

# Implementasi Integrasi Optimal DG untuk Meningkatkan Performansi Sistem Praktis dengan Teknik Optimasi Multi-Objektif

I Made Wartana<sup>1,\*</sup>, Teguh Herbasuki<sup>1</sup>, Ni Putu Agustini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITN-Malang

\* E-mail : [m.wartana@fti.itn.ac.id](mailto:m.wartana@fti.itn.ac.id)

**Abstrak.** Penelitian ini, mengembangkan salah satu teknik optimasi canggih yaitu *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II* yang lebih dikenal dengan NSGA-II, untuk menentukan lokasi dan kapasitas energi baru terbarukan (EBT) yang dinyatakan dengan *Distributed Generation* (DG) dan diintegrasikan secara optimal ke dalam *grid* untuk meningkatkan performansi sistem praktis. Teknik ini digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimasi dengan fungsi multi-objektif yang direpresentasikan dalam indeks kinerja sistem yaitu: memaksimalkan pembebanan sistem (PS) dalam batas margin keamanan dan stabilitas sistem yang diijinkan meliputi: batas tegangan sistem dan batas thermal saluran transmisi sistem serta secara simultan meminimalisasi rugi daya nyata ( $P_{loss}$ ) saluran transmisi. Untuk menguji efektivitas metode yang dikembangkan tersebut, maka dalam penelitian ini telah diimplementasikan pengujian pada sistem uji praktis (*real system*) yaitu pada Saluran Udara Ekstra Tinggi (SUTET) Jawa-Bali 500 kV, PT PLN (Persero), 24-bus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja statis dan dinamis dari sistem daya dapat secara efektif ditingkatkan dengan integrasi optimal dan kapasitas DG.

**Kata Kunci:** Indeks Stabilitas Tegangan, Faktor Stabilitas Saluran, DG, NSGA-II, Stabilitas Dan Kemanan Sistem

## 1. Pendahuluan

Perkembangan mutakhir teknologi pembangkit energi baru terbarukan (EBT) skala kecil yang mempunyai banyak jenis seperti : turbin angin, sel surya, sel bahan bakar, energi baterai, sistem penyimpanan, sistem kogenerasi, bahan bakar sel, biomassa, turbin mikro, pembangkit listrik tenaga air kecil dan sebagainya telah menarik perhatian perusahaan listrik. Hal ini dimungkinkan dengan melakukan perubahan dalam infrastruktur sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik serta kebijakan dengan mengintegrasikan pembangkit listrik tersebar yang sering dikenal dengan istilah *Distributed Generation* (DG) ke dalam sistem sistem tenaga listrik [1]. DG didefinisikan sebagai unit pembangkit skala kecil dengan kapasitas maksimum dari 50 MW sampai 100 MW yang biasanya terhubung ke jaringan distribusi [2]. Unit DG tidak direncanakan penempatannya secara terpusat atau dikirim, selain keuntungannya, DG memiliki dampak yang besar pada aliran daya, perbaikan profil tegangan dan peningkatan stabilitas sistem tenaga yang kesemuanya ini akan meningkatkan performansi sistem tenaga listrik.

Banyak negara di berbagai belahan dunia menyatakan bahwa pengembangan dan aplikasi dari berbagai jenis DG sebagai pembangkit listrik mengalami perkembangan yang paling cepat. Beberapa manfaat teknis utama dari integrasi unit DG ke dalam grid adalah meningkatkan profil tegangan dengan mengurangi rugi daya nyata ( $P_{loss}$ ) [3], meningkatkan keamanan dan keandalan sistem untuk perbaikan kualitas daya, meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan [4], meningkatkan kapasitas transmisi serta kongesti distribusi. Disamping itu, dengan terpasangnya unit DG di dekat pusat beban, tentu pemanfaatan sumber energi skala kecil yang tersedia tersebut dapat meningkatkan akses energi secara efisien dan efektif. Selain itu, dapat membantu untuk keamanan sistem dan mengembalikan operasi jaringan selama keadaan darurat dan/atau setelah pemadaman. Dalam berbagai pustaka [5],[6],[7],[8] telah dikembangkan metodologi dengan bermacam tujuan dengan menganalisis pengaruh penempatan optimal DG pada system tenaga listrik. Namun sebagian besar diantaranya menggunakan pendekatan optimasi dengan tujuan-tunggal seperti hanya untuk menurunkan  $P_{loss}$  saluran transmisi atau meningkatkan kapasitas transfer daya dengan

