3 Fasa dari bus ke bus		Nilai Arus kA
Krapyak	srondol		0.313
	tambaklorok		1.462
	kalisari	Krapyak	4.012
	Ungaran1		21.18
	<b>total</b>		<b>26.967</b>
Srondol	krapyak		0.406
	pandeanlamper	Srondol	2.884
	<b>total</b>		<b>3.29</b>
P.lamper	srondol		0.305
	tambaklorok		5.193
	simpanglima	P.lamper	6.608
	Ungaran2		18.395
	<b>total</b>		<b>30.501</b>
S.lima	p.lamper		16.725
	kalisari	S.lima	8.139
	<b>total</b>		<b>24.864</b>
	simpanglima		13.854
Kalisari	tambaklorok		5.044
	krapyak	Kalisari	4.238
	<b>total</b>		<b>23.136</b>
	kalisari		3.998
	pandeanlamper		4.977
Tambaklorok	krapyak	Tambaklorok	1.421
	Ungaran3		22.11
	<b>total</b>		<b>32.506</b>

Untuk selanjutnya nilai arus hubung singkat yang dipakai adalah nilai arus hubung singkat tiga fasa hasil simulasi pada ETAP 12.6.

#### 3.2 Setting dan Koordinasi DOCR dengan PSO

3.2.1 Setting Relay arus lebih berarah

Dalam penentuan pasangan relai primer dan sekunder hal yang perlu diperhatikan adalah arah relai arus lebih berarah. Dengan diketahui arah relai arus lebih maka akan terbentuk jaringan *looping* yang secara tidak langsung membentuk skema pasangan relai primer dan relai sekunder sehingga jaringan transmisi pada UPT Semarang dapat digambarkan seperti gambar 3 berikut



Gambar 3. Skema jaringan transmisi 150 kV UPT Semarang

Dari gambar 3 di atas dapat dibentuk *looping* jaringan yang membentuk skema pasangan relai primer dan sekunder seperti berikut

a) Loop searah arah jarum jam (*Clockwise*) :

1. R12--R13--R4--R2--R12
2. R10--R8--R6--R14--R10
3. R12--R10--R8--R6--R4--R2--R12
4. R15--R9--R11-R15
5. R15--R8--R6--R4--R2--R15
6. R15--R8--R6--R14--R11--R15
7. R15--R9--R13--R4--R2--R15

b) Loop berlawanan arah jarum jam (*Counter - Clockwise*):

1. R1--R3--R14--R11--R1
2. R13--R5--R7--R9--R13
3. R1--R3--R5--R7--R9--R11--R1
4. R16--R12--R10--R16
5. R16--R1--R3--R5--R7--R16
6. R16--R1--R3--R14--R10--R16
7. R16--R12--R13--R5--R7--R16

\* -- = dibaca "back-up" dari

Tabel 8. Nilai arus primer dan sekunder pasangan relai arus lebih berarah (CW)

Fault di	Relai Primer	Ip (kA)	Relai Sekunder	Is(kA)
krapyak	r12.krapyak2	25.505	r2.srandol1	0.313
srandol	r2.srandol1	2.884	r4.lamper1	2.884
lamper	r4.lamper1	30.196	r13.lorok2	5.193
Lorok	r13.lorok2	27.529	r12.krapyak2	1.421
Lorok	r10.lorok1	28.508	r14.lamper2	4.977
lamper	r14.lamper2	25.308	r6.lima1	6.608
Lima	r6.lima1	8.139	r8.kalisari1	8.139
kalisari	r8.kalisari1	9.282	r10.lorok1	5.044
krapyak	r12.krapyak2	25.505	r2.srandol1	0.313
srandol	r2.srandol1	2.884	r4.lamper1	2.884
lamper	r4.lamper1	30.196	r6.lima1	6.608
Lima	r6.lima1	8.139	r8.kalisari1	8.139
kalisari	r8.kalisari1	9.282	r10.lorok1	5.044
Lorok	r10.lorok1	28.508	r12.krapyak2	1.421
krapyak	r15.krapyak3	22.955	r11.lorok3	1.462
Lorok	r11.lorok3	31.085	r9.kalisari2	3.998
kalisari	r9.kalisari2	18.092	r15.krapyak3	4.238
krapyak	r15.krapyak3	22.955	r2.srandol1	0.313
srandol	r2.srandol1	2.884	r4.lamper1	2.884
lamper	r4.lamper1	30.196	r6.lima1	6.608
Lima	r6.lima1	8.139	r8.kalisari1	8.139
kalisari	r8.kalisari1	9.282	r15.krapyak3	4.238
krapyak	r15.krapyak3	22.955	r11.lorok3	1.462
Lorok	r11.lorok3	31.085	r14.lamper2	4.977
lamper	r14.lamper2	25.308	r6.lima1	6.608
lima	r6.lima1	8.139	r8.kalisari1	8.139
kalisari	r8.kalisari1	9.282	r15.krapyak3	4.238
krapyak	r15.krapyak3	22.955	r2.srandol1	0.313
srandol	r2.srandol1	2.884	r4.lamper1	2.884
lamper	r4.lamper1	30.196	r13.lorok2	5.193
lorok	r13.lorok2	27.529	r9.kalisari2	3.998
kalisari	r9.kalisari2	18.092	r15.krapyak3	4.238

