

Optimisasi Koordinasi *Directional Over Current Relay* (DOCR) pada Sistem Distribusi Mesh Menggunakan *Modified Adaptive Particle Swarm Optimization* (MAPSO) dengan Pembangkit Tersebar

Aditya Descara Putra, Ardyono Priyadi, dan Margo Pujiantara

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jalan Arif Rahman Hakim, Keputih, Surabaya – 6011

Email : adityadescaraputra@yahoo.co.id, priyadi@ee.its.ac.id, margo@ee.its.ac.id

Abstrak - Pemilihan topologi jaringan distribusi mesh merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam penyaluran sistem tenaga listrik. Apabila terjadi gangguan pada suatu saluran maka saluran yang lain dapat menggantikan untuk penyalurkan daya listrik. Akibat adanya gangguan dari suatu saluran diperlukan koordinasi proteksi yang baik pada sistem mesh. Di samping itu, dengan adanya injeksi dari *distributed generator* pada sistem distribusi mesh, koordinasi proteksi yang dilakukan harus mempertimbangkan nilai arus gangguan dan arah arus gangguan. Arah arus gangguan harus diperhitungkan, baik dalam arah *forward* maupun *reverse*. Dari permasalahan tersebut diperlukan sebuah metode penyelesaian untuk mengurangi kompleksitas koordinasi proteksi pada sistem mesh. Dalam hal ini algoritma *Modified Adaptive Particle Swarm Optimization* (MAPSO) digunakan sebagai metode optimasi untuk mengurangi kompleksitas dari perhitungan koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh. Algoritma MAPSO digunakan dalam optimasi koordinasi antar *Directional Over Current Relay* (DOCR). Parameter yang di optimasi adalah TDS (*Time Dial Setting*) dan waktu kerja rele.

Kata Kunci—*Distributed generator, Modified Adaptive Particle Swarm Optimization, Sistem jaringan distribusi mesh.*

I. PENDAHULUAN

Penyediaan listrik di suatu negara akan meningkat seiring dengan kebutuhan listrik yang meningkat pula. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk setiap harinya yang menggunakan listrik. Kontinuitas daya listrik yang di kirim untuk para penduduk juga harus tetap dijaga, baik dari aspek kualitas daya dan jumlah daya yang di terima. Dalam hal ini, salah satu hal penting yang harus diperhatikan untuk menjaga kontinuitas daya listrik yaitu koordinasi proteksi yang baik pada sistem penyaluran tenaga listrik. Proteksi pada sistem penyaluran tenaga listrik dilakukan untuk menjaga stabilitas penyaluran daya listrik. Sistem koordinasi proteksi sistem penyaluran tenaga listrik yang handal sangat diperlukan untuk menjaga peralatan dari kerusakan dimana pada hal ini selektivitas rele sangat diperlukan dalam menangani gangguan yang terjadi pada sistem penyaluran tenaga listrik.

Salah satu kendala yang terjadi pada saat melakukan studi koordinasi proteksi adalah penentuan waktu operasi rele primer

dan rele *back-up*. Waktu operasi yang diinginkan oleh rele *back-up* untuk melakukan *back-up* terhadap rele primer adalah secepat mungkin dengan mempertimbangkan parameter CTI (*Coordination Time Interval*). Hal ini dilakukan untuk meminimalisir efek dari gangguan pada peralatan listrik dari keadaan *arc flash*. Hal ini menjelaskan bahwa kegagalan dalam koordinasi proteksi salah satunya disebabkan karena hasil waktu operasi dari rele *back-up* terhadap rele primer tidak mencukupi nilai CTI (*Coordination Time Interval*) yang tepat [1].

Plant IEEE dengan 8-Bus dengan DG (*Distributed Generator*) merupakan suatu sistem tenaga listrik menggunakan jaringan *mesh*. Dimana jaringan *mesh* memiliki tingkat kesulitan yang jauh lebih tinggi dibandingkan jaringan radial dalam hal koordinasi proteksi. Kesulitan ini juga ditambah dengan adanya DG (*Distributed Generator*) pada sistem *mesh* tersebut. Hal ini disebabkan karena DG (*Distributed Generator*) memberikan arus kontribusi gangguan yang berbeda dalam keadaan *on* dan *off*. Penggunaan rele yang tepat juga sangat berpengaruh terhadap keberhasilan koordinasi proteksi pada jaringan *mesh*. Rele yang diperlukan untuk koordinasi proteksi pada sistem jaringan *mesh* adalah rele DOCR (*Directional Over Current Relay*).

