

Optimasi Injeksi *Photovoltaic Distributed Generation* Menggunakan Metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* dan *Improved Particle Swarm Optimization*

Alvin Zuhair¹, Hadi Suyono², M. Aziz Muslim³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
Email ; alvienalataqwa@gmail.com, hadis@ub.ac.id, muh_aziz@ub.ac.id

²) Corresponding Author: hadis@ub.ac.id

Abstract— *In electric power systems, the quality of electric power received by loads far from the center of electricity generation is decreasing and power losses are increasing. In maintaining voltage quality and increasing power supply to the network, it is necessary to utilize solar energy generation, namely Photovoltaic Distributed Generation (PVDG). This study discusses PVDG optimization by searching for injection locations and power capacity using the Ant Colony Optimization Continuous Domain method (ACOCD) and Improved Particle Swarm Optimization (IPSO). There are three scenarios that are implemented in a system based on increasing the value of injection and spreading the plant from the initial generation source. The results obtained indicate the ideal condition of the system contained in the optimization scenario-3 with the addition of 4 PVDG with 50% injection power load value with constraints given at the lower limit of generation that is 0.5 kW and the upper limit of generation is 2 MW. Power losses after PVDG power injection, power reduction before injection was 5.08% but, after PVDG power injection the active power losses decreased to 0.09% (ACOCD) and 0.13% (IPSO). From this study, the ACOCD method is better than the IPSO method.*

Index Terms— *Ant Colony Optimization Continuous domain, Improved Particle Swarm Optimization, Photovoltaic Distributed Generation.*

Abstrak— Pada sistem tenaga listrik, kualitas daya listrik yang diterima oleh beban yang jauh dari pusat pembangkitan listrik semakin menurun dan rugi-rugi daya semakin meningkat. Dalam mempertahankan kualitas tegangan dan menambah pasokan daya pada jaringan, perlu pemanfaatan pembangkit energi matahari yaitu *Photovoltaic Distributed Generation* (PVDG). Penelitian ini membahas optimasi PVDG dengan melakukan pencarian lokasi injeksi dan kapasitas daya menggunakan metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* (ACOCD) dan *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO). Terdapat tiga skenario yang di implementasikan pada pada sistem yang berdasarkan peningkatan nilai injeksi dan penyebaran pembangkit dari sumber pembangkitan awal. Hasil yang diperoleh menunjukkan kondisi ideal sistem terdapat pada optimasi skenario-3 dengan penambahan 4 PVDG dengan daya injeksi 50% nilai daya beban dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 2 MW. Rugi-rugi daya setelah injeksi daya PVDG, pengurangan daya yang sebelum injeksi 5.08% namun, setelah injeksi daya PVDG rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 0.09% (ACOCD) dan 0,13% (IPSO). Dari penelitian ini

menunjukkan metode ACOCD lebih baik dibandingkan metode IPSO.

Kata Kunci— *Ant Colony Optimization Continuous domain, Improved Particle Swarm Optimization, Photovoltaic Distributed Generation.*

I. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan di Indonesia sebagian besar dihasilkan oleh mesin penggerak berbahan bakar fosil. Menipisnya persediaan bahan bakar fosil tidak didukung oleh ketersediaan cadangan energi yang dimiliki. Masalah keterbatasan energi mempunyai kecenderungan meningkat dan berkembang [1]. Dalam menyelesaikan permasalahan krisis energi tersebut maka solusi terbaik yaitu dibutuhkan sumber energi alternatif atau terbarukan yang ramah lingkungan, ekonomis, berkelanjutan dan secara teknis mudah di implementasikan. Disamping itu, perkembangan teknologi tentang sumber energi terbarukan dikombinasikan dengan berkembangnya perhatian masyarakat akan isu-isu lingkungan maka *distributed generation* (DG) yang terhubung dengan jaringan telah banyak digunakan.

