

Optimasi Injeksi *Photovoltaic Distributed Generations* (PVDG) Menggunakan Metode Algoritma Genetika

Muammar Zainuddin, Hadi Suyono, dan Harry Soekotjo Dachlan

Abstract— The best solution of the problem of electrical energy crisis in Indonesia, with the utilization of renewable energy sources that are environmentally friendly, economical, sustainable, and technically easily to implemented. The model system proposed in this paper is the *Photovoltaic Distributed Generation* (PVDG). This paper discuss modeling PVDG by searching injection placement and size us Genetic Algorithm. Optimization is done with the concept of the four scenarios increase the value of the injection. The scenario used was an increase in injection rate + 10%, + 20% + 30% and + 40% from the initial source of generation. The obtained results show the system ideal conditions is contained in the scenario-4. The results found that 8 locations with a variety of sizing power. PVDG scenario-4 modeling results show the ability of the system to minimize power loss from 13,15% to 1,30% and the highest voltage drop -25% to -8,5% of nominal voltage.

Index Terms—*Photovoltaic, Distributed Generations, PVDG, Genetic Algorithm.*

Abstrak— Kualitas daya listrik yang diterima oleh beban yang jauh dari pusat pembangkitan listrik semakin menurun dan rugi-rugi daya semakin meningkat. Solusi berkelanjutan dalam mempertahankan kualitas tegangan dan menambah pasokan daya pada jaringan yaitu dengan pemanfaatan pembangkit energi matahari. Model sistem yang diusulkan dalam pengembangan energi matahari tersebut yaitu *Photovoltaic Distributed Generations* (PVDG). Penelitian ini membahas pemodelan PVDG dengan melakukan pencarian lokasi injeksi dan kapasitas daya menggunakan metode Algoritma Genetika. Optimasi dilakukan dengan konsep empat skenario peningkatan nilai injeksi dan penyebaran pembangkit. Skenario yang digunakan yaitu peningkatan nilai injeksi sebesar +10%, +20% +30% dan +40% dari sumber pembangkitan awal. Hasil yang diperoleh menunjukkan kondisi ideal sistem terdapat pada optimasi skenario-4. Hasilnya menemukan 8 lokasi dengan total kapasitas daya sebesar 3,32 MW. Hasil pemodelan PVDG skenario-4 menunjukkan kemampuan sistem dalam meminimalisir rugi-rugi daya dari 13,15% turun menjadi 1,30% dan penurunan tegangan tertinggi terjadi dari -25% menjadi -8,5% dari tegangan kirimnya.

Kata Kunci— Algoritma Genetika, *Photovoltaic Distributed Generations*, PVDG .

Muammar Zainuddin adalah Dosen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo; email zmuammar@yahoo.co.id.

Hadi Suyono (e-mail: hadis@ub.ac.id) dan Harry S. Dachlan (e-mail: harrysd@ub.ac.id) adalah Dosen Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang.

I. PENDAHULUAN

SUMBER energi listrik di Indonesia masih didominasi oleh mesin-mesin berbahan bakar solar yang tidak ramah lingkungan. Ketergantungan ini tidak didukung oleh ketersediaan cadangan energi yang dimiliki untuk beberapa tahun kedepan. Penyaluran daya listrik ke wilayah yang jauh dari pusat pembangkitan masih terkendala oleh berbagai masalah teknis, investasi, dan topografi. Kualitas daya listrik yang diterima oleh beban yang jauh dari pusat pembangkitan listrik semakin menurun. Solusi terbaik permasalahan krisis energi listrik di Indonesia yaitu dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, ekonomis, berkelanjutan, dan secara teknis mudah diimplementasikan. Potensi energi terbarukan di Indonesia, sektor sumber energi matahari (*Photovoltaic*) menjadi skala prioritas setelah sektor energi mikrohidro bio energi, dan *geothermal*[1].

Pengembangan sumber energi matahari dan beberapa sumber energi terbarukan di Indonesia saat ini hanya diaplikasikan pada kebutuhan lokal (*stand alone*). Pemanfaatan energi terbarukan di dunia saat ini dikembangkan pada sistem pembangkitan tersebar pada jaringan distribusi atau lebih dikenal dengan istilah *Distributed Generations* (DG). Sistem DG adalah pembangkitan tersebar yang terhubung langsung ke jaringan distribusi pada sisi pelanggan[2]. Penerapan *Photovoltaic* menggunakan sistem DG menjadi sebuah harapan besar Indonesia untuk memaksimalkan pasokan listrik, mengurangi penggunaan konsumsi solar, dan peningkatan kualitas daya listrik.