Tabel 9. Nilai Arus Primer dan Sekunder Pasangan Relai Arus Lebih Berarah (CCW)

Fault di	Relai Primer	Ip (kA)	Relai Sekunder	Is(kA)
krapyak	r1.krapyak1	26.654	r11.lorok3	1.462
lorok	r11.lorok3	31.085	r14.lamper2	4.977
lamper	r14.lamper2	25.308	r3.srandol2	0.305
srandol	r3.srandol2	0.406	r1.krapyak1	0.406
lorok	r13.lorok2	27.529	r9.kalisari2	3.998
kalisari	r9.kalisari2	18.092	r7.lima2	13.854
lima	r7.lima2	16.725	r5.lamper3	16.725
lamper	r5.lamper3	23.893	r13.lorok2	5.193
krapyak	r1.krapyak1	26.654	r11.lorok3	1.462
lorok	r11.lorok3	31.085	r9.kalisari2	3.998
kalisari	r9.kalisari2	18.092	r7.lima2	13.854
lima	r7.lima2	16.725	r5.lamper3	16.725
lamper	r5.lamper3	23.893	r3.srandol2	0.305
srandol	r3.srandol2	0.406	r1.krapyak1	0.406
kalisari	r16.kalisari3	18.898	r10.lorok1	5.044
lorok	r10.lorok1	28.508	r12.krapyak2	1.421
krapyak	r12.krapyak2	25.505	r16.kalisari3	4.012
kalisari	r16.kalisari3	18.898	r7.lima2	13.854
lima	r7.lima2	16.725	r5.lamper3	16.725
lamper	r5.lamper3	23.893	r3.srandol2	0.305
srandol	r3.srandol2	0.406	r1.krapyak1	0.406
krapyak	r1.krapyak1	26.654	r16.kalisari3	4.012
kalisari	r16.kalisari3	18.898	r10.lorok1	5.044
lorok	r10.lorok1	28.508	r14.lamper2	4.977
lamper	r14.lamper2	25.308	r3.srandol2	0.305
srandol	r3.srandol2	0.406	r1.krapyak1	0.406
krapyak	r1.krapyak1	26.654	r16.kalisari3	4.012
kalisari	r16.kalisari3	18.898	r7.lima2	13.854
lima	r7.lima2	16.725	r5.lamper3	16.725
lamper	r5.lamper3	23.893	r13.lorok2	5.193
lorok	r13.lorok2	27.529	r12.krapyak2	1.421
krapyak	r12.krapyak2	25.505	r16.kalisari3	4.012

Pada sistem jaringan transmisi 150 kV dirancang sebanyak 64 pasang relai yang perancangannya didasarkan dari arah relai arus lebih. Dari rancangan tersebut diperoleh 64 pasang relai primer dan sekunder, masing-masing 32 pasang arah CW dan 32 pasang arah CCW. Penjelasan lebih lengkap dapat dilihat pada literatur [15].