Dalam hal mengurangi kesulitan dalam studi koordinasi proteksi pada sistem *mesh*, beberapa cara digunakan untuk mengoptimalkan beberapa parameter koordinasi proteksi. Parameter yang dioptimalkan diantaranya adalah nilai TDS (*Time Dial Setting*), CTI (*Coordination Time Interval*), dan waktu operasi pada setiap rele primer dan rele *back-up*. Beberapa cara yang telah diusulkan untuk proses optimasi parameter tersebut adalah LP (*Linear Programming*) [3], PSO (*Particle Swarm Optimization*), NLPP (*Nonlinear Programming Problem*), GA (*Genetic Algorithm*), dan EA (*Evolutionary Algorithm*).

MAPSO (*Modified Adaptive Particle Swarm Optimization*) adalah modifikasi dari PSO dimana pada algoritma ini memiliki beberapa hal yang meningkatkan proses optimasi sebagai solusi masalah dari tingginya tingkat kesulitan dari koordinasi proteksi pada sebuah sistem *mesh*. Hal tersebut adalah parameter *velocity parameter* dan pertukaran posisi terbaik dari masing-masing fungsi objektif.

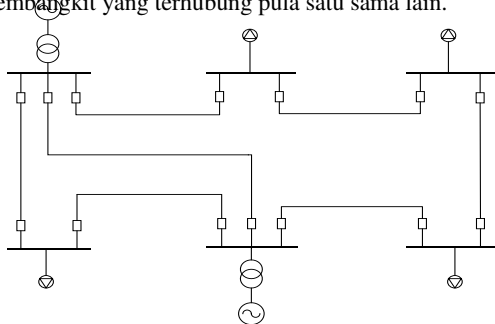
II. DASAR TEORI

A. Sistem Distribusi Mesh

Sistem distribusi mesh adalah suatu sistem distribusi pada sistem tenaga listrik yang terdiri atas gabungan antara sistem radial dan sistem *loop*. Sistem ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan konfigurasi sistem jenis lain di antaranya adalah :

- 1) Kontinuitas penyaluran daya listrik sangat terjaga dapat memenuhi kebutuhan beban.
- 2) Apabila terjadi gangguan pada salah satu saluran maka saluran lain tidak akan terganggu dalam hal penyaluran daya listriknya.

Sistem distribusi mesh tetap masih memiliki kekurangan pada saat perancangan maupun desain. Biaya konstruksi yang dikeluarkan untuk pembuatan sistem mesh masih tergolong sangat mahal. Dalam hal desain, tingkat kesulitan dalam melakukan studi koordinasi proteksi sangat tinggi. Kesulitan ini dapat dilihat dari peralatan yang saling terhubung satu sama lain serta pemangkit yang terhubung pula satu sama lain.



Gambar 1 Sistem Distribusi Mesh

B. Proteksi dalam Sistem Tenaga

Pada penyaluran daya listrik di suatu sistem tenaga listrik diperlukan adanya studi yang membahas tentang pengamanan sistem tenaga listrik. Hal ini dilakukan untuk menjaga kontinuitas penyaluran daya listrik ke bebas tetap terjaga. Di samping itu proteksi dalam sistem tenaga listrik dilakukan untuk menjaga peralatan listrik yang tersambung dengan sistem dari kerusakan akibat terjadinya gangguan pada sistem.

C. Gangguan pada Sistem Tenaga

Pada sistem tenaga listrik terdapat beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem penyaluran daya listrik. Gangguan tersebut adalah gangguan hubung singkat (*short circuit*) dan gangguan beban lebih (*overload*).

• Gangguan Hubung Singkat

Gangguan pada jenis terjadi dibagi atas dua jenis gangguan hubung singkat, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan hubung singkat pada tiga fasa sedangkan gangguan hubung singkat lainnya merupakan gangguan hubung singkat asimetri.

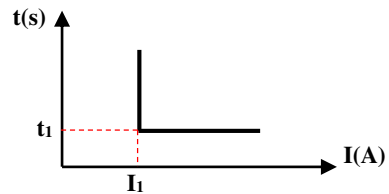
Gangguan hubung singkat asimetri akan menyebabkan kenaikan nilai arus pada fasa yang mengalami gangguan dan nilai tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Gangguan yang sering terjadi pada sistem penyaluran daya tenaga listrik adalah gangguan asimetri. Hal ini disebabkan oleh hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa, dan hubung singkat antara dua fasa ke tanah. Gangguan jenis ini menyebabkan kerusakan pada peralatan-peralatan listrik, berkurangnya stabilitas sistem, dan terhentinya kontinuitas penyaluran daya listrik.