Dampak penerapan *Photovoltaic Distributed Generations* (PVDG) yaitu dapat menaikkan profil tegangan penyulang, mengantisipasi ketidakseimbangan beban penyulang, mengurangi fluktuasi aliran daya reaktif, menaikkan faktor daya, mengurangi rugi-rugi daya aktif dan reaktif, pemberian insentif terhadap penyedia energi PV lokal (*Open Market*), dan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik[3][4]. Klasifikasi kapasitas daya PVDG untuk menentukan titik sambung pada jaringan yaitu kapasitas daya skala kecil (5-10 kW) pada saluran satu fasa distribusi sekunder, skala menengah (100-500 kW) dan skala besar (500 kW–10 MW) pada saluran tiga fasa distribusi primer[5]. Menurut penelitian terdahulu bahwa ketidakseimbangan daya pada saat injeksi pada

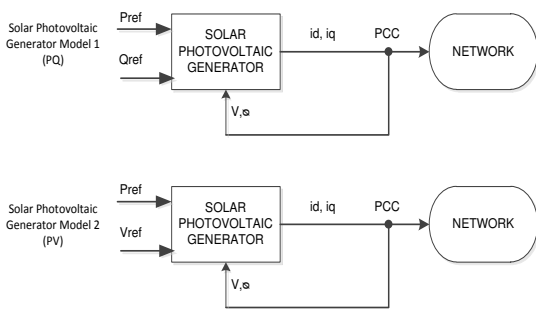
penyulang berdampak pada fluktuasi tegangan[6]. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi dalam menentukan lokasi dan kapasitas daya PVDG.

Penelitian ini membahas mengenai bagaimana menentukan secara optimal lokasi injeksi dan kapasitas daya PV pada suatu penyulang. Lokasi penyulang yang digunakan adalah Penyulang Tirtoyudo 20 kV Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur. Penyulang ini mendistribusikan daya listrik sepanjang 239.755 kMS dari satu trafo Gardu Induk Turen Malang. Metode yang diusulkan yaitu studi optimasi menggunakan metode Algoritma Genetika (AG). Penelitian terdahulu mengenai studi optimasi lokasi dan kapasitas daya DG menggunakan metode AG hasilnya membahas dampak DG secara umum tanpa karakteristik jenis pembangkit DG[7].

Tujuan penelitian ini yaitu menentukan lokasi injeksi dan kapasitas daya *Photovoltaic Distributed Generations* yang optimal agar kondisi tegangan yang dihasilkan sesuai standar aturan jaringan sistem tenaga listrik 20 kV (+5% atau -10% dari tegangan nominal)[8]. 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

Listrik yang dihasilkan dari sistem Photovoltaic yaitu listrik DC. Listrik DC yang dihasilkan dikonversi ke bentuk AC melalui sebuah inverter. Gambar.1 ditunjukkan model kontrol PQ (daya reaktif) dan kontrol PV (tegangan) pada *Photovoltaic Grid Connected*.



Gambar 1. Konfigurasi Dasar Sistem *Photovoltaic Grid Connected* [9]

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}).

III. ANALISIS ALIRAN DAYA

Studi aliran daya dengan metode *Newton Raphson* untuk mendapatkan besar nilai penurunan tegangan dan rugi-rugi daya pada saluran. Dalam studi aliran daya, bus-bus dikelompokkan dalam tiga klasifikasi yaitu; 1.

Slack Bus atau *Swing Bus*, 2. Bus Generator (Bus PV), 3. Bus Beban (PQ). Setiap bus terdapat empat besaran yaitu P , Q , V dan δ (sudut fasa). Dalam studi aliran daya setiap bus memiliki dua besaran yang telah ditentukan kemudian dua besaran lainnya akan dihitung. Apabila harga V dan δ ditentukan maka langkah selanjutnya iterasi awal untuk mencari nilai PV dan PQ [10].