mempertimbangkan stabilitas terutama stabilitas tegangan. Pendekatan dengan optimasi tujuan-tunggal kurang praktis untuk aplikasi dilapangan karena pada kenyataannya sering dihadapkan untuk menyelesaikan persoalan optimasi yang melibatkan multi-tujuan secara simultan.

Fokus utama dari integrasi optimal DG dalam penelitian ini adalah implementasi penempatan optimal DG pada grid yang merupakan sistem uji praktis untuk meningkatkan pembebanan sistem (PS) sekaligus mereduksi  $P_{loss}$  dari saluran transmisi akibat meningkatnya PS dengan mempertimbangkan keamanan dan stabilitas sebagai kendala-kendala sistem. Integrasi unit DG di dekat pusat beban, dapat memanfaatkan sumber energi kecil yang tersedia tersebut dengan efisien dan efektif dan sekaligus juga dapat meningkatkan akses energi serta stabilitas saluran transmisi. Selain itu, hal ini juga membantu untuk keamanan dan pemulihan operasi jaringan selama keadaan darurat dan/atau setelah terjadinya pemadaman listrik.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Pemodelan DG

Dalam penelitian ini, salah satu dari jenis DG yaitu Turbin Angin dengan sistem kecepatan variabel atau lebih dikenal dengan DFIG (*doubly fed induction generator*) digunakan sebagai konversi energi [8]. Selanjutnya, dukungan daya reaktif juga diperoleh dengan antarmuka elektronika daya yang digunakan mengkoneksikan jaringan tenaga listrik (*grid*) dengan unit DG [9] melalui transformator penaik tegangan.

### 2.2. Formulasi Penyelesaian Masalah

#### a. Masimalisasi Pembebanan Sistem (Maks. PS)

Maksimalisasi PS dilakukan dengan menggunakan rumus (1) dan (2) berikut [10].

$$\text{Maximize } f_1(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \{\lambda\} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } TS = \sum_{i=1}^{N_l} SBL_i \times \sum_{j=1}^{N_b} PTB_j \quad (2)$$

dengan  $TS$  adalah batas faktor thermal dan pelanggaran tegangan.  $SBL_i$  dan  $PTB_j$  masing-masing menyatakan faktor PS saluran dan faktor pelanggaran tegangan bus.  $N_l$  dan  $N_b$  masing-masing adalah jumlah total saluran dan bus. Sedangkan  $\lambda$  adalah parameter beban dari sistem, yang dimaksudkan untuk mendapatkan jumlah maksimum daya yang mampu dipasok ke jaringan dengan tetap memenuhi batas-batas keamanan sistem.

#### b. Minimalisasi Rugi Daya Nyata (Min. $P_{loss}$ )

Minimalisasi  $P_{loss}$  pada saluran transmisi dapat dinyatakan dengan rumus (3) berikut [11].

$$f_2(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{k=1}^{N_l} g_k [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (3)$$

dengan  $N_l$  adalah jumlah saluran transmisi;  $g_k$  adalah konduktor  $k^{th}$  saluran;  $V_i \angle \delta_i$  dan  $V_j \angle \delta_j$  masing-masing adalah tegangan pada ujung bus- $i$  dan  $j$  dari saluran  $k^{th}$ .