D. Rele Arus Lebih (Overcurrent Relay)

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja ketika arus yang mengalir pada suatu saluran sistem tenaga listrik melebihi batasan nilai arus yang ditentukan. Rele akan bekerja ketika $I_f > I_p$ dan rele akan tidak bekerja ketika $I_f < I_p$. Di mana I_p merupakan nilai arus yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT (*Current Transformer*) dan I_f merupakan nilai arus gangguan yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT (*Current Transformer*). Rele arus lebih dapat berupa rele arus lebih waktu tertentu (*definite*), rele arus lebih waktu *invers*, dan rele arus lebih waktu *instant*.

1) Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu merupakan rele yang dapat diatur waktu operasinya berdasarkan *level* arus yang berbeda. Rele jenis ini sering digunakan untuk memutus aliran daya pada gangguan yang paling dekat dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang telah di *setting*. Rele ini bekerja ketika arus yang terbaca oleh rele tersebut melebihi *pickup setpoint*-nya sehingga semua *level* arus yang melewati batas *pickup setpoint*-nya akan diputus pada waktu yang sama juga [5]. Gambar 2 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.

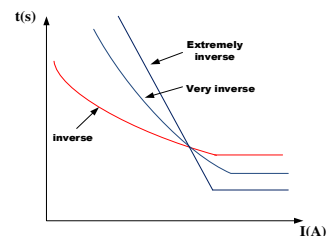


Gambar 2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2) Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers mempunyai cara kerja yang berbanding terbalik antara waktu operasi rele dengan arus gangguan. Hal ini ditunjukkan ketika terdapat nilai arus gangguan yang sangat besar maka waktu operasi rele tersebut adalah cepat atau kecil begitu pula sebaliknya. Hubungan dari kedua parameter ini direpresentasikan dengan sebuah kurva TCC (*Time Current Curve*). Kurva ini diperlengkapi oleh skala *time dial*. Dimana semakin lama waktu *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut begitu juga sebaliknya.

Pada standar IEC 60255-3 dan BS 142 , karakteristik dari sebuah rele arus lebih waktu inversi dijelaskan. Proteksi pada waktu invers dibedakan oleh gradient kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse* [6]. Karakteristik ini dapat dilihat pada Gambar 3. Selain itu, kurva invers ini sering didapatkan dengan *inverse definite minimum time* (IDMT) dimana seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi akan turun semakin cepat seolah akan mendekati waktu *definite* minimumnya.

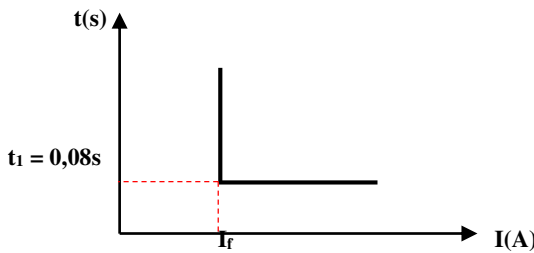


Gambar 3 Karakteristik Standard Inverse, Very Inverse dan Extremely Inverse

3) Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan bekerja dengan tidak adanya penundaan waktu operasi dari rele. Pada umumnya rele ini bekerja pada waktu kurang dari 0,08 detik ,tetapi rele ini masih

dapat bekerja pada waktu 0,1 detik. Karakteristik dari rele arus lebih waktu instan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan

4) *Penyetelan Arus Lebih*

• *Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers*

Batasan yang diperbolehkan pada saat penyetelan arus lebih adalah tidak bekerja ketika beban pada kondisi maksimum. Oleh sebab itu setelan atau *setting* arus pada rele harus lebih besar dari arus beban maksimum. Penyetelan rele arus lebih untuk mengatur besarnya arus *pickup* ditentukan dengan pemilihan *tap*. Pemilihan nilai *tap* dapat didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT\ ratio} \tag{2.4}$$

Dimana I_{set} merupakan arus *pick up* dalam ampere dengan batasan $1.05I_n < I_{set} < 1.4I_n$. Batasan tersebut diambil dari standar British yaitu BS142. *CT ratio* merupakan nilai arus CT yang melewati rele pada gulungan primer CT atau gulungan sekunder CT.

Adapun setelan untuk *time dial* untuk menentukan waktu operasi dari rele. Penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$t_d = \frac{k \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}^\alpha}{I_{set}} \right) - 1 \right]} \tag{2.5}$$

Di mana :

- t_d = waktu operasi (detik)
- TDS = *Time Dial Setting*
- $I_{sc\ max}$ = arus hubung singkat maksimum (A)
- I_{set} = arus *pickup* (A)
- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 1.

Koefisien Invers Time Dial

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

• *Setting Rele Arus Lebih Waktu Instan*

Rele arus lebih instan akan bekerja jika arus yang mengalir pada rele melebihi batasan arus yang diizinkan. Dalam menentukan *setting* arus *pickup* instan , arus yang digunakan dalam perhitungan adalah $I_{sc\ min}$ 2 fasa pada pembangkitan minimum. Dimana batasan penyetelan I_{set} adalah $I_{set} < 0,8I_{sc\ min}$.