Tabel 10. Nilai arus primer dan sekunder pasangan relai arus lebih berarah

No	relai	Nama relai	Arus Primer (kA)	Arus Back-up (kA)
1	r1	krapyak1	26.654	0.406
2	r2	srodol1	2.884	0.313
3	r3	srodol2	0.406	0.305
4	r4	lamper1	30.196	2.884
5	r5	lamper3	23.893	16.725
6	r6	lima1	8.139	6.608
7	r7	lima2	16.725	13.854
8	r8	kalisari1	9.282	8.139
9	r9	kalisari2	18.092	3.998
10	r10	lorok1	28.508	5.044
11	r11	lorok3	31.085	1.462
12	r12	krapyak2	25.505	1.421
13	r13	lorok2	27.529	5.193
14	r14	lamper2	25.308	4.977
15	r15	krapyak3	22.955	4.238
16	r16	kalisari3	18.898	4.012

Nilai arus primer dan sekunder pada tiap relai di atas akan menjadi dasar dalam fungsi objektif yang akan dioptimalkan dengan metode PSO. [2]

$$I_{fault\ primer}(i) = \Delta I_{fault\ bus} - I_{fault}(i) \quad (1)$$

Dimana

$I_{fault\ primer}(i)$  = arus gangguan primer yang mengalir pada relai i (kA)

$\Delta I_{fault\ bus}$  = arus total pada bus (kA)

$I_{fault}(i)$  = arus yang mengalir pada relai i (kA)

### 3.3 Batasan Koordinasi [1]

Untuk mendapatkan koordinasi yang baik maka batasan koordinasi harus dipenuhi. Batasan koordinasi yang harus dipenuhi yaitu

$$T_{back\ up} - T_{primer} \geq CTI \quad (2)$$

$$TSM_{min} \leq TSM_{optimum} \leq TSM_{maks} \quad (3)$$

$$I_{p\ min} \leq I_p \leq I_{p\ maks} \quad (4)$$

dimana

$T_{back\ up}$  = waktu operasi relai sekunder (s)

$T_{primer}$  = waktu operasi relai primer (s)

CTI = Coordination Time Interval (0.3 s)[2]

TSM = *Time Setting Multiple* (0.025 – 1.2)[15]

$I_p$  = Arus pick up relai (A)

Selanjutnya dengan menggunakan PSO yang dijalankan pada software Matlab2008a maka akan didiapatkan nilai TSM optimum.

Berikut parameter[2] yang digunakan dalam pengujian menggunakan PSO pada Matlab untuk mendapatkan nilai TSM optimum.

Tabel 11. Parameter PSO

No	Parameter	Nilai Pengujian	
1	Jumlah iterasi maksimum	100	
		200	
		300	
2	Kecepatan maksimum partikel	20	
		30	
		40	
3	<i>Inertia weight (w)</i>		
		a) $w_{start}$ ; $w_{end}$	0.9 ; 0.4
		b) $w_{start}$ ; $w_{end}$	0.9 ; 0.1

Dari pengujian sesuai dengan parameter pada tabel 11 kemudian dilakukan 10 kali pengujian pada masing-masing pasang sehingga total didapatkan 180 hasil pengujian.

### 3.4 Fungsi Objektif[3]

Fungsi objektif adalah fungsi yang menjadi tujuan utama optimalisasi. Pada tugas akhir ini fungsi objektif nya adalah

$$T_{back\ up} - T_{primer} - CTI \geq 0 \quad (5)$$

dimana

$T_{back\ up}$  = waktu operasi relai sekunder (s)

$T_{primer}$  = waktu operasi relai primer (s)

CTI = Coordination Time Interval (0.3 s)

### 3.5 Hasil Pengujian

#### 3.5.1 Minimum Error Miss-Koordinasi

Nilai *error* minimum koordinasi dihasilkan oleh pengujian dengan parameter iterasi = 300, kecepatan maksimum ( $V_{max}$ ) = 30 dan bobot inersia masing-masing = 0.9 dan 0.1 dan dilakukan pada pengujian ke-6 dengan menghasilkan 6 miss-koordinasi relai atau *error* mencapai 9.375%.

Nilai TSM optimum yang dihasilkan sesuai dengan tabel 12 berikut

Tabel 12. Nilai TSM optimal

Relai	Nama Relai	TSM
r1	krapyak1	0.2494
r2	srodol1	0.0081
r3	srodol2	0.005
r4	lamper1	0.5512
r5	lamper3	0.7772
r6	lima1	0.2768
r7	lima2	0.5085
r8	kalisari1	0.5726
r9	kalisari2	0.3631
r10	lorok1	0.2739
r11	lorok3	0.342
r12	krapyak2	0.1666
r13	lorok2	0.4574
r14	lamper2	0.4216
r15	krapyak3	0.5586
r16	kalisari3	0.213