#### c. Fungsi Kendala

– *Kendala ketidaksamaan.*

Kendala ketidaksamaan  $h(\mathbf{x}, \mathbf{u})$  adalah batas-batas variabel keadaan dan variabel kendali. Daya aktif pembangkit  $P_G$ , daya reaktif  $Q_G$ , tegangan  $V_i$ , dan sudut fasa  $\delta_i$  dinyatakan dengan batas-batasnya sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} P_{G_i}^{\min} &\leq P_{G_i} \leq P_{G_i}^{\max} & i = 1, \dots, m \\ Q_{G_i}^{\min} &\leq Q_{G_i} \leq Q_{G_i}^{\max} & i = 1, \dots, m \\ V_i^{\min} &\leq V_i \leq V_i^{\max} & i = 1, \dots, N_b \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Kendala pembebanan transmisi  $P_{ij}$  dinyatakan dengan persamaan:

$$|P_{ij}| \leq P_{ij}^{\max}; \quad ij = 1, \dots, N \quad (5)$$

Faktor pembebanan  $\lambda_f$  dibatasi dengan:

$$1 \leq \lambda \leq \lambda^{\max} \quad (6)$$

– *Kendala Stabilitas Sistem Daya*  
*Fast voltage stability index (FVSI)*

FVSI yang dikembangkan oleh Musirin [12] digunakan dalam penelitian ini untuk menjamin keamanan pembebanan pada bus sistem. FVSI adalah metode yang digunakan untuk menyatakan kondisi stabilitas tegangan berdasarkan pada saluran atau bus yang dinyatakan dengan:

$$FVSI_{ij} = \frac{4Z^2 Q_j}{V_i^2 X} \quad (7)$$

dengan,  $Z$  adalah impedansi saluran.  $X$  adalah reaktansi saluran.  $Q_j$  daya reaktif pada sisi terima. and  $V_i$  adalah tegangan pada sisi kirim.

Indeks FVSI yang digabungkan dalam DG menjamin bahwa tiak ada bus yang akan jatuh akibat pembebanan lebih.

*Line stability factor (LQP).*

Indeks stabilitas sistem juga dijamin dengan LQP yang dikembangkan oleh A Mohamed [13] yang dinyatakan sebagai berikut:

$$LQP = 4 \left( \frac{X}{V_i^2} \right) \left( \frac{X}{V_i^2} P_i^2 + Q_j \right) \quad (8)$$

dengan,  $X$  adalah reaktansi,  $V_i$  adalah tegangan sisi kirim,  $P_i$  daya nyata pada sisi kirim and  $Q_j$  adalah daya reaktif pada sisi terima. Nilai LQP tersebut harus dijaga kurang dari 1.00 untuk mempertahankan sistem dalam kondisi stabil. Sistem kendali LQP menjamin bahwa tidak akan terjadi pembebanan lebih pada saluran dalam berbagai kondisi jaringan.

2.3. *Implementasi teknik NSGA-II untuk integrasi optimal DG*

Sebagaimana diuraikan sebelumnya bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan lokasi dan kapasitas optimal DG dalam grid untuk meningkatkan PS sekaligus meminimalkan  $P_{loss}$  saluran transmisi dengan mempertahankan margin keamanan dan stabilitas sistem. Dengan demikian persoalan optimasi multi-objektif ini dapat dipecahkan secara simultan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Minimize } f(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = [f_1(\mathbf{x}, \mathbf{u}), f_2(\mathbf{x}, \mathbf{u})] \quad (9)$$

$$\text{s.t. } \begin{cases} g(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = 0 & j = 1, \dots, M \\ h(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \leq 0 & k = 1, \dots, K \end{cases} \quad (10)$$

Dengan  $f_1$  dan  $f_2$  dinyatakan dengan vektor tujuan  $f$  sementara  $\mathbf{x}$  dan  $\mathbf{u}$  masing-masing merupakan variabel *dependen* dan variabel kendali. Dalam penelitian ini, integrasi optimal dan kapasitas DG akan dilakukan dalam beberapa studi kasus yaitu:

- a) Kasus-1 (*base case*): tanpa integrasi DG.
- b) Kasus-2: dengan integrasi optimal DG ke dalam grid.