• *Koordinasi Rele Berdasarkan Arus dan Waktu*

Pada saat melakukan koordinasi proteksi suatu sistem tenaga , koordinasi rele dengan mempertimbangkan urutan rele primer dan rele *backup* adalah sangat penting. Hal ini dilakukan agar

tidak terjadi miskoordinasi seperti trip secara bersamaan. Sesuai dengan standar IEEE 242 tentang selisih waktu antara rele primer dan rele *backup*, Δt yang diperbolehkan adalah 0,2 – 0,5 detik. Dengan spesifikasi peralatan sebagai berikut :

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)

Overtravel dari Rele : 0,01 s

Faktor keamanan : 0,12 – 0,22 s

Untuk rele berbasis *microprocessor*, *Overtravel time* dari rele dapat diabaikan sehingga waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,3s.[4]

5) *Rele Directional Over Current Relay*

Rele arah memiliki fungsi untuk membedakan arah suplai arus apakah menuju arah seharusnya atau menuju arah yang lainnya. Arah yang dimaksud adalah arah *forward* dan *reverse*. Kemudian rele arah ini sering diintegrasikan dengan rele arus lebih sehingga menjadi rele arus lebih berarah. Rele jenis ini menggunakan hubungan antara fasa arus dan fasa tegangan untuk menentukan arah gangguan.

Dalam penentuan daerah *trip*, rele arus lebih berarah ini dilengkapi dengan setelan sudut dari koneksi rele yang menghasilkan torsi maksimum. Setelan sudut ini biasa disebut sebagai *maximum torque angle* (MTA).

6) *Pembangkit Tersebar (Distributed Generator)*

Pada umumnya *Distributed Generator* merupakan pembangkitan dalam skala kecil (1 kW – 50 MW) yang menghasilkan listrik pada suatu tempat yang dekat dengan pelanggan pada sistem jaringan distribusi. *Distributed Generator* direpresentasikan oleh beberapa jenis pembangkit , seperti generator induksi, *microturbines*, *fuel cells*, *solar photovoltaic*, dan *wind turbines*. Beberapa keuntungan menggunakan DG di antaranya adalah :

1. Membantu pemenuhan kebutuhan listrik ke pelanggan pada tempat yang jauh dari sumber listrik.
2. Mengurangi tekanan yang dapat mengganggu kontinuitas daya pada jaringan distribusi dan transmisi.
3. Mengurangi biaya pemakaian listrik pada waktu terjadinya beban puncak karena sebagian beban ditanggung oleh DG.
4. Sebagai sumber listrik cadangan atau *backup* pada suatu tempat sehingga meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.
5. Apabila dioperasikan dengan teknologi yang baik, DG dapat menghasilkan hampir tidak ada polusi pada suatu lingkungan.

7) *Algoritma MAPSO (Modified Particle Swarm Optimization)*

Modified Adaptive Particle Swarm Optimization memiliki kesamaan sifat dengan teknik komputasi seperti Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*). Sistem PSO diinisialisasi oleh sebuah populasi solusi secara acak dan selanjutnya mencari titik optimum dengan cara meng-update tiap hasil pembangkitan. Metode optimasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut *evolution-based procedures*.

Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya yang terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua parameter, yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan yang akan dituju atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada partikel yang lain

sehingga partikel lain dapat menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai informasi posisi terbaik tersebut.

• *Proses Inisiasi*

Inisialisasi sekumpulan *particle* secara random dimana setiap *particle* merepresentasikan solusi yang mungkin untuk masalah optimasi. Pada tahap ini biasanya beberapa parameter *particle* memiliki batasan-batasan pada masing-masing kasus yang akan dioptimasi. Hal ini dilakukan untuk mencegah nilai random inialisasi yang terlalu jauh.

Parameter yang sangat penting diinisialisasi pada algoritma PSO adalah posisi dari setiap *particle* (X_i), kecepatan dari setiap *particle* (V_i), dan posisi terbaik dari setiap *particle* (P_i). Ketiga parameter ini dapat berupa lebih dari satu parameter yang akan dioptimasi atau biasa disebut dengan *multi objective*. Kemudian parameter lainnya yang harus diinisialisasi adalah nilai-nilai konstanta, seperti c_1, c_2, c_3, r_1 , dan r_2 . Keempat konstanta tersebut dapat diperbaharui setiap iterasi nantinya atau hanya ditentukan sebuah angka (0 sampai 1).