Pembangkit energi listrik ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen atau ke dalam sistem distribusi. Penempatan DG dapat mempengaruhi aliran daya dan tegangan pada bus di sistem distribusi. Oleh karena itu, penempatan DG harus diperhitungkan dan direncanakan secara detail agar dapat bekerja secara optimal. Penempatan DG yang tidak optimal dapat meningkatkan rugi-rugi daya pada sistem, sehingga berpengaruh terhadap profil tegangan yang akan menurun. Selain itu, kapasitas DG harus diperhatikan untuk memberikan dampak positif. Penempatan dan kapasitas DG yang optimal dapat berpengaruh kepada peningkatan profil tegangan, dan mengurangi losses atau rugi-rugi daya. Sebuah solusi perencanaan pengembangan energi terbarukan yaitu dengan memanfaatkan energi terbarukan model PVDG dalam menjawab permasalahan kualitas dan keberlanjutan persediaan energi listrik di Indonesia.

Peneliti terdahulu [2] telah melakukan penelitian mengenai lokasi optimal PVDG pada sistem distribusi dengan menggunakan metode algoritma genetik. Penelitian ini memaparkan suatu pendekatan optimasi metode algoritma yang terinspirasi pada teori genetika

yang dijelaskan Darwin. Hasil yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan hasil yang telah dicapai melalui metode konvensional biasa.

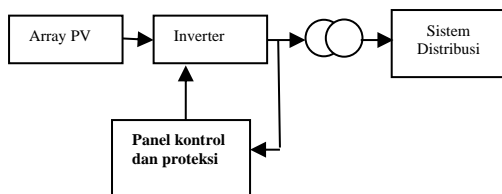
Penelitian ini membahas mengenai bagaimana menentukan secara optimal lokasi injeksi dan kapasitas daya PVDG pada suatu penyulang. Lokasi penyulang yang digunakan adalah Penyulang Dampit 20 kV Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur. Metode yang diusulkan yaitu studi optimasi menggunakan metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* dan *Improved Particle Swarm Optimization*. Kedua metode ini akan dibandingkan untuk mendapatkan solusi optimal dalam memperbaiki kualitas daya dan penempatan PVDG yang optimal.

Tujuan penelitian ini yaitu menentukan lokasi injeksi dan kapasitas daya PVDG yang optimal agar kondisi tegangan yang dihasilkan sesuai standar aturan jaringan sistem tenaga listrik 20 kV (+5% atau -10% dari tegangan nominal)[3]. Analisis aliran daya PVDG menggunakan metode *Newton-Raphson*. Pada penelitian ini diberikan lingkup batasan masalah yaitu analisis dan simulasi dilakukan dengan mengabaikan faktor karakteristik bahan modul PV, inverter, sistem kontrol, baterai, sistem proteksi, topologi PV, kemiringan sudut modul PV, dan analisis ekonomis.

II. SISTEM PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION

Sistem kelistrikan yang dihasilkan dari PVDG merupakan listrik DC. Listrik DC yang dihasilkan tersebut dikonversi ke bentuk AC melalui sebuah inverter dari inverter dimasukkan dalam trafo step up untuk diinjeksikan pada bus yang ditentukan.

Nilai beban yang terdapat pada inverter PVDG adalah daya beban pada grid (beban penyulang). Persyaratan utama untuk terhubung ke jaringan sangat ditentukan oleh kualitas arus (I_{PV}) dan tegangan (V_{PV}) output sistem PV dengan arus (I_{AC}) dan tegangan (V_{AC}). Gambar 1 ditunjukkan konfigurasi dasar sistem PV Grid.



Gambar 1. Konfigurasi Dasar Sistem *Photovoltaic Grid Connected*[4]

III. ANT COLONY OPTIMIZATION CONTINUOUS DOMAIN ALGORITHM

ACOCD merupakan metode pengembangan dari *Ant Colony Optimization* (ACO) Metode ini terinspirasi oleh perilaku koloni semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju makanan. Pada kasus ACOCD, informasi feromon disimpan sebagai arsip solusi. Ini menyiratkan bahwa feromon prosedur pembaruan harus melakukan beberapa formulir pembaruan pada arsip. Pembaruan feromon dilakukan dengan menambahkan set solusi yang baru dibuat untuk solusi arsip T dan kemudian hapus nomor yang sama solusi terburuk,

sehingga ukuran total arsip tidak berubah. Proses ini memastikan bahwa hanya solusi terbaik disimpan dalam arsip, sehingga mereka memandu semut secara efektif dalam proses pencarian.