Berikut hasil perhitungan *constrain value*

Tabel 13.a Perhitungan *constrain value*

No	Fault di	Relai primer	TSM	Top (s)
1	lima	r6.lima1	0.2768	0.904893
2	kalisari	r9.kalisari2	0.3631	0.721049
3	lamper	r5.lamper3	0.7772	1.660447
4	kalisari	r9.kalisari2	0.3631	0.721049
5	lamper	r5.lamper3	0.7772	1.660447
6	lorok	r13.lorok2	0.4574	1.003791

Tabel 13.b. Perhitungan *constrain value*

No	Fault di	Relai Sekunder	TSM	Top (s)	<i>constrain value</i> (s)
1	lima	r8.kalisari1	0.2739	0.668255	-0.5366374
2	kalisari	r7.lima2	0.5085	0.751451	-0.2695977
3	lamper	r13.lorok2	0.4574	1.091219	-0.8692282
4	kalisari	r7.lima2	0.5085	0.751451	-0.2695977
5	lamper	r13.lorok2	0.4574	1.091219	-0.8692282
6	lorok	r12.krappyak2	0.1666	1.104885	-0.1989056

Dari tabel 13 dapat dilihat bahwa nilai *constrain value* bernilai negatif. Hal ini tidak sesuai dengan batasan koordinasi yang telah ditetapkan.

### 3.5.2 Maksimal *Error Miss-Koordinasi*

Nilai error maksimum koordinasi dihasil oleh pengujian dengan parameter iterasi = 100, kecepatan maksimum (Vmax) = 40 dan bobot inersia masing-masing = 0.9 dan 0.4 dan dilakukan pada pengujian ke-4 dengan menghasilkan 23 miss-koordinasi relai atau error mencapai 35,938%.

Nilai TSM optimum yang dihasilkan sesuai dengan tabel 14 berikut

Tabel 14. Nilai TSM optimal

Relai	Nama Relai	TSM
r1	krapyak1	0.5838
r2	srodol1	0.2006
r3	srodol2	0.1524
r4	lamper1	0.5201
r5	lamper3	0.8073
r6	lima1	0.2755
r7	lima2	0.8091
r8	kalisari1	0.4672
r9	kalisari2	0.3929
r10	lorok1	0.2747
r11	lorok3	0.4694
r12	krapyak2	0.1759
r13	lorok2	0.1672
r14	lamper2	0.4864
r15	krapyak3	0.1994
r16	kalisari3	0.6322

Dari hasil perhitungan ke-23 pasangan relai yang mengalami miss koordinasi mempunyai nilai *constrain value* <0. Hal ini tidak sesuai dengan batasan koordinasi yang telah ditetapkan.

### 3.5.3 Analisa *Error PSO* Hasil Pengujian

Pada pengujian yang telah dilakukan diketahui bahwa terdapat *error* pada tiap pengujian dengan *error* minimum yaitu enam miss-koordinasi dan *error* maksimum dengan 23 *miss*-koordinasi.

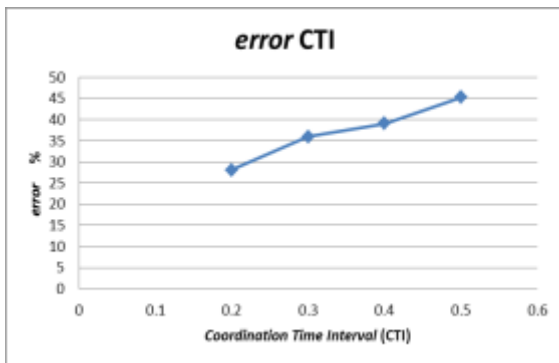
Analisa dan perbaikan *error PSO* dilakukan dengan memberikan variasi nilai CTI yang dipakai dengan batasan :

$$CTI = \min (CTI)$$

dengan

$$CTI = 0.2 - 0.5 \text{ detik [4]}$$

Analisa dilakukan pada pengujian yang memiliki *error miss*-koordinasi maksimal yaitu dengan parameter ke-7 pada pengujian ke-4 (iterasi = 100, v<sub>max</sub> =40, w<sub>start</sub> = 0.9 dan w<sub>end</sub> = 0.4 ) dan didapat grafik seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil error PSO dengan variasi nilai CTI

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai error akan semakin besar dengan semakin meningkatnya nilai CTI. Nilai CTI yang baik adalah antara 0.2 s - 0.5 s. Nilai CTI bergantung pada tipe relai, *safety margin* dan kecepatan operasi dari PMT[4].