Dalam penelitian ini teknik optimasi multi-objektif yang dikenal dengan nama NSGA-II (*Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II*) dan dikembangkan oleh Deb dan kawan-kawan [14] diterapkan untuk memecahkan tujuan dari persoalan integrasi optimal yang diusulkan tersebut.

Teknik NSGA-II untuk penyelesaian persoalan optimasi tersebut akan diuji pada sistem uji paktis SUTET Jawa-Bali 500 kV. Beban sistem dinyatakan sebagai daya konstan atau beban PQ dengan faktor daya tetap yang kenaikan beban pada setiap bus beban dilakukan berdasarkan persamaan (1) dan (2).

Lokasi dan kapasitas DG dipertimbangkan sebagai variabel keputusan, sementara jumlah dan tipe DG ditetapkan dalam simulasi hanya satu dengan semua kendala-kendalanya dipilih sejak awal. Untuk penempatan unit DG, semua bus-beban sistem dinominasikan sebagai lokasi optimal dari membangkit tersebut dan dinyatakan sebagai variabel diskrit. Parameter NSGA-II untuk simulasi semua kasus optimasi dinyatakan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter NSGA-II

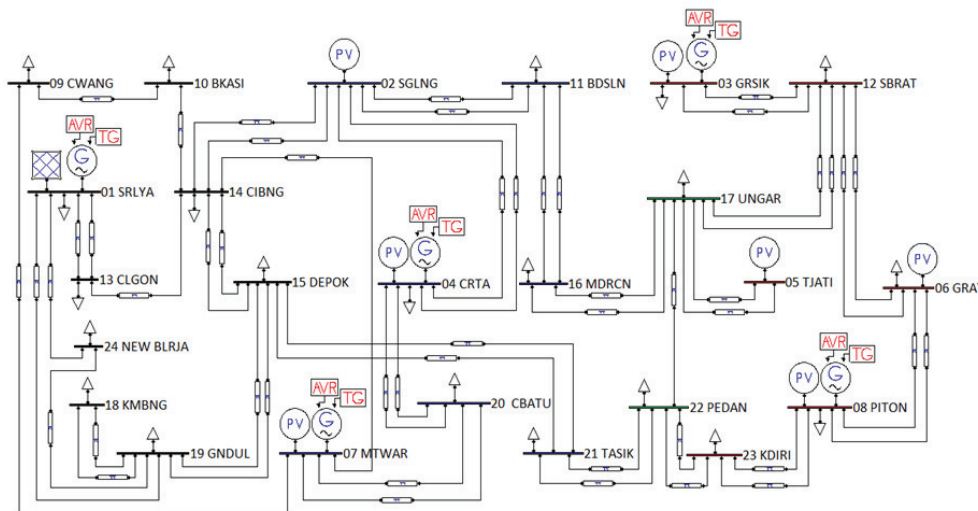
Populasi	Iterasi	Ukuran <i>Pool</i>	Ukuran <i>Tour</i>	$\eta_c$
100	50	25	2	20

Untuk mengevaluasi karakteristik keragaman solusi yang diperoleh dari simulasi, titik solusi kompromi terbaik dari Pareto nya akan dibandingkan dengan solusi optimal dari tujuan-tujuan optimasi yang terkait yaitu dengan PS terbaik (Maks.  $PS$ ) dan  $P_{loss}$  terbaik (Min.  $P_{loss}$ ) untuk setiap tujuan optimasi tersebut.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Data dan Metode Simulasi

Algoritma NSGA II yang diusulkan dalam penyelesaian masalah optimasi dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada modifikasi sistem uji praktis SUTET Jawa-Bali 500-kV, 24-bus PT (Persero) PLN [14]. Sistem uji ini terdiri dari 8 unit generator dan 49 saluran dengan daya aktif dan reaktif total masing-masing adalah 10570.87 MW dan 4549.23 MVAR. Diagram segaris dari sistem uji ini sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram garis tunggal sistem paraktis SUTET Jawa-Bali 500-kV, 24-bus