1) Persamaan daya aktif pada bus i , yaitu:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \dots\dots\dots (1)$$

2) Persamaan daya reaktif pada bus i , yaitu:

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \dots\dots\dots (2)$$

3) Apabila $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ belum mencapai nilai konvergensi pada iterasi awal maka dilanjutkan dengan membentuk elemen-elemen matriks *Jacobian*.

4) Hitung nilai baru dari sudut fasa $\delta^{(k+1)}$ dan tegangan $|V^{(k+1)}|$.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \dots\dots\dots (3)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \dots\dots\dots (4)$$

5) Apabila telah mendapatkan nilai baru sudut fasa dan tegangan maka kembali ke proses iterasi selanjutnya.

6) Proses iterasi akan berhenti jika nilai konvergen (ϵ) sudah terpenuhi:

Daya yang mengalir dari bus i ke bus j diperoleh dengan persamaan:

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \dots\dots\dots (5)$$

Sebaliknya, arus yang mengalir dari bus j ke bus i diperoleh dengan persamaan :

$$I_{ji} = (V_j - V_i) Y_{ij} + V_j \frac{Y_{ji}'}{2} \dots\dots\dots (6)$$

Sebaliknya juga, daya yang mengalir dari bus j ke bus i diperoleh dengan persamaan :

$$S_{ji} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \dots\dots\dots (7)$$

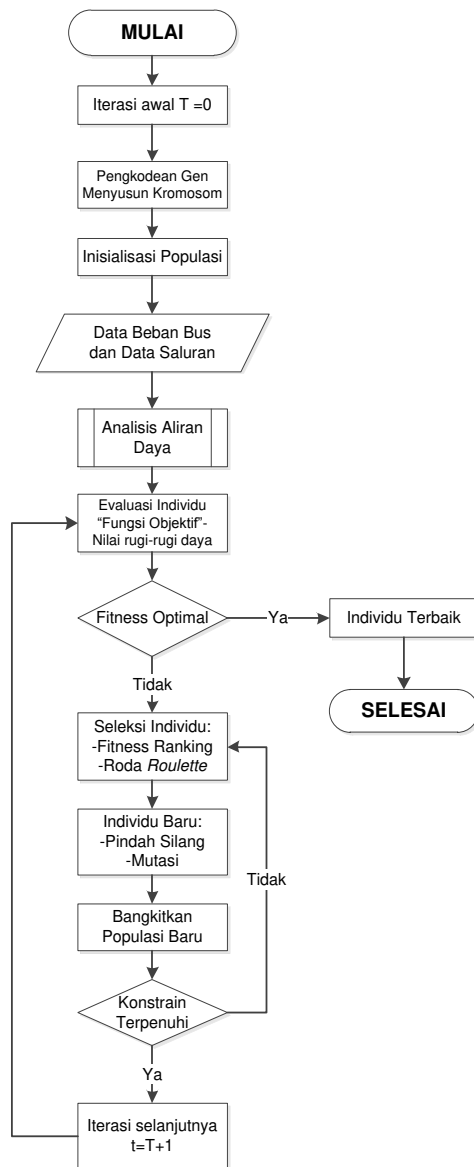
sehingga persamaan rugi-rugi daya pada saluran $i-j$ dituliskan:

$$SL_{ij} = S_{ij} + S_{ji} \dots\dots\dots (8)$$

IV. ALGORITMA GENETIKA

Prosedur penyelesaian optimasi metode Algoritma Genetika berdasarkan permasalahan pencarian lokasi injeksi dan ukuran kapasitas daya PVDG. Implementasi GA pada penelitian ini adalah menentukan bus yang akan dipasang pembangkit PV dan menentukan ukuran kapasitas daya PV. Sistem yang akan diuji adalah Penyulang Tirtoyudo sebanyak 191 gardu distribusi. Dalam mengimplementasikan GA pada permasalahan diatas maka, digunakan kromosom untuk mengidentifikasi letak dan ukuran kapasitas daya PV. Kromosom mewakili masing-masing injeksi daya kedalam jaringan. Gambar 2 ditampilkan tahapan

metodologi Algoritma Genetika. Gambar 2 ditunjukkan tahapan dalam algoritma genetika untuk permasalahan penentuan lokasi dan ukuran kapasitas daya PVDG.