• *Proses Iterasi dan Updating Parameter*

Pada proses ini parameter-parameter penting yang sudah diinisiasi pada tahap sebelumnya masuk ke dalam tahap pembaharuan nilai-nilai parameter untuk mendapatkan nilai yang terbaik. Adapun formula untuk menghitung nilai-nilai parameter yang akan diperbaharui pada tahap iterasi adalah sebagai berikut :

$$v_{k+1} = w_k v_k + c_1 r_1 \times (P_{best} - x^k) + c_2 r_2 \times (x^k - P_{notbest}) + c_3 r_3 (G_{best} - x^k) \quad (2.6)$$

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

Nilai dari w_k disesuaikan dengan permasalahan optimasi yang diinginkan. Hal ini dikarenakan nilai dari formula untuk mencari nilai w_k adalah beragam. Pemilihan nilai w_k yang tepat akan mempercepat proses optimasi pada permasalahan yang diambil karena peran dari w_k adalah pengontrol keseimbangan antara eksplorasi *global* dan *local*.

Dalam algoritma MAPSO terdapat *update* pembatas kecepatan. Hal ini merupakan salah satu pembaharuan dari algoritma MAPSO dibandingkan algoritma PSO. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses konvergensi [10]. Formula untuk membatasi kecepatan pada algoritma MAPSO adalah sebagai berikut :

$$R = R^{initial} + (R^{final} - R^{initial}) * \left(\frac{iter}{iter\ max}\right) \quad (2.7)$$

$$V_j^{max} = R \times (X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (2.8)$$

Diimana :

$$R^{initial} > R^{final}$$

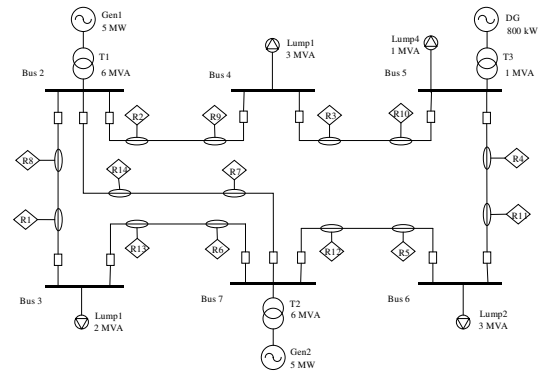
Setiap nilai dari posisi setiap *particle* (X_i) dimana X_i ditentukan nilai fluktuasinya sesuai dengan permasalahan optimasinya akan dibandingkan dengan nilai terbaik yang dicapai oleh *local best* (P_i). Jika nilai dari fluktuasi $X_i < P_{best}$ maka P_{best} diganti dengan nilai fluktuasi dari X_i sedangkan jika nilai fluktuasi $X_i > P_{best}$ maka $P_{notbest}$ diganti dengan nilai fluktuasi dari X_i . Selain itu, setiap nilai fluktuasi dari *particle*

akan dibandingkan dengan nilai terbaik yang dicapai dalam populasi G_{best} .

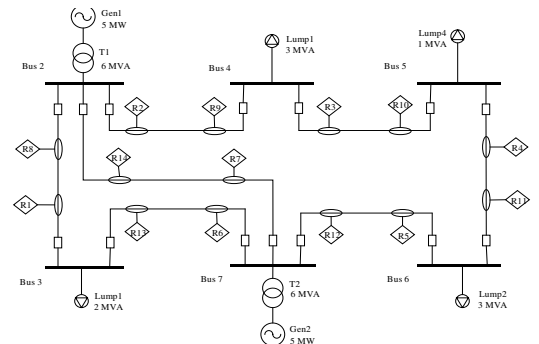
III. PERANCANGAN SISTEM

A. Sistem Kelistrikan Distribusi Mesh

Berikut ini adalah Gambar 5 dan Gambar 6 yang menggambarkan sistem kelistrikan distribusi mesh IEEE 8-Bus yang telah direkonfigurasi ke dalam jaringan distribusi dengan DG dan tanpa DG pada tugas akhir ini.



Gambar 5 Single Line Diagram dengan DG



Gambar 6 Single Line Diagram tanpa DG

B. Pasangan Rele Utama dan Rele Backup

Pasangan rele utama dan rele *backup* dapat ditentukan dengan menentukan arah arus yang mengalir pada sistem. Arah arus pada sistem distribusi mesh berasal dari beberapa sumber yang ada pada sistem. Hal ini menyebabkan rele-rele pengaman pada sistem distribusi mesh tergantung pada arah *reverse* dan *forward* dari sebuah arus. Dimana arah *forward* ditentukan dari arah koordinasi proteksi yang searah dengan jarum jam (*clock wise*) dan *reverse* ditentukan dari arah koordinasi proteksi yang berlawanan dengan jarum jam (*counter clock wise*).