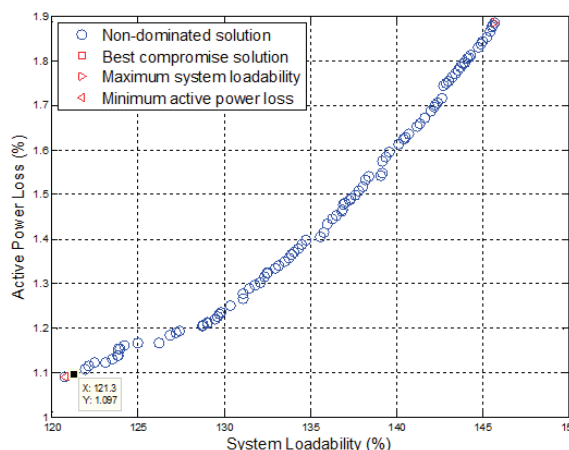
Jenis DG yang terintegrasi dalam simulasi ini adalah turbin angin kecepatan variabel dengan DFIG yang dapat menginjeksikan baik daya aktif maupun daya reaktif ke dalam *grid*. Beban dalam hal ini direpresentasikan sebagai beban PQ konstan dengan faktor daya konstan, dan meningkat sesuai dengan (1) dan (2). DG harus dipasang pada sisi tegangan rendah, yang mengandung bus. Jumlah DG ditentukan oleh pengguna, dalam hal ini adalah satu dan hanya DG tipe 3 yang dipertimbangkan. Hasil simulasi yang dilakukan untuk penyelesaian persoalan multi-tujuan menggunakan teknik optimasi NSGA-II untuk setiap kasus diuraikan sebagai berikut:

#### 3.2 Kasus-1, base case: tanpa integrasi DG

Pada kasus *base case*, pembebanan sistem ( $PS$ ) dimaksimalkan menggunakan teknik optimasi NSGA-II tanpa integrasi DG ke dalam *grid* sehingga menghasilkan multi-objektif yaitu  $f_1$  dan  $f_2$ . Untuk  $PS$  terbaik diperoleh kenaikan  $PS$  mencapai 145,71 % sementara untuk  $P_{loss}$  terbaik diperoleh nilainya sebesar 1.0902 p.u. sebagaimana ditunjukkan Tabel. 2. Disamping itu, pada tabel yang sama, teknik optimasi NSGA-II juga dapat memberikan solusi kompromi ( $Sk$ ) terbaik yaitu  $PS$  ( $f_1$ ) dan  $P_{loss}$  ( $f_2$ ) masing-masing sebesar 121,31 % dan 1,0967 p.u. dan *Pareto front* untuk solusi kompromi terbaik ini disajikan pada Gambar 2.

Tabel 2. Optimasi dua-objektif dengan NSGA-II untuk Kasus-1 pada sistem SUTET Jawa-Bali 500 kV, 24-bus

	Lokasi	Ukuran		$PS$ ( $f_1$ )	$P_{loss}$ ( $f_2$ )
	(bus)	MW	MVAR	(%)	(pu)
PS terbaik	-	-	-	145.71	1.8853
$P_{loss}$ terbaik	-	-	-	120.75	1.0902
Sk terbaik	-	-	-	121.31	1.0967



Gambar 2. Pareto front kasus-1, optimasi dua-objektif NSGA-II, sistem SUTET Jawa-Bali 500 kV, 24-bus

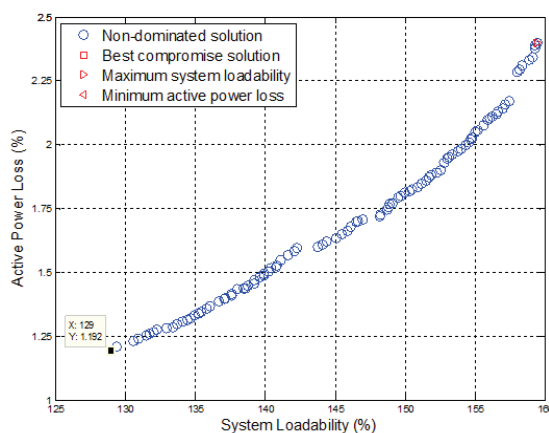
### 3.3 Kasus 2; dengan integrasi DG ke dalam grid.