Pada Gambar 2 menunjukkan diagram alir metode optimasi ACOCD dengan beberapa tahapan. Secara garis besar tahapan pada algoritma ACOCD terdiri dari tahap pra-iterasi dan tahap iterasi.

1. Tahap pra-iterasi ACOCD

Tahap pra-iterasi ACOCD adalah tahapan yang dilakukan sebelum dimulai dengan mendeklarasikan nilai fitness, Semua solusi dari semut awal akan diurutkan berdasarkan nilai losses dari yang terburuk (besar) hingga yang terbaik (kecil), lalu bobot setiap solusi (ω) akan dihitung dengan probabilitas seleksi dari setiap solusi akan dihitung dengan formula pada Persamaan:

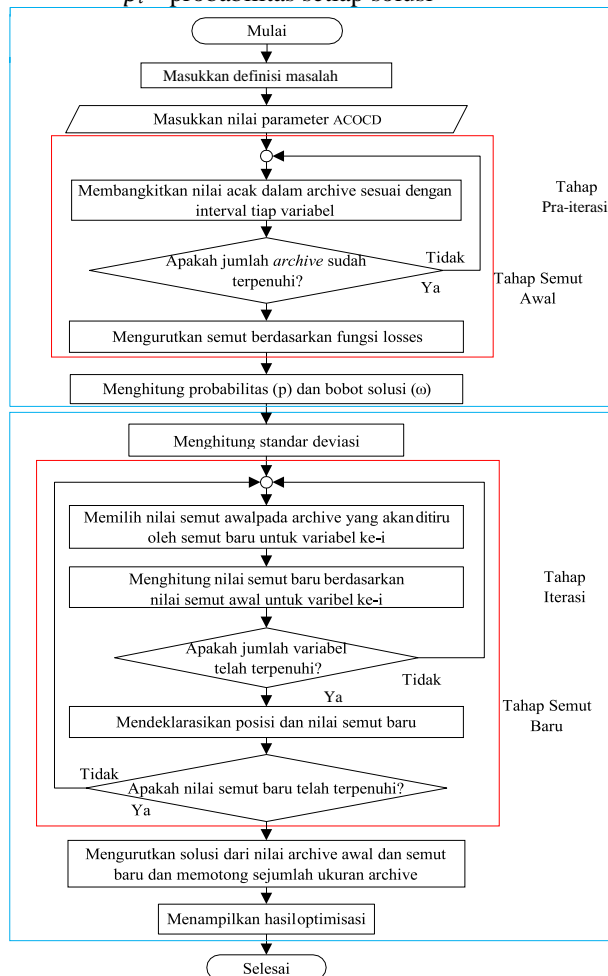
$$p_l = \frac{\omega_l}{\sum_{r=1}^k \omega_r} \quad (1)$$

Dimana,

ω_l = bobot setiap solusi

ω_r = bobot semua solusi

p_l = probabilitas setiap solusi



Gambar 2. Diagram alir metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain*

2. Tahap iterasi ACOCD

Tahap selanjutnya setelah proses pra-iterasi ACOCD adalah tahap Iterasi ACOCD, tahap ini merupakan looping utama dari algoritma ACOCD.

Solusi semut awal yang telah disimpan sebagai *archive*, pada tahap ini digunakan sebagai acuan untuk posisi semut baru yang akan di bangkitkan. selanjutnya membangkitkan semut baru sejumlah n yang kemudian akan memilih lintasanya sendiri berdasarkan *archive* yang akan di tiru untuk setiap variabel. Solusi awal yang telah dipilih akan membentuk solusi baru dengan persamaan:

$$S_1^i = S_e^i + \sigma_e^i \quad (2)$$

dimana:

S_1^i = Solusi semut baru pada variabel ke-i

S_e^i = Solusi semut awal pada variabel ke-i

σ_e^i = Standar deviasi

Fungsi objektif pada proses optimasi sebagai berikut:

$$f(x) = \min [P_{GEN} + \sum_{i=1}^{Nb} P_{PVDGi}] - \sum_{i=1}^{Nb} P_{LOADi} \quad (3)$$

$$\text{Fitness} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{ij}, i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{ij} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{real}(Sloss)_{ij} \quad (5)$$

dimana:

$Ploss_{ij}$ = rugi-rugi daya aktif pada jaringan (MW)
 $Sloss_{ij}$ =rugi-rugi daya reaktif pada jaringan (MVA)
 n = jumlah bus pada sistem distribusi dengan meminimumkan fungsi tujuan pada persamaan diatas maka akan didapat kapasitas DG yang optimal.

IV. IMPROVED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

Particle Swarm Optimization adalah salah satu dari teknik komputasi evolusioner yang berdasarkan pada penelusuran algoritma yang diawali dengan suatu populasi yang random yang disebut dengan *particle*. Berbeda dengan teknik komputasi evolusioner lainnya, setiap partikel didalam PSO juga berhubungan dengan *velocity*. Partikel-partikel tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan *velocity* yang dinamis disesuaikan menurut perilaku historisnya. Oleh karena itu, partikel-partikel mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke area penelusuran yang lebih baik setelah melewati proses penelusuran.

Pada algoritma PSO standar, nilai *velocity* di-update untuk masing-masing *particle* kemudian menjumlahkan nilai tersebut. Update nilai *velocity* dipengaruhi oleh kedua solusi yaitu *global best* yang berhubungan dengan losses yang paling rendah yang pernah diperoleh dari suatu partikel dan solusi *local best* yang berhubungan dengan losses yang paling rendah pada populasi awal. Jika solusi *local best* mempunyai suatu losses yang kurang dari losses solusi *global best* yang ada, maka solusi *local best* menggantikan solusi *global best*. Pada PSO standar, kecepatan partikel diupdate terlalu cepat dan nilai minimum fungsi tujuan yang dicari sering terlewati. Sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap PSO standar, salah satunya dengan menambahkan suatu term inersia untuk mengurangi kecepatan pada formula update kecepatan. Biasanya nilai sedemikian rupa sehingga semakin besar iterasi yang dilalui, semakin mengecil

kecepatan partikel. Perbaikan itulah yang dinamakan dengan algoritma *improved particle swarm optimization*

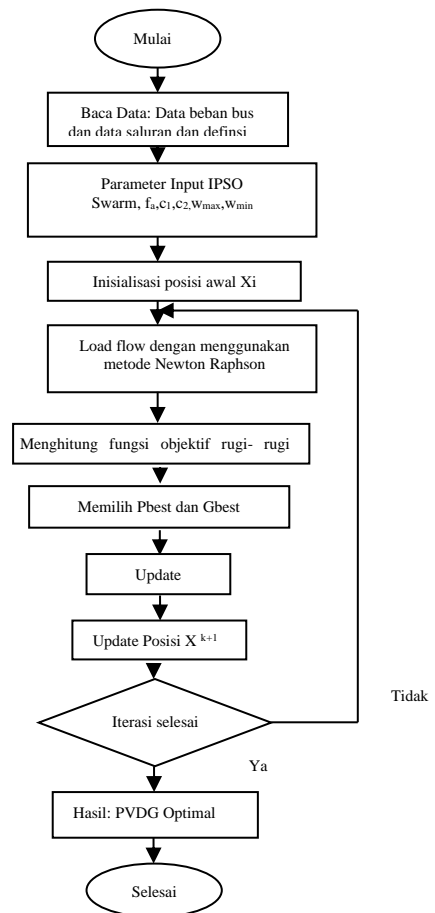
Pada gambar 3 menjelaskan diagram alir optimasi PVDG menggunakan algoritma *Improved Particle Swarm Optimization* dengan langkah penyelesaian berikut:

1. Menentukan ukuran swarm dan menentukan nilai awal posisi dan kecepatan partikel secara random.
2. Menghitung load flow dengan menggunakan metode Newton-Raphson untuk mencari rugi-rugi daya tiap bus.
3. Mengevaluasi nilai fungsi objektif untuk setiap partikel, fungsi objektif pada penelitian ini adalah menentukan nilai fitness tertinggi yaitu meminimisasi nilai rugi-rugi daya aktif (P).
4. Menentukan Pbest dan Gbest mula-mula.
5. Menghitung kecepatan pada iterasi berikutnya dengan persamaan

$$V_j(i) = \theta V_j(i-1) + c_1 r_1 [Pbest, j - X_j(i-1)] + c_2 r_2 [Gbest - X_j(i-1)] \quad (6)$$

i = iterasi
 j = 1,2,3,...,N
 r₁ dan r₂ adalah bilangan random.
6. Mementukan posisi partikel pada iterasi berikutnya dengan persamaan:

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \quad (7)$$
7. Mengecek apakah solusi sudah optimal atau belum. Kalau sudah optimal, maka proses algoritma berhenti, namun bila belum optimal maka kembali ke langkah 2.



Gambar 3. Diagram alir metode *Improved particle Swarm Optimization*

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

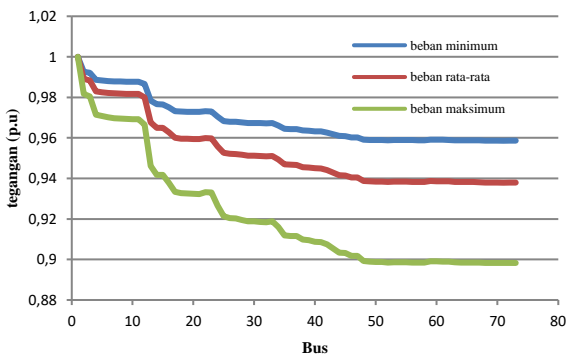
Simulasi optimisasi injeksi PVDG dilakukan secara diskret dan secara operasi sistem. Secara operasi sistem berarti pembangkit listrik beroperasi secara kontinu setelah dinyalakan sesuai dengan bertambahnya permintaan kebutuhan injeksi dan berdasarkan losses yang paling besar. Pada penelitian ini terdapat 3 skenario dan kasus dasar yang menunjukkan kondisi eksisting sistem tenaga listrik. pada saat kondisi eksisting. Hasil analisis aliran daya penyulang Dampit menjadi parameter untuk melakukan proses optimisasi penentuan lokasi dan ukuran kapasitas daya PVDG. Pada tabel I menunjukkan hasil rugi-rugi daya kondisi eksisting.

TABEL I
HASIL ALIRAN DAYA PADA KONDISI EKSTING

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Kondisi eksisting	Losses		% Losses	
	P (MW)	Q (MVAR)	P (%)	Q (%)
Beban Maksimum	0.259	0.420	5.51	13.26
Beban Rata-rata	0.095	0.154	3.33	8.25
Beban Minimum	0.043	0.069	2.23	5.55

Pada gambar 4 kondisi tegangan pada saat eksisting



Gambar 4. Tegangan sistem eksisting

Dari gambar 4 menunjukkan penurunan tegangan tertinggi terjadi pada saat kondisi beban maksimum yang mencapai penurunan 10% pada 20 bus dari 73 bus sistem. Dari kondisi tersebut maka optimisasi penempatan lokasi injeksi dan kapasitas daya PVDG menggunakan data kondisi beban maksimum.

Selanjutnya yaitu proses skenario dengan penambahan PVDG yang dioptimalkan oleh kedua metode masing-masing. Pada skenario-1 proses optimisasi dengan menambahkan 1 PVDG daya injeksi 30% nilai daya beban maksimum sebesar 1.2 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 1.2 MW. Pada skenario-2, proses optimisasi dengan menambahkan 2 PVDG daya injeksi 40 % nilai daya beban maksimum sebesar 1.6 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 1.6 MW. Pada skenario ketiga, proses optimisasi dengan menambahkan 4 PVDG dengan daya injeksi 50% nilai daya beban

maksimum sebesar 2 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 2 MW.