Sehingga dapat disimpulkan optimasi koordinasi relai arus lebih berarah dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) sangat tepat digunakan pada peralatan proteksi tenaga listrik dengan kecepatan tinggi sehingga dihasilkan koordinasi yang baik dan handal.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan bahwa nilai error minimum koordinasi dihasilkan pada pengujian dengan parameter ke 15 yaitu iterasi = 300, kecepatan maksimum ( $V_{max}$ ) = 30 dan bobot inersia masing-masing = 0.9 dan 0.1 dan dilakukan pada pengujian ke-6 dengan menghasilkan 6 miss-koordinasi atau error mencapai 9.375%. Nilai TSM optimum yang menghasilkan nilai error koordinasi minimum yaitu relai krapyak1 = 0.2494 ; srono1 = 0.0081 ; srono2 = 0.005 ; lamper1 = 0.5512 ; lamper3 = 0.7772 ; lima1 = 0.2768 ; lima2 = 0.5085 ; kalisari1 = 0.5726 ; kalisari2 = 0.3631 ; lorok1 = 0.2736 ; lorok3 = 0.342 ; krapyak2 = 0.1666 ; lorok2 = 0.4574 ; lamper2 = 0.4216 ; krapyak3 = 0.5586 dan kalisari3 = 0.213. Dari hasil pengujian didapat bahwa nilai minimum *Coordination Time Interval* (CTI) cocok dipakai pada peralatan proteksi yang mempunyai kecepatan operasi tinggi. Optimalisasi nilai TSM pada relai arus lebih berarah dengan metode PSO cocok diterapkan pada peralatan proteksi yang mempunyai kecepatan tinggi. Nilai TSM optimum sebagai hasil *setting* dan koordinasi masih membutuhkan studi berkelanjutan untuk benar-benar dapat diterapkan pada sistem *real* dengan baik. Untuk mendapatkan hasil analisa dan *setting* yang lebih baik dapat dilakukan penambahan batasan pada algoritma PSO yang digunakan, penggunaan GUI dapat mempermudah *monitoring* hasil pengujian.

#### Referensi

##### Journal:

- [1]. D. Vijayakumar, R.K. Nema. 2009. "Simplified Velocity MPSO for Directional Over Current Protection Relay Coordination". Department of Electrical Engineering, MANIT, India
- [2]. Ramadhan, Beni Akhirul. "Optimalisasi Koordinasi DOCR Pada Jaringan 150 kV Menggunakan SV-MPSO". Teknik Elektro. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- [3]. Triyadiputra, Agiel. "Optimasi Kinerja Rele Arus Lebih Berarah Pada Sistem Pembangkitan Terdistribusi Menggunakan Algoritma Genetika". Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Semarang. Indonesia.
- [4]. Morajev, Zahra. Jazaeri, Mustofa. Gholazadeh, Mehdi. 2012. "Optimal Coordination of Distance and Over-Current Relays in Series Compensated Systems based on MAPSO". Energy Conversion and Management Journal : Science Direct. Electrical and Computer Engineering Faculty, Semnan University. Iran.
- [5]. D. Vijayakumar, R.K. Nema. 2009. "Simplified Velocity MPSO for Directional Over Current Protection Relay Coordination". Department of Electrical Engineering, MANIT, India
- [6]. Susilo, Eko Wahyudi. 2011. Tugas Akhir "Studi Koordinasi Rele Pengaman Pada Sistem Kelistrikan PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik, Jawa Timur". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [7]. Bukhori, Taufiqur Rohman. 2013. "Optimasi TCSC Untuk Peningkatan Stabilitas Transien Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)". Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Semarang.

##### Proceeding:

- [8]. Kennedy J, Eberhart RC. Particle swarm optimization. In: Proceedings of IEEE international conference, Neural Networks, Perth, Australia, vol. 4; 1995.p. 1942-8. doi: 10.1109/ICNN.1995.488968

##### Textbooks:

- [9]. Sulasno. 2001. "Analisis Sistem Tenaga Listrik". Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang
- [10]. Stevenson, William D. 1996. "Analisis Sistem Tenaga Listrik". Erlangga. Jakarta.
- [11]. Saadat, Hadi. 1999. "Power System Analysis". Mc Graw Hill.

##### Standards:

- [12]. SPLN 15:1979
- [13]. SPLN 16:1979
- [14]. ASTM B232 Standard.

##### Internet:

- [15]. NPTEL online course. Module 5th. "Directional Overcurrent Protection". India