Gambar 2.: Diagram Alir Program Algoritma Genetika

- 1) Pengkodean Kromosom; Pada penelitian ini satu kromosom terdiri dua variabel. Variabel-1 merupakan bit-1 pada satu string kromosom. Apabila bit tersebut bernilai 1 berarti memberikan informasi suatu keadaan sebuah bus dengan kehadiran DG didalamnya. Sedangkan jika bit-1 bernilai 0 maka menandakan keadaan bus tanpa kehadiran DG didalamnya. Kelompok gen berikutnya sampai gen akhir mewakili ukuran kapasitas daya DG. Banyaknya jumlah bit bernilai 1 pada string kromosom (bit-2 sampai bit-10) merepresentasikan tingkat kapasitas daya DG. Skema pengkodean biner diberikan oleh persamaan:

$$X_i = Rb + \frac{Ra - Rb}{2^L - 1} \sum_j^L G_{ij} 2^{j-1} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana;
Ra = Batas atas variabel;

Rb = Batas bawah variabel;
L = Panjang/Jumlah bit pengkodean;
G_{ij} = Nilai bit (0 atau 1) dari sebuah Gen *j* pada kromosom *i*;
2^{j-1} = Koefisien decoding dari urutan Gen *j*;
X_i = Nilai riil suatu variabel.

- 2) Fungsi fitness; pada penelitian ini adalah menentukan nilai fitness tertinggi yaitu meminimisasi nilai rugi-rugi daya aktif (*P*). Fungsi objektif rugi-rugi daya aktif.

$$f(x) = \min \left[P_{GEN} + \sum_{i=1}^{Nb} P_{PVDGi} \right] - \sum_{i=1}^{Nb} P_{LOADi} \dots\dots\dots (10)$$

P_{GEN} diatas dihitung terhadap analisis aliran daya dan Total *P_{PVDG} = P_{GEN} x N%*. Nilai Fitness terbaik adalah rugi-rugi daya terkecil.

- 3) Ranking Fitness; Mekanisme ranking yaitu dengan penskalaan nilai-nilai fitness, sehingga fitness berada pada interval (*f_{max} - f_{min}*) [11].

$$f_{(i)} = \frac{1}{N} \left(f_{max} - (f_{max} - f_{min}) X \frac{R(i) - 1}{N - 1} \right) \dots\dots (11)$$

f_(i) = Nilai fitness pada individu (*i*);
f_{max} = Nilai fitness pada batas maksimum;
f_{min} = Nilai fitness pada batas minimum;
N = Ukuran Populasi

- 4) *Roda Roulette*; pada penelitian ini yaitu dengan membuat interval nilai kumulatif (dalam interval [0,1]) dari nilai fitness masing-masing kromosom dibagi total nilai fitness dari semua kromosom.

$$P_{index} = \sum_{i=1}^N \frac{f_{(i)}}{f_{Populasi}} \dots\dots\dots (12)$$

- 5) *Crossover* (Pindah Silang); Strategi pindah silang untuk penelitian ini digunakan pindah silang satu titik potong (*one point crossover*). Suatu titik potong dipilih secara random, kemudian bagian pertama dari orang tua-1 digabungkan dengan bagian kedua dari orang tua-2. kromosom dalam sebuah populasi. Titik Potong = *Pc* x Jumlah Gen; (*Pc* = Probabilitas *Crossover*).

$$(12)$$

- 6) Mutasi; Strategi operasi mutasi dilakukan dengan merubah gen yang bersesuaian diganti dengan nilai kebalikannya (nilai 0 diubah menjadi 1, dan 1 diubah menjadi 0).

Pada penelitian ini dilakukan empat skenario batasan optimasi peningkatan nilai injeksi (*N%*) yaitu skenario peningkatan injeksi daya sebesar +10%, +20%, +30%, dan +40% dari daya pembangkitan awal sistem pada saat sebelum injeksi. Parameter yang digunakan untuk proses optimasi yaitu data saluran, data beban kondisi beban puncak 100%; Jumlah Gen = 10; Ukuran Populasi = 194; Kromosom = Ukuran populasi x Jumlah Gen; Jumlah Populasi = 200; Probabilitas *Crossover* = 0.80; Probabilitas Mutasi = 0.05; Iterasi maksimum = 100. Konstrain diberikan pada batas bawah pembangkitan daya oleh PVDG untuk setiap bus yaitu 0 MW dan batas atas pembangkitan daya oleh PVDG

sebesar 0.5 MW.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3(a), 3(b), 3(c), dan 3(d) menunjukkan grafik hasil optimasi Algoritma Genetika pada 4 skenario peningkatan nilai injeksi. Ukuran daya aktif setiap bus yang direkomendasikan ditunjukkan pada tabel I.