Setelah dilakukan 10 kali percobaan optimisasi PVDG menggunakan ACOCD dan IPSO maka diambil nilai terbaik, selanjutnya nilai-nilai terbaik antara kedua algoritma tersebut dibandingkan. Perbandingan terbaik antara kedua algoritma ditunjukkan pada tabel II

TABEL II
HASIL ALIRAN DAYA SEBELUM DAN SETELAH INJEKSI PVDG

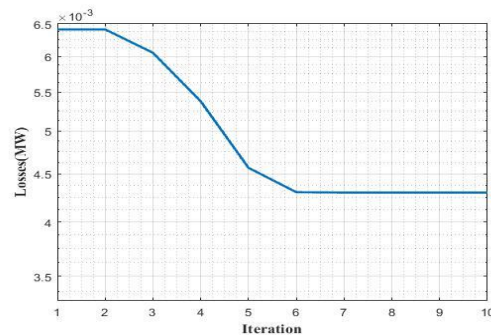
Metode	Sken.	Losses		% Losses	
		P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
Sistem Eksisting	-	0.259	0.420	5.08	13.27
	1	0.068	0.105	1.45	3.32
ACOCD	2	0.010	0.015	0.21	0.47
	3	0.004	0.006	0.09	0.19
IPSO	1	0.088	0.143	1.87	4.52
	2	0.015	0.023	0.095	0.73
	3	0.006	0.009	0.043	0.28

(Sumber: Hasil Perhitungan)

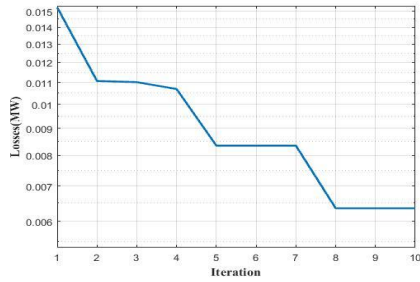
Tabel II menunjukkan rugi-rugi daya semakin berkurang. Rugi-rugi daya berkurang setelah injeksi daya PVDG, Pengurangan daya yang awalnya 5.08% namun, setelah injeksi daya PVDG rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 1.45% (skenario-1 ACOCD) dan 1.87% (skenario-1 IPSO), 0.21% (skenario-2 ACOCD) dan 0.32% (skenario-2 IPSO) dan 0.09% (skenario-3 ACOCD) dan 0.13% (skenario-3 IPSO). Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan jumlah DG dapat meminimalkan rugi-rugi daya. Perbandingan kedua metode dari tabel tersebut dapat kita simpulkan metode ACOCD lebih efektif dibandingkan dengan IPSO dikarenakan ACOCD menghasilkan nilai persentase rugi-rugi daya lebih kecil (lebih baik).

Dari hasil analisis pada skenario-3 menunjukkan fungsi PVDG pada sistem tenaga listrik yaitu dapat meminimalkan operasional pembangkitan yang sebanding dengan peningkatan nilai injeksi daya dan keberadaan PVDG dapat meminimalisir rugi-rugi daya aktif. Gambar 5 menunjukkan hasil optimisasi skenario-3 menggunakan ACOCD dan IPSO.

a)



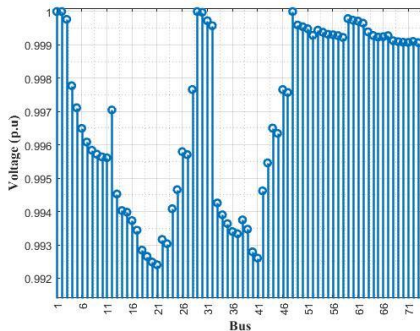
b)



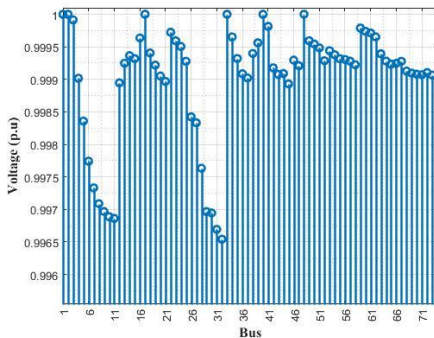
Gambar 5. Optimasi (a) ACOCD (b) IPSO skenario-3