Pasangan rele utama dan rele *backup* pada sistem distribusi mesh di tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 2.

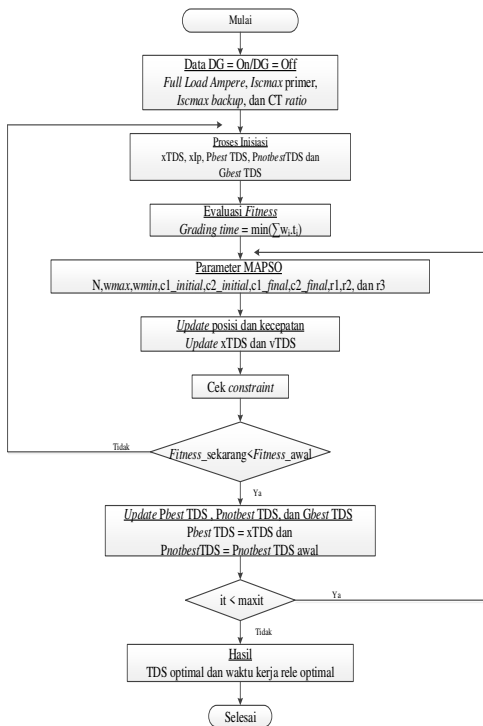
Tabel 2. Pasangan rele utama dan rele *backup*

No	Forward (CW)		No	Reverse (CCW)	
	Rele utama	Rele backup		Rele utama	Rele backup
1	1	2	9	8	13
2	2	3	10	9	8
3	3	4	11	9	14

4	4	5	12	10	9
5	5	6	13	11	10
6	5	7	14	12	11
7	6	1	15	13	12
8	7	2	16	14	12

C. Optimasi Koordinasi Proteksi Menggunakan MAPSO

Pada saat melakukan optimasi koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh menggunakan algoritma MAPSO, dilakukan beberapa langkah guna untuk mencapai nilai TDS dan waktu operasi yang optimal. Flowchart dalam penggunaan algoritma MAPSO pada koordinasi rele DOCR dilakukan untuk mempermudah penyusunan algoritma. Flowchart algoritma MAPSO disusun seperti Gambar 7



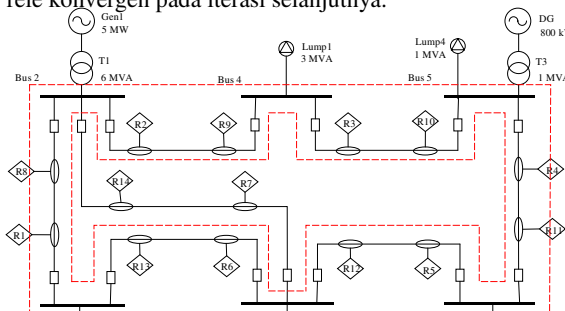
Gambar 7 Flowchart Algoritma MAPSO

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

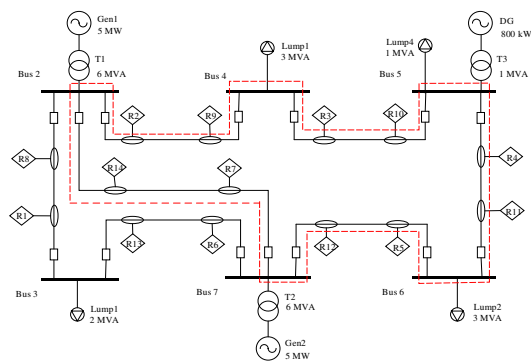
A. Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG Menggunakan Perhitungan Manual

Perhitungan manual koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh digunakan sebagai hasil pembandingan perhitungan koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh menggunakan algoritma MAPSO. Pada perhitungan ini dilakukan setting lowset untuk rele. Hal ini digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan bus dan overload.

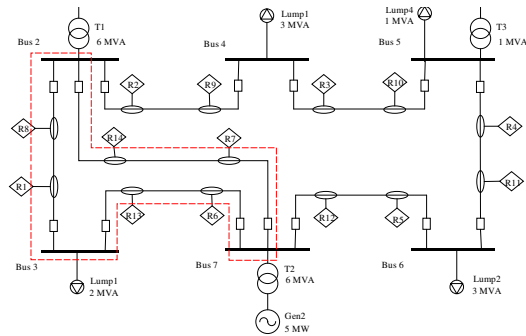
Pada perhitungan manual ini, sistem distribusi mesh dengan DG dibagi menjadi 3 bagian. Bagian-bagian tersebut adalah loop I, loop II, dan loop III. Pembagian daerah loop pada perhitungan ini digunakan sebagai perhitungan secara akurat untuk semua arus kontribusi dari pembangkit. Perhitungan ini dilakukan dalam beberapa iterasi sampai hasil nilai TDS setiap rele konvergen pada iterasi selanjutnya.