TABEL I
HASIL OPTIMASI 4 SKENARIO

Skenario-1		Skenario-2		Skenario-3		Skenario-4	
Bus	MW	Bus	MW	Bus	MW	Bus	MW
109	0.408	11	0.326	11	0.415	38	0.42
193	0.407	108	0.298	38	0.423	96	0.41
		109	0.329	109	0.431	103	0.43
		127	0.316	127	0.416	112	0.39
		193	0.317	134	0.43	125	0.43
				193	0.441	127	0.43
						134	0.42
						193	0.39

(Sumber: Hasil Optimasi)

Dari program Algoritma Genetika menghasilkan nilai iterasi yang berbeda pada 4 skenario injeksi diatas. Pada skenario-1 menghasilkan 2 lokasi PVDG dengan total ukuran daya sebesar 0,815 MW. Pada skenario-2 menghasilkan 5 lokasi PVDG dengan total ukuran daya sebesar 1,586 MW. Pada skenario-3 menghasilkan 6 lokasi PVDG dengan total ukuran daya sebesar 2,556 MW. Pada skenario-4 menghasilkan 8 lokasi PVDG dengan total ukuran daya sebesar 3,32 MW.

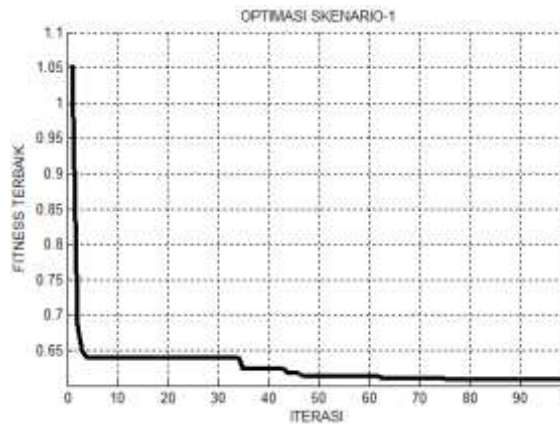
Penyulang memiliki beban maksimum yaitu P = 6,948 MW dan Q = 3,949 MVar. Dari hasil analisis aliran daya dalam kondisi beban maksimum 100% tanpa injeksi daya oleh PVDG menunjukkan total pembangkitan awal P = 8,001 MW dan Q = 6,079 MVar. Total rugi-rugi daya sistem sebesar P = 1,053 MW (13,15%) dan Q = 2,13 MVar (35%). Setelah injeksi PVDG skenario-4 dengan total nilai injeksi daya sebesar 3,32 MW yang tersebar di delapan lokasi menghasilkan rugi-rugi daya terendah sebesar P = 0,18 MW (1,3%) dan Q = 0,47 MVar (10,5%). Kondisi rugi-rugi daya pada skenario-4 merupakan kondisi ideal pada sistem tenaga listrik. Hasil analisis aliran daya pada penyulang Tirtoyudo Kabupaten Malang ditunjukkan pada tabel II.

TABLE II
HASIL ALIRAN DAYA SEBELUM DAN SETELAH INJEKSI PVDG

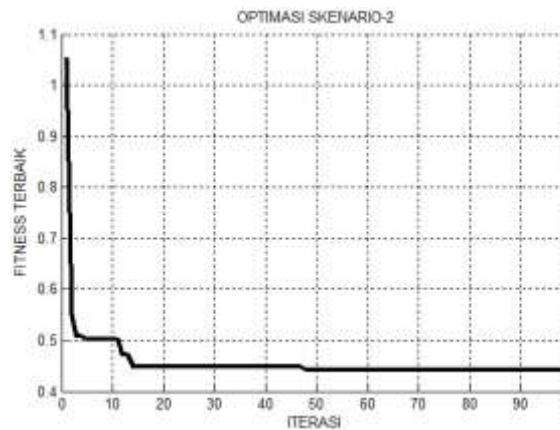
Sistem	Rugi-rugi daya		% Rugi-rugi daya	
	P [MW]	Q [MW]	P %	Q %
Sebelum Injeksi	1.053	2.13	13.15%	35%
Skenario-1	0.58	2.0	7.7%	29.1%
Skenario-2	0.42	1.53	5.7%	28.7%
Skenario-3	0.27	0.96	3.8%	19.5%
Skenario-4	0.1	0.47	1.3%	10.5%