Gambar 3 menunjukkan grafik himpunan hasil solusi terbaik yang diperoleh program teknik optimasi yang diusulkan (*Pareto front*) berdasarkan jumlah populasi yang ditetapkan dalam penyelesaian masalah optimasi Kasus-2, dengan optimasi multi-obyektif yaitu: memaksimalkan pembebanan sistem (PS) dan meminimalkan rugi daya nyata ( $P_{loss}$ ) pada sistem uji real SUTET Jawa-Bali 500 kV, 24-bus dengan integrasi optimal DG ke dalam sistem tersebut. Himpunan solusi pada perbatasan non-dominasi ini dapat digunakan oleh pengambil keputusan sebagai masukan untuk memilih solusi kompromi akhir dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang dinormalisasi. Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa solusi kompromi terbaik integrasi optimal DG dalam sistem dengan mempertimbangkan semua kendala stabilitas diperoleh lokasi terbaik DG adalah pada bus 13 dengan kapasitas daya 57,04 MW dan -19,54 MVAR.

Selain itu, pemasangan DG pada bus yang sama memberikan  $P_{loss}$  terbaik sebesar 0,1917 pu walaupun hanya dapat meningkatkan PS sebesar 129,00 % yang merupakan PS terendah dalam kasus-2. Dari tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa PS terbaik diperoleh dengan pemasangan DG pada bus 14 yaitu sebesar 159,45% tetapi dengan  $P_{loss}$  sebesar 4,0471 pu yang merupakan nilai tertinggi dalam hal ini.

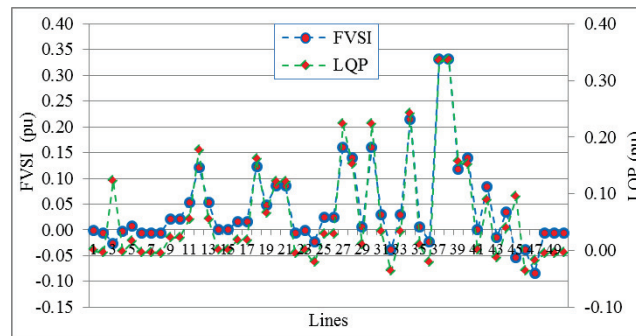
Tabel 3. Optimasi multi-objektif dengan NSGA-II untuk Kasus-2 sistem SUTET Jawa-Bali 500 kV, 24-bus

	Lokasi (bus)	Ukuran MW	MVAR	PS (F <sub>1</sub> ) (%)	$P_{loss}$ (F <sub>2</sub> ) (bus)
PS terbaik	14	142.54	-51.17	159.45	4.0471
$P_{loss}$ terbaik	13	57.04	-19.54	129.00	1.1917
Sk terbaik	13	57.04	-19.54	129.00	1.1917



Gambar 3. Pareto front kasus-2 optimasi dua-objektif NSGA-II sistem SUTET Jawa-Bali 500 kV, 24-bus





Gambar 4. *FVSI* dan *LQP* kasus-2, optimasi dua-objektif NSGA-II sistem SUTET Jawa-Bali 500 kV, 24-bus

Indeks stabilitas tegangan dan stabilitas saluran masing-masing dinyatakan dengan indeks *FVSI* dan faktor *LQP* untuk kasus-2 diperoleh nilainya jauh kurang dari 1.00 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Indeks ini digunakan untuk mempertahankan stabilitas sistem pada berbagai tingkat pembebanan sistem untuk menjamin bahwa tidak ada bus yang akan jatuh akibat pembebanan lebih dan tidak ada saluran yang mengalami pembebanan lebih pada setiap kondisi pembebanan sistem.