Pada gambar Gambar 6 menampilkan hasil kondisi tegangan skenario-3 menggunakan ACOCD dan IPSO

a)

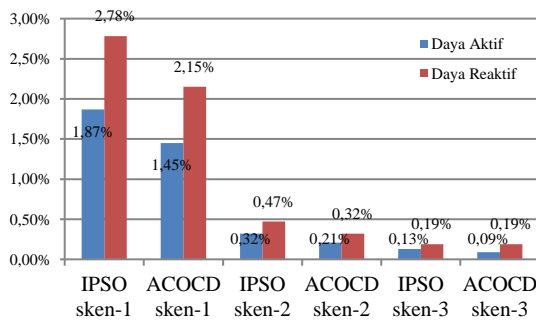


b)



Gambar 6. Kondisi tegangan (a) ACOCD (b) IPSO untuk skenario-3

Pada gambar Gambar 7 menampilkan grafik perbandingan rugi-rugi daya.



Gambar 7. Grafik perbandingan rugi-rugi daya.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat diambil kesimpulan pada penelitian ini yaitu;

1. Penempatan PVDG yang optimal berpengaruh terhadap berkurangnya rugi-rugi daya aktif dan meningkatkan profil tegangan sesuai dengan standar aturan jaringan sistem tenaga listrik 20 kV (+5% atau -10% dari tegangan nominal) pada penyulang Dampit 20kV.
2. Rugi-rugi daya berkurang setelah injeksi daya PVDG, Pengurangan daya yang awalnya 5.08% namun, setelah injeksi daya PVDG rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 1.45% (skenario-1 ACOCD) dan 1.87% (skenario-1 IPSO), 0.21% (skenario-2 ACOCD) dan 0.32% (skenario-2 IPSO) dan 0.09% (skenario-3 ACOCD) dan 0.13% (skenario-3 IPSO).
3. Metode ACOCD lebih efektif dan performa lebih baik daripada IPSO dikarenakan ACOCD menghasilkan nilai persentase rugi-rugi daya lebih kecil (lebih baik).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kholiq, Imam. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. Jurnal IPTEK Vol.19 No. 2.
- [2] Zainuddin, M. 2014. Optimasi Injeksi Photovoltaic Distributed Generations (PVDG) Menggunakan Metode Algoritma Genetika. Jurnal EECCIS Vol. 8, No. 2.
- [3] Kementerian ESDM R.I. *Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali*, Peraturan Menteri (Permen) No. 03. Jakarta 2017.
- [4] Photovoltaic Distributed Generation on Power Distribution Systems: Steady- State Analyses, IEEE PES, Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), ISSN. 2160-8555, pp.1-6 Orlando, FL.
- [5] Hia, F. 2015. Optimasi Kapasitas DG Pada Sistem Distribusi untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Ant Colony Optimization. Jurnal Transien Vol. 4, No. 2.
- [6] Katiraei, F. dan Aguero, J.R. 2011. Solar PV Integration Challenges, IEEE Power & energy magazine, ISSN : 1540-7977, vol. 9, Iss. 3, Page(s): 62-71.
- [7] Tamimi, B., Canizares, C., dan Bhattacharya, K.. 2011. Modeling and Performance Analysis of Large Solar Photovoltaic Generation on Voltage Stability and Inter-area Oscillations, IEEE PES General Meeting, ISSN. 1944-9925, , Page(s) 1-6. San Diego CA
- [8] Marsudi, Dj. 2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik, Graha Ilmu, Jakarta.
- [9] Naupari, D. Molina, Y. Coronel, A. Optimal Sizing of Photovoltaic Systems in Distribution Networks Using Particle Swarm Optimization. ISSN. 978-1-5386-5844-4/18/2018 IEEE.
- [10] Saadat, H. 1999. Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc. USA.
- [11] Stevenson, William D., Granger, John J., 1994. Power System Analysis, McGraw-Hill International Edition., NewYork