(Sumber: Hasil Perhitungan)

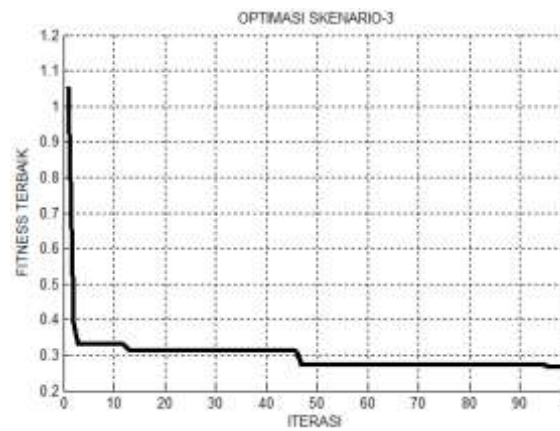
Dari hasil analisis pada skenario-4 menunjukkan fungsi PVDG pada sistem tenaga listrik yaitu dapat meminimalkan operasional pembangkitan konvensional sebanding dengan peningkatan nilai injeksi daya dan keberadaan PVDG dapat meminimalisir rugi-rugi daya aktif dibawah 3%.



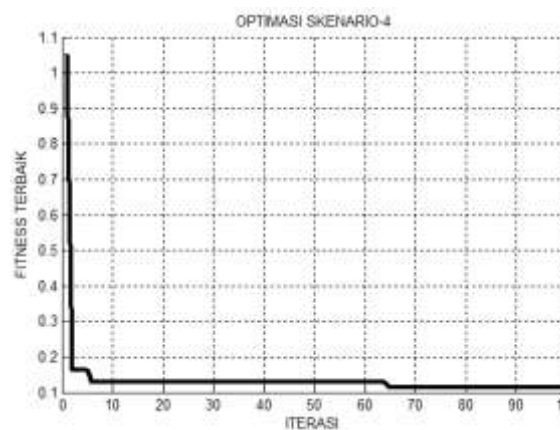
(a) Skenario-1 (+10%)



(b) Skenario-2 (+20%)

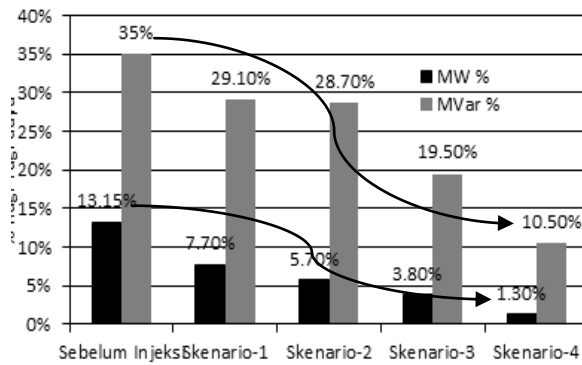


(c) Skenario-3 (+30%)



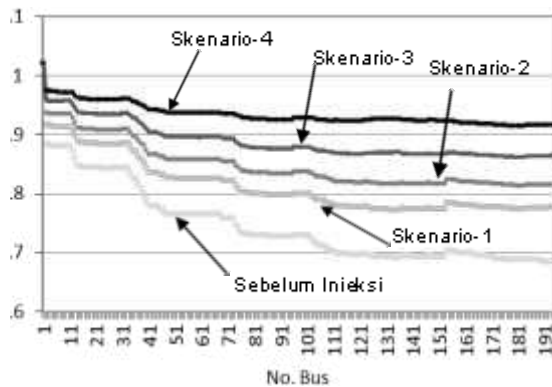
(d) Skenario-4 (+40%)

Gambar 3. Hasil running program optimasi GA



Gambar 4. Grafik perbandingan rugi-rugi daya aktif-reaktif

Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan rugi-rugi daya. Dari hasil analisis aliran daya menunjukkan kondisi tegangan pada masing-masing bus sebelum injeksi PVDG dan setelah injeksi PVDG ditunjukkan pada Gambar 5. Perbandingan kondisi tegangan ini diperoleh dari hasil analisis aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*.