#### 4. Kesimpulan

Sebuah pendekatan baru berbasis teknik optimasi NSGA-II telah disajikan dalam penelitian ini dan diterapkan untuk integrasi optimal yakni: lokasi dan kapasitas satu jenis DG ke dalam sistem praktis jaringan listrik. Masalah optimasi dirumuskan sebagai persoalan optimasi multi-objektif gabungan bilangan nyata bulat kontinyu. Dua persoalan optimasi berbeda dan bahkan bertentangan satu dengan lainnya yaitu: memaksimalkan pembebanan sistem (PS) dan sekaligus meminimalkan kerugian daya nyata ( $P_{loss}$ ) telah secara simultan diselesaikan sebagai masalah optimasi multi-objektif. Dalam setiap kasus, integrasi optimal dengan teknik NSGA-II ini dilakukan dengan mempertimbangkan kendala-kendala keamanan dan stabilitas sistem. Untuk menjaga ukuran depan Pareto, teknik jarak *crowding* digunakan; bahkan, dengan mekanisme berbasis *fuzzy* diterapkan untuk mendapatkan solusi kompromi terbaik dari depan Pareto tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NSGA-II menyediakan juga distribusi solusi non-dominasi dan eksplorasi yang baik dalam bidang penelitian.

#### 5. Daftar Referensi

- [1] Y. M. Atwa and E. F. El-Saadany, "Probabilistic approach for optimal allocation of wind-based distributed generation in distribution systems," *Renewable Power Generation, IET*, vol. 5, pp. 79-88, 2011.
- [2] S. Ghosh, S. P. Ghoshal, and S. Ghosh, "Optimal sizing and placement of distributed generation in a network system," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, pp. 849-856, 2010.
- [3] L. G. Meegahapola, S. R. Abbott, D. J. Morrow, T. Littler, and D. Flynn, "Optimal allocation of distributed reactive power resources under network constraints for system loss minimization," in *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*, 2011, pp. 1-7.
- [4] H. E. A. Talaat and E. Al-Ammar, "Optimal allocation and sizing of Distributed Generation in distribution networks using Genetic Algorithms," in *Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), 2011 11th International Conference on*, 2011, pp. 1-6.
- [5] P. Alemi and G. B. Gharehpetian, "DG allocation using an analytical method to minimize losses and to improve voltage security," in *Power and Energy Conference, 2008. PECon 2008. IEEE 2nd International*, 2008, pp. 1575-1580.
- [6] M. Alonso and H. Amaris, "Voltage stability in distribution networks with DG," in *PowerTech, 2009 IEEE Bucharest*, 2009, pp. 1-6.
- [7] A. Parizad, A. Khazali, and M. Kalantar, "Optimal placement of distributed generation with sensitivity factors considering voltage stability and losses indices," in *Electrical Engineering (ICEE), 2010 18th Iranian Conference on*, 2010, pp. 848-855.

- [8] D. Gautam, V. Vittal, and T. Harbour, "Impact of increased penetration of DFIG based wind turbine generators on transient and small signal stability of power systems," in *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 2010, pp. 1-1.
- [9] F. Milano, "An Open Source Power System Analysis Toolbox," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 1199-1206, 2005.
- [10] I. M. Wartana and N. P. Agustini, "Optimal placement of UPFC for maximizing system loadability and minimizing active power losses in system stability margins by NSGA-II," in *Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 1-6.
- [11] A. Anwar and H. R. Pota, "Loss reduction of power distribution network using optimum size and location of distributed generation," in *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2011 21st Australasian*, 2011, pp. 1-6.
- [12] I. Musirin and T. K. Abdul Rahman, "Novel fast voltage stability index (FVSI) for voltage stability analysis in power transmission system," in *Student Conference on Research and Development, SCOReD 2002*, 2002, pp. 265-268.
- [13] M. V. Suganyadevia and C. K. Babulal, "Estimating of loadability margin of a power system by comparing Voltage Stability Indices," in *2009 International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, INCACEC 2009*, 2009, pp. 1-4.
- [14] P3B, "The 2010 Operation Plan," The Indonesian Government Electrical Company, *PT PLN (PERSERO)*, Cinere 61514, Jakarta Selatan, Indonesia 2010.