Gambar 8 Loop I pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG



Gambar 9 Loop II pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG



Gambar 10 Loop III pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG

B. Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG Menggunakan Algoritma MAPSO

Pada program simulasi ditentukan nilai – nilai dari parameter MAPSO adalah sebagai berikut :

- 1) Maksimum Iterasi = 100
- 2) Ukuran populasi = 500
- 3) Wmax = 0,9
- 4) Wmin = 0,4

Fitness yang digunakan pada program algoritma MAPSO adalah total operasi semua rele. Kondisi yang berlaku pada fitness tersebut adalah jika total waktu operasi semua rele pada iterasi ke- n lebih kecil dari total waktu operasi semua rele pada iterasi ke – (n-1) maka fitness dan beberapa parameter diubah sesuai dengan fitness pada iterasi ke – n.

C. Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Mesh dengan Menggunakan Algoritma MAPSO

Hasil simulasi MATLAB R2014b dari optimasi koordinasi proteksi DOCR dengan DG menggunakan algoritma MAPSO dan perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.
Hasil perhitungan manual dan algoritma MAPSO

Rele	TDS MAPSO	TDS Manual	Waktu Operasi MAPSO	Waktu Operasi Manual
1	0,086	0,041	0,104	0,050
2	0,084	0,138	0,487	0,797
3	0,090	0,119	0,372	0,492
4	0,089	0,025	0,044	0,013
5	0,063	0,115	0,053	0,098
6	0,054	0,095	0,377	0,665
7	0,087	0,093	0,368	0,391
8	0,090	0,134	0,558	0,831
9	0,089	0,152	0,067	0,115
10	0,079	0,062	0,033	0,026
11	0,074	0,058	0,197	0,154
12	0,058	0,097	0,409	0,683
13	0,076	0,060	0,231	0,183
14	0,068	0,096	0,373	0,523
Total	1,087	1,285	3,673	5,021

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa total waktu operasi hasil optimasi menggunakan algoritma MAPSO lebih cepat dibandingkan dengan total waktu operasi dengan perhitungan manual. Total nilai TDS dari algoritma MAPSO juga lebih kecil dibandingkan dengan total nilai TDS dari perhitungan manual.

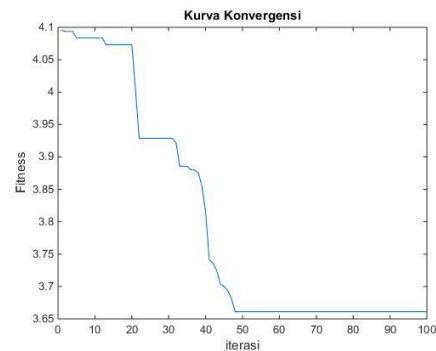
Nilai margin antara rele primer dan rele backup serta waktu operasi rele primer yang didapatkan dari hasil optimasi algoritma MAPSO koordinasi proteksi dengan DG dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Waktu Operasi Rele menggunakan MAPSO

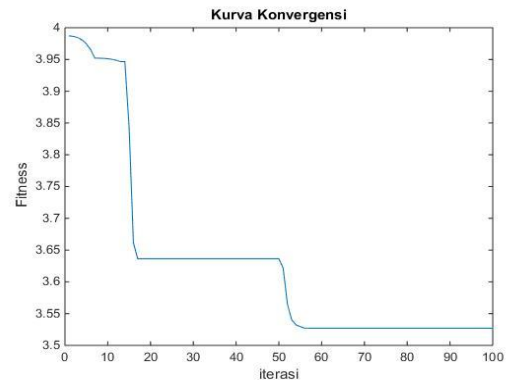
No	Rele Primer	Rele Backup	t_{primer}	t_{backup}	CTI
1	1	2	0,1038	0,6238	0,5200
2	2	3	0,4878	1,0838	0,5960
3	3	4	0,3724	0,8594	0,4870
4	4	5	0,0445	0,3755	0,3310
5	5	6	0,0533	0,6513	0,5980
6	5	7	0,0533	0,6793	0,6260
7	6	1	0,3774	1,2004	0,8230
8	7	2	0,3686	1,0086	0,6400
9	8	13	0,5586	1,8686	1,3100
10	9	8	0,0674	0,6774	0,6100
11	9	14	0,0674	0,5254	0,4580
12	10	9	0,0332	0,3782	0,3450
13	11	10	0,1972	0,9992	0,8020
14	12	11	0,4090	1,7090	1,3000
15	13	12	0,2309	0,6899	0,4590
16	14	12	0,373	0,9250	0,5520

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai waktu operasi rele primer telah memenuhi *constraint* yang telah ditentukan, yaitu $t_{primer} < 1$ s. Selain itu, nilai CTI (*Coordination Time Interval*) dari waktu operasi rele primer dan rele backup sesuai dengan *constraint* $CTI \geq 0,2$. Adapun waktu rele primer yang bekerja di bawah 0,1 s disebabkan oleh *rating* FLA yang melewati rele tersebut jauh lebih kecil dari besarnya arus gangguan maksimum yang melewati rele tersebut sehingga *setting* arus pada rele tersebut juga kecil.