Gambar 5. Grafik perbandingan tegangan bus pada masing-masing skenario

Dari gambar 5 diatas menunjukkan kondisi tegangan sebelum Injeksi berada diluar standar aturan jaringan[8] yaitu penurunan mencapai -25% dari tegangan kirimnya. Pada saat injeksi daya oleh PVDG dengan model skenario-4, tegangan sistem mengalami kenaikan pada semua bus, namun kenaikan tegangan tidak melewati batas standar jaringan yaitu 1,05 p.u. Penurunan tegangan tertinggi sebesar -8,5% dari tegangan kirimnya. Dari kondisi ini terlihat bahwa tegangan sistem dapat dipertahankan dalam batasan normal untuk sistem 20 kV yaitu +5% dan -10% atau 1,05 p.u–0,90 p.u.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat diambil kesimpulan pada penelitian ini yaitu;

1. Dari hasil analisis sebelum injeksi PVDG diterapkan, menunjukkan kondisi tegangan Penyulang Tirtoyudo berada pada kondisi

dibawah standar operasi jaringan dibawah 10% yaitu turun -25% dari tegangan kirimnya (20 kV). Rugi-rugi daya aktif sebesar 13,15% terjadi pada saat kondisi beban maksimum (sebelum injeksi PVDG).

2. Hasil optimasi menggunakan metode algoritma genetika untuk penentuan lokasi injeksi dan ukuran daya PVDG, menunjukkan dampak injeksi daya oleh PVDG terhadap sistem yaitu penurunan tegangan maksimum yang terjadi sebesar -8,5%. Kondisi ini berada pada batas standar aturan jaringan Jawa-Madura-Bali pada Permen ESDM No.03/2007. Rugi-rugi daya pada sistem dapat diminimalisir hingga mencapai 1,30%.
3. Hasil analisis menunjukkan kelebihan dari penerapan PVDG pada sistem tenaga listrik yaitu dapat meminimalkan operasional pembangkitan konvensional pada pusat pembangkit, meminimalisir rugi-rugi daya sistem, dan menaikkan profil tegangan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden R.I. *Kebijakan Energi Nasional*, Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006. Jakarta
- [2] Ackermann, T.; Andersson, G.; dan Soder, L.. Distributed generation: a definition, Elsevier, Electric Power Systems Research, no. 57, Page(s) .195-204. 2001
- [3] Katiraei, F. dan Agüero, J.R. Solar PV Integration Challenges, *IEEE Power & energy magazine*, ISSN : 1540-7977, vol. 9, Iss. 3, Page(s): 62-71. 2011
- [4] Agüero, J.R., dan Steffel, S.J.. Integration Challenges of Photovoltaic Distributed Generation on Power Distribution Systems, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, ISSN: 1944-9925, pp. 1-6.. San Diego, CA. 2011
- [5] Chongfuangprinya, P., Spare, J., Agüero, J.R., Enslin, J.H.R., dan Al-Atrash, H. Integration of Micro-Scale 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., 2012.
- [6] Teleke, S., Jahanbakhsh, F., Katiraei, F., dan Agüero, J.R. Analysis of interconnection of photovoltaic distributed generation. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, ISSN. 0197-2618, pp. 1-6 Orlando, FL., 2011.
- [7] Talaat, H.E.A. dan Al-Ammar, E. Optimal allocation and sizing of Distributed Generation in distribution networks using Genetic Algorithms, *IEEE (EPQU 11th International Conference on) Electrical Power Quality and Utilisation*, ISSN. 2150-6647. pp.1-6., Lisbon 2011.
- [8] Kementerian ESDM R.I. *Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali*, Peraturan Menteri (Permen) No. 03. Jakarta 2007.
- [9] Tamimi, B., Canizares, C., dan Bhattacharya, K.. Modeling and Performance Analysis of Large Solar Photo-Voltaic Generation on Voltage Stability and Inter-area Oscillations, *IEEE PES General Meeting*, ISSN. 1944-9925, , Page(s) 1-6. San Diego CA 2011.
- [10] Saadat, H.. *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc. USA. 1999.
- [11] Suyanto., *Algoritma Genetika dalam Matlab*, Andi, Yogyakarta. 2005.