Dalam melakukan suatu proses optimasi menggunakan algoritma diperlukan kurva konvergensi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui iterasi yang dibutuhkan oleh suatu algoritma untuk mengoptimalkan suatu parameter. Kurva konvergensi algoritma MAPSO untuk koordinasi proteksi dengan DG dan tanpa DG dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 11 Kurva Konvergensi Algoritma MAPSO dengan DG



Gambar 12 Kurva Konvergensi Algoritma MAPSO tanpa DG

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi *Directional Over Current Relay* menggunakan MAPSO dengan DG yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) *Directional Over Current Relay* dapat digunakan sebagai rele arus lebih dengan arah yang dapat ditentukan berdasarkan keadaan *forward* atau *reverse*.

- 2) DG yang terhubung pada sistem distribusi mesh menyebabkan adanya penambahan arus hubung singkat maksimum yang terbaca pada beberapa rele.
- 3) Nilai total TDS hasil optimasi algoritma MAPSO relatif lebih kecil dibandingkan perhitungan manual
- 4) Nilai rata-rata waktu operasi rele primer menggunakan MAPSO adalah sebesar 0,262 detik
- 5) Tingkat konvergensi algoritma MAPSO terhitung cepat karena dari hasil percobaan, rata-rata *fitness* akan konvergen pada iterasi ke- 50.
- 6) Urutan *tripping* rele koordinasi proteksi pada sistem distribusi dengan DG dan tanpa DG adalah sama.

Studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa perkuliahan penulis aktif di berbagai organisasi luar kampus dan dalam kampus. Penulis juga aktif menjadi asisten di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Untuk membutuhkan informasi, penulis juga dapat dihubungi melalui email: adityadescaraputra@yahoo.co.id

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zahra Moravej, Mostafa Jazaeri, dan Mehdi Gholamzadeh, "Optimal coordination of distance and over-current relays in series compensated systems based on MAPSO", *Energy Conversion and Management*, 56 (2012) 140 – 151
- [2] V.V.S.N Murty dan Ashwani Kumar, "Mesh distribution system analysis in presence of distributed generator with time varying load model", *Electrical Power and Energy Systems* 62 (2014)
- [3] H. B. Elrafie, M.R. Irving, "Linear programming for directional overcurrent relay coordination in interconnected power systems with constraint relaxation", *Electric Power Systems Research*, 27 (1993) 209-216
- [4] Wahyudi, "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [5] Phadke, Arun G, dan Thorp, James S, "Computer Relaying for Power System", John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch.2, 2009
- [6] Prévé, Christophe, "Protection of Electrical Networks", ISTE Ltd., London, Ch. 7 , 9 , 2006
- [7] Cahier Technique No.158, "Calculation of Short-circuit Currents", Schneider Electric, 2005
- [8] Thomas Ackerman, Goran Andersson, dan Lennart Soder, "Distributed Generator: a definition", *Electric Power Systems Research* 57, Elsevier, 2001, pp.195-204
- [9] Mohamed M.Mansour, Said F. Mekhamer, dan Nehad El-sherif El-Kharbawe, "A Modified Particle Swarm Optimizer for the Coordination of Directional Overcurrent Relays", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.22, No.3, July 2007
- [10] Nima Amjady dan Hassan Rezai Soleymanpour, "Daily Hydrothermal Generator Scheduling by a new Modified Adaptive Particle Swarm Optimization technique", *Electric Power Systems Research* 80 (2010) 723-732

BIOGRAFI PENULIS



Aditya Descara Putra lahir di Jakarta pada tanggal 02 Januari 1994. Penulis mengawali pendidikan sekolah dasar di SD Tunas Jaka Sampurna Bekasi selama 6 tahun, kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Santa Lusia Bekasi pada tahun 2005 selama 3 tahun , setelah itu penulis melanjutkan pendidikan formal sekolah menengah atas di SMAN5 Bekasi pada tahun 2008 selama 3 tahun. Setelah lulus dari pendidikan SMA pada tahun 2011 , penulis melanjutkan pendidikan kuliah jenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang