

# Penentuan Lokasi dan Kapasitas Pembangkit Tersebar untuk Menurunkan Rugi-Rugi Daya Aktif pada Sistem Distribusi Menggunakan *Adaptive Particle Swarm Optimization*

I Ketut Suryawan  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Bali  
Badung, Bali, Indonesia  
[suryawanpnb@pnb.ac.id](mailto:suryawanpnb@pnb.ac.id)

Kadek Amerta Yasa  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Bali  
Badung, Bali, Indonesia  
[amerta.yasa@gmail.com](mailto:amerta.yasa@gmail.com)

I Gusti Ketut Abasana  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Bali  
Badung, Bali, Indonesia  
[abasana6@gmail.com](mailto:abasana6@gmail.com)

**Abstrak**—Pembangkit tenaga listrik tersebar, yang dikenal dengan istilah *distributed generation (DG)*, merupakan salah satu alternatif untuk memenuhi pasokan daya listrik seiring dengan pertumbuhan beban. Lokasi pemasangan dan kapasitas DG yang tepat pada jaringan distribusi tenaga listrik yang ada akan mengurangi rugi-rugi daya aktif. Lokasi pemasangan dan kapasitas DG yang optimal untuk mengurangi rugi-rugi daya aktif dapat ditelusuri menggunakan *Adaptive Particle Swarm Optimization*. Dengan pengaturan bobot inersia secara dinamis sesuai jarak tiap partikel diharapkan metode ini dapat menghindari konvergen dini pada nilai optimal lokal. Hasil simulasi numerik pada jaringan distribusi radial IEEE-33 bus menunjukkan metode ini mampu menelusuri lokasi dan kapasitas DG yang optimal dan berpotensi menghindari konvergen dini pada nilai optimal lokal.

**Kata Kunci**—Sistem distribusi radial, rugi-rugi daya aktif, pembangkit tenaga listrik tersebar, *distributed generation*, *particle swarm optimization*, *adaptive particle swarm optimization*

## I. PENDAHULUAN

Pembangkit tenaga listrik tersebar (*distributed generation*, DG) adalah sebuah konsep pembangkit tenaga listrik yang dipasang dan dioperasikan dekat dengan lokasi beban. DG merupakan salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan pasokan daya listrik seiring dengan pertumbuhan beban. Pemasangan DG semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap kelestarian lingkungan dan kemajuan teknologi energi terbarukan. Pemasangan DG yang tepat pada sistem utilitas yang ada akan mengurangi rugi-rugi saluran dan meningkatkan kualitas pasokan tenaga listrik dengan biaya yang lebih rendah [1].

Pemasangan DG perlu direncanakan dengan mempertimbangkan : teknologi yang akan digunakan, banyak unit DG yang akan dipasang, lokasi dan kapasitas unit DG yang akan dipasang, dan lain-lain. Lokasi pemasangan dan ukuran DG sangat berdampak pada rugi-rugi daya dalam jaringan distribusi [2]. Lokasi pemasangan dan ukuran DG menjadi salah satu masalah utama pada perencanaan pemasangan DG sesuai kombinasi bus yang mungkin, jumlah dan ukuran unit generator [3]. Penentuan lokasi dan ukuran DG yang optimal merupakan permasalahan *combinatorial optimization*, *mixed-integer*

*optimization*, *non linier optimization*, *constraint optimization*. Untuk mendapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal, banyak yang mengusulkan menggunakan *Particle Swarm Optimization* [2, 4, 5, 6, 7] disamping menggunakan algoritma yang lain seperti *Genetic Algorithm* [2, 8, 9], *Bat-Inspired Algorithm* [3], *Differential Evolution* [10, 11].

Sama halnya dengan metode metaheuristik lainnya, penggunaan *Particle Swarm Optimization* dalam menyelesaikan permasalahan kombinasi skala besar sering mengalami konvergensi dini ke arah optimal lokal. Untuk memberikan hasil yang lebih baik dan menghindari konvergensi dini ke arah optimal lokal, dalam makalah ini diusulkan penentuan lokasi dan ukuran DG untuk meminimalisasi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi radial menggunakan *Adaptive Particle Swarm Optimization*. *Adaptive Particle Swarm Optimization* yaitu sebuah algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan bobot inersia yang didasarkan pada jarak partikel-partikel dari partikel terdekat dengan target/tujuan. Untuk melihat efektifitas dari metode yang diusulkan telah dilakukan simulasi numerik pada sistem distribusi radial IEEE-33 bus. Simulasi numerik juga dilakukan dengan menggunakan *Particle Swarm Optimization* standar [12] dan *Particle Swarm Optimization* dengan bobot inersia variabel [4] sebagai pembandingan.

Pada bagian makalah berikut akan dipaparkan rumusan permasalahan, PSO dan algoritma yang diusulkan, hasil simulasi numerik, serta kesimpulan.

## II. RUMUSAN PERMASALAHAN

Arus listrik yang mengalir dalam penghantar saluran distribusi akan menimbulkan rugi-rugi daya aktif berupa panas. Rugi-rugi daya aktif dapat dihitung sesuai persamaan berikut.

$$P_{loss} = \sum_{k=1}^n I_k^2 \cdot R_k \quad (1)$$

Dimana  $P_{loss}$  adalah total rugi-rugi daya aktif dalam jaringan distribusi tenaga listrik,  $I_k$  adalah besar arus yang mengalir pada saluran cabang ke k.  $R_k$  adalah resistansi penghantar

saluran cabang ke k, dan  $n$  adalah jumlah cabang jaringan distribusi tenaga listrik.

Pada sistem distribusi dengan pasokan tenaga listrik dari satu sumber, arus di beberapa cabang menjadi besar, sehingga sesuai (1) rugi-rugi daya menjadi besar. Salah satu cara untuk menurunkan rugi-rugi daya aktif yaitu dengan menurunkan arus yang mengalir di beberapa cabang. Hal ini dapat dilakukan dengan pemasangan beberapa unit DG sebagai sumber tenaga listrik suplemen. Lokasi dan kapasitas unit DG perlu ditentukan dengan tepat agar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi menjadi seminimal mungkin. Sesuai harapan tersebut, fungsi obyektif dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$f = \min (P_{loss}) \quad (2)$$

Lokasi dan ukuran unit DG harus memenuhi batasan-batasan berikut.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (3)$$

$$I_k \leq I_{ccc.k} \quad (4)$$

$$S_i \leq S_{max} \quad (5)$$

Dimana  $V_i$  adalah besar tegangan pada bus ke i.  $V_{min}$  dan  $V_{max}$  adalah batas toleransi besar tegangan minimum dan maksimum.  $I_{ccc.k}$  adalah kapasitas saluran cabang ke k.  $S_i$  adalah kapasitas DG pada bus ke i.  $S_{max}$  adalah kapasitas maksimum unit DG.  $V_i$ ,  $I_k$ , dan  $S_i$  dihitung dengan analisa aliran daya.

### III. METODOLOGI

#### A. Particle Swarm Optimization

*Particle Swarm Optimization* (PSO), yang awalnya diperkenalkan oleh Eberhart dan Kennedy, adalah algoritma yang sangat sederhana yang efektif untuk mengoptimalkan berbagai fungsi. Performansi PSO sangat tergantung proses stokastik, seperti pada evolutionary programming [13]. Selanjutnya pada [12] diusulkan penggunaan parameter bobot inersia pada PSO awal. PSO yang telah dimodifikasi ini, dikenal sebagai PSO standar, dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$V_i^j(t+1) = w \cdot V_i^j(t) + c_1 \cdot rand(1) \cdot (pbest_i^j(t) - X_i^j(t)) + c_2 \cdot rand(1) \cdot (gbest^j(t) - X_i^j(t)) \quad (6)$$

$$X_i^j(t+1) = X_i^j(t) + V_i^j(t+1) \quad (7)$$

Dimana  $V_i^j(t)$  adalah kecepatan partikel ke i dimensi ke j pada generasi ke t,  $X_i^j(t)$  adalah posisi partikel ke i dimensi ke j pada generasi ke t,  $pbest_i^j(t)$  adalah posisi terbaik dari partikel ke i dimensi ke j pada generasi ke t,  $gbest^j(t)$  adalah posisi terbaik yang ditemukan oleh seluruh partikel pada generasi ke t,  $c_1$  dan  $c_2$  adalah koefisien akselerasi,  $w$  adalah bobot inersia,  $rand(1)$  adalah bilangan acak dengan distribusi seragam dalam range [0,1]. Pada [13],  $c_1$  dan  $c_2$  masing-masing bernilai 2. Simulasi yang dilakukan pada [12] menyimpulkan bahwa PSO dengan bobot inersia dalam kisaran 0,9-1,2 rata-rata akan memiliki kinerja yang lebih baik. Untuk menentukan lokasi dan ukuran DG untuk meminimalisasi rugi-rugi daya aktif, pada [4] digunakan bobot inersia yang divariasikan dari bobot inersia maksimum ( $w_{max}$ ) ke bobot inersia minimum ( $w_{min}$ ).

Variasi bobot inersia tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$w = w_{max} - \frac{(w_{max}-w_{min})}{t_{max}} \cdot t \quad (8)$$

Dimana  $t_{max}$  adalah generasi maksimum. Pada [4] digunakan  $w_{max} = 0,9$  dan  $w_{min} = 0,4$ .

Pada [14] diusulkan koefisien akselerasi dan bobot inersia diatur secara dinamis pada tiap tahap generasi dengan memperhitungkan jarak tiap partikel dan  $gbest$ . Semakin besar jarak partikel dari  $gbest$ , semakin besar nilai bobot inersia. Ketika sebuah partikel mendekati  $gbest$ , pengurangan bobot inersia memungkinkan partikel untuk meningkatkan kemampuan penelusuran lokal dirinya sendiri.

#### B. Adaptive Particle Swarm Optimization

*Adaptive Particle Swarm Optimization* (APSO) adalah sebuah algoritma PSO dimana bobot inersia diatur secara dinamis pada tiap tahap generasi dengan memperhitungkan jarak tiap partikel dan  $gbest$ . Pengaturan bobot inersia pada metode yang diusulkan pada makalah ini berbeda dengan konsep pada [14]. Pada metode yang diusulkan ini, semakin besar jarak partikel dari  $gbest$ , semakin kecil nilai bobot inersia dan sebaliknya, seperti digambarkan pada gambar 1. Pada jarak tertentu yang relatif kecil, sesuai rasio jarak yang ditentukan, bobot inersia bernilai konstan sama dengan nilai maksimumnya. Ketika sebuah partikel mendekati  $gbest$ , dengan penambahan bobot inersia diharapkan dapat menghindari penelusuran terjebak pada nilai lokal optimal. Sebaliknya ketika sebuah partikel jauh dari  $gbest$ , pengurangan bobot inersia diharapkan dapat menghindari posisi partikel keluar batas area penelusuran sehingga dapat mengurangi waktu penelusuran. Untuk menentukan letak dan ukuran DG, pada makalah ini variasi bobot inersia diatur sesuai persamaan berikut.

$$w_i^j = \begin{cases} \frac{(w_{max}-w_{min})}{d_i^j - 2d_{max}^j + d_{min}^j} \cdot (d_i^j - 2d_{max}^j + d_{min}^j) + w_{min} & \text{jika } d_i^j > p \cdot d_{max}^j \\ w_{max} & \text{lainnya} \end{cases} \quad (9)$$

Dimana  $d_i^j$  adalah jarak partikel ke i dimensi ke j dari  $gbest^j$  dan  $d_{max}^j$  adalah nilai terbesar dari  $d_i^j$ . Keduanya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$d_i^j = |gbest^j - X_i^j| \quad (10)$$

$$d_{max}^j = \max(d_i^j) \quad (11)$$

Pada (9)  $p$  adalah konstanta yang menyatakan rasio jarak partikel dari  $gbest$  terhadap jarak maksimum.  $p \cdot d_{max}^j$  merupakan batas jarak maksimum partikel dari  $gbest$  yang mana bobot inersianya ditentukan sama dengan  $w_{max}$ .

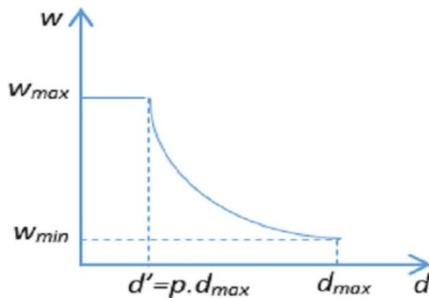
Dengan variasi bobot inersia yang diusulkan ini, kecepatan partikel dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_i^j(t+1) = w_i^j \cdot V_i^j(t) + c_1 \cdot rand(1) \cdot (pbest_i^j(t) - X_i^j(t)) + c_2 \cdot rand(1) \cdot (gbest^j(t) - X_i^j(t)) \quad (12)$$

Adapun algoritma yang diusulkan dapat diuraikan sebagai berikut

- 1) Inisialisasi : masukan data beban dan jaringan distribusi, batas tegangan, kapasitas saluran, kapasitas maksimum DG, banyak unit DG, banyak populasi, dan banyak generasi.
- 2) Buat populasi awal secara acak.

- 3) Lakukan analisa aliran daya.
- 4) Hitung fungsi obyektif sesuai (2).
- 5) Hitung jarak partikel sesuai (10) dan (11).
- 6) Hitung bobot inersia sesuai (9).
- 7) Perbarui kecepatan dan posisi partikel sesuai (12) dan (7).
- 8) Ulangi dari langkah ke 3 sampai generasi maksimum.



Gambar 1. Variasi Bobot Inersia sebagai Fungsi Jarak Partikel dan *gbest*

IV. SIMULASI NUMERIK

Untuk melihat efektifitas algoritma yang diusulkan untuk menentukan lokasi dan ukuran DG telah dilakukan simulasi numerik pada jaringan distribusi radial IEEE-33 bus [15]. Jaringan distribusi tersebut mempunyai beban sebesar 37,15 + 23i pu dan rugi-rugi awal sebesar 0,7438 pu dengan kVA dasar sebesar 100. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan 3, 5, dan 7 lokasi DG dengan kapasitas maksimum unit DG ditentukan sebesar 20% dari beban total sistem distribusi tenaga listrik. Satu lokasi potensial yang ditelusuri dinyatakan dalam 3 partikel yang masing-masing menunjukkan nomor bus, kapasitas/daya semu pembangkit dalam per-unit, dan faktor daya pembangkit. Adapun parameter PSO yang digunakan dalam simulasi ini yaitu  $c_1 = c_2 = 2$ ,  $w_{min} = 0,4$  dan  $w_{max} = 0,9$ . Untuk menelusuri nilai fungsi obyektif terkecil dilakukan 30 generasi.

Sebagai pembandingan telah dilakukan pula simulasi numerik pada sistem distribusi yang sama menggunakan PSO standar dan PSO dengan bobot inersia variabel sesuai (8). Algoritma pembandingan menggunakan parameter-parameter sama, kecuali konstanta bobot inersia pada algoritma PSO standar ditentukan  $w = 0,9$ .

Tabel I menunjukkan hasil penelusuran lokasi DG dan kapasitas DG yang optimal dari 10 kali simulasi. Hasil ini menunjukkan algoritma yang diusulkan, disamping algoritma-algoritma pembandingan, mampu menelusuri lokasi dan kapasitas DG yang optimal sesuai dengan banyak titik lokasi potensial yang diinginkan/direncanakan. Dengan algoritma yang diusulkan, penelusuran lokasi pemasangan DG dapat dilakukan secara simultan dengan penelusuran kapasitas DG.

Tabel II menunjukkan nilai fungsi obyektif terbaik (rugi-rugi daya aktif terkecil) yang mampu ditelusuri oleh ketiga algoritma di atas dari 10 kali simulasi dan rata-rata rugi-rugi daya aktif yang mampu ditelusuri, serta rata-rata waktu penelusuran per simulasi dari 10 kali simulasi. Sesuai banyak lokasi potensial yang diinginkan, penelusuran dengan

algoritma yang diusulkan mampu menghasilkan rugi-rugi daya aktif yang lebih kecil daripada dua algoritma pembandingan. Rata-rata rugi-rugi daya aktif hasil penelusuran dengan algoritma yang diusulkan hampir sama dengan metode PSO standar (w-konstan) dan relatif lebih baik dari PSO dengan bobot inersia variabel. Rata-rata waktu penelusuran dari ketiga algoritma menunjukkan bahwa dengan penambahan langkah algoritma berupa perhitungan jarak dan pembaharuan bobot inersia pada metode yang diusulkan tidak menyebabkan penambahan waktu penelusuran yang signifikan (tidak lebih dari 0,0218 s).

Gambar 2, 3, dan 4 menunjukkan konvergensi rugi-rugi daya aktif untuk penelusuran 3, 5, dan 7 lokasi DG yang potensial, yang merupakan hasil terbaik dari 10 kali simulasi. Penelusuran menggunakan algoritma yang diusulkan ditunjukkan dengan garis penuh ‘—’, sedangkan garis putus-putus ‘- -’ dan garis rantai ‘- .’ masing-masing menunjukkan penelusuran menggunakan algoritma PSO dengan bobot inersia variabel dan PSO standar. Dari ketiga gambar secara umum dapat dilihat bahwa algoritma yang diusulkan relatif lebih dinamis dalam penelusuran. Ketika dua metode lainnya konvergen pada nilai optimal lokal, algoritma yang diusulkan masih mampu menelusuri nilai obyektif yang lebih baik (rugi-rugi daya aktif yang lebih kecil).

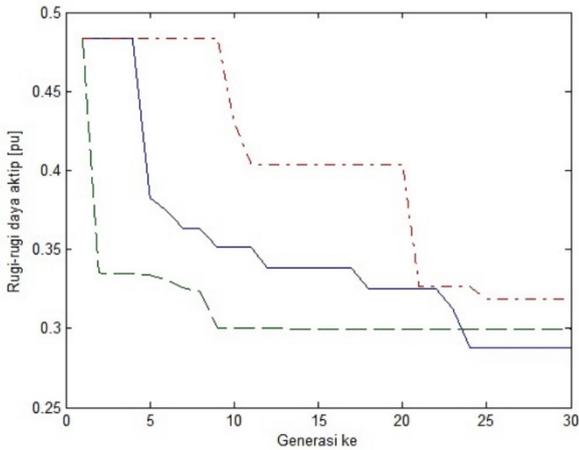
TABLE I. LOKASI DAN KAPASITAS DG YANG OPTIMAL

Banyak Lokasi	Metode PSO	Bus Lokasi DG	Daya Semu DG [pu]
3	w-konstan	33/6/15	6.5576/8.0883/8.5998
	w-variabel	25/33/11	8.0964/8.7326/8.4811
	w-adaptif	24/32/14	8.4959/8.2699/8.7383
5	w-konstan	25/33/30/2/14	8.6117/0.2549/7.7152/2.9711/7.8165
	w-variabel	30/16/25/17/10	8.1218/0.3604/6.5970/6.3560/8.3196
	w-adaptif	26/24/33/18/14	8.5418/8.6291/8.1900/3.8170/8.3048
7	w-konstan	15/2/25/29/33/11/3	8.7167/8.1814/7.3260/8.4868/4.5932/3.5600/8.1430
	w-variabel	6/2/24/25/3/9/10	8.7290/1.8225/2.3173/8.5990/7.5354/3.7376/8.0130
	w-adaptif	11/4/31/25/22/8/3	7.7188/0.0261/8.1044/8.2970/5.0397/3.7899/5.0343

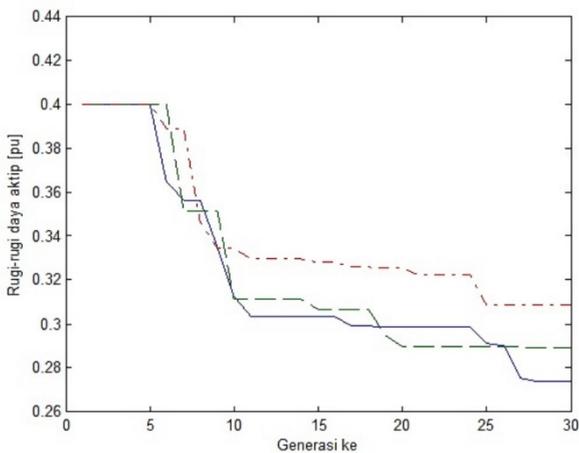
TABLE II. KINERJA DAN WAKTU PENELUSURAN

Banyak Lokasi	Algoritma PSO	Rugi-rugi Daya Aktif [pu]		Rata-rata waktu [s]
		Minimum	Rata-rata	
3	w-konstan	0.3186	0.3511	0.3541
	w-variabel	0.2990	0.3757	0.3416
	w-adaptif	0.2878	0.3510	0.3541
5	w-konstan	0.3089	0.3320	0.6334
	w-variabel	0.2890	0.3288	0.6552
	w-adaptif	0.2738	0.3322	0.6552

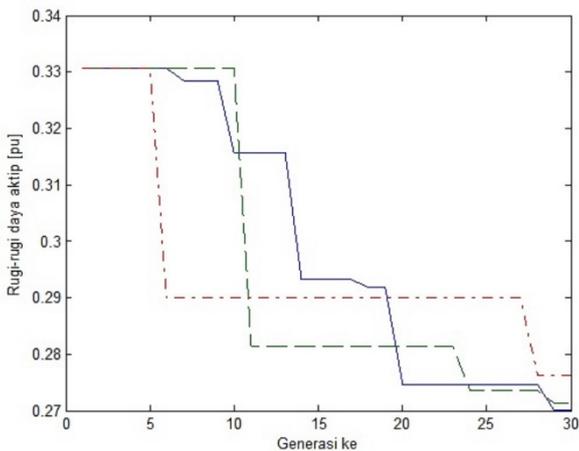
7	w-konstan	0.2762	0.2997	0.7550
	w-variabel	0.2714	0.3023	0.7472
	w-adaptif	0.2700	0.2990	0.7597



Gambar 2. Konvergensi Penelusuran 3 Lokasi DG yang Potensial



Gambar 3. Konvergensi Penelusuran 5 Lokasi DG yang Potensial



Gambar 4. Konvergensi Penelusuran 5 Lokasi DG yang Potensial

V. KESIMPULAN

APSO adalah sebuah algoritma PSO dimana bobot inersia diatur secara dinamis pada tiap tahap generasi

dengan memperhitungkan jarak tiap partikel dan *gbest*. Semakin besar jarak partikel dari *gbest*, semakin kecil nilai bobot inersia, dan pada jarak tertentu yang relatif kecil, sesuai rasio jarak yang ditentukan, bobot inersia bernilai konstan sama dengan nilai maksimumnya. Ketika sebuah partikel APSO adalah sebuah algoritma PSO dimana bobot inersia diatur secara dinamis pada tiap tahap generasi dengan memperhitungkan jarak tiap partikel dan *gbest*. Semakin besar jarak partikel dari *gbest*, semakin kecil nilai bobot inersia, dan pada jarak tertentu yang relatif kecil, sesuai rasio jarak yang ditentukan, bobot inersia bernilai konstan sama dengan nilai maksimumnya. Ketika sebuah partikel

REFERENSI

- [1] DG exploration : S. Bakshi, T. Thakur, R. Khanna, "Exploration of distributed generation for future distribution networks", International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), vol. 3, issue 11, November 2014, pp. 3658-3666.
- [2] M.H. Moradi & M. Abedini, "A combination of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 34, 2012, pp.66-74
- [3] J. Candelo-Becerra & H. H. Riaño, "Location and Size of Distributed Generation to Reduce Power Losses using a Bat-inspired Algorithm", Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energia Eléctrica - SICEL, vol. 7, 2013.
- [4] J. Bhadoriya, "Optimal placement & sizing of distributed generation (DG) to minimize active power loss using particle swarm optimization (PSO)", International Journal Of Scientific & Technology Research 3. 2014, pp. 246-254.
- [5] A. M. El-Zonkoly, "Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimisation," in IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 5, no. 7, 2011, pp. 760-771.
- [6] J. J. Jamian, M. W. Mustafa, H. Mokhlis & M. N. Abdullah, "Comparative Study on Distributed Generator Sizing Using Three Types of Particle Swarm Optimization", Third International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation, 2012, pp. 131-136.
- [7] S. Muhammad Arif, A. Hussain, D. Ryeol Shin, "A Survey on Particle Swarm Optimization for Use in Distributed Generation Placement and Sizing", MATEC Web of Conferences 70:10013, 2016.
- [8] R. Priya, S. Prakash, G. Kumari, Z. R. Khan, K. Singh, "Optimal Location and Sizing of Generator in Distributed Generation System", International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, vol. 2, issue 3, 2014, pp. 1272-1277
- [9] A. Ali, S. Padmanaban, B. Twala, T. Marwala, "Electric Power Grids Distribution Generation System for Optimal Location and Sizing—A Case Study Investigation by Various Optimization Algorithms", Energies, vol. 10, issue 7, 2017, 960
- [10] I. Hussain and A. K. Roy, "Optimal size and location of distributed generations using Differential Evolution (DE)," 2012 2nd National Conference on Computational Intelligence and Signal Processing (CISP), Guwahati, Assam, 2012, pp. 57-61.
- [11] Nayak M.R., Dash S.K., Rout P.K. (2012) Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation in Radial Distribution System Using Differential Evolution Algorithm. In: Panigrahi B.K., Das S., Suganthan P.N., Nanda P.K. (eds) Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing. SEMCCO 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7677. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [12] Y. Shi and R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98TH8360), Anchorage, AK, USA, 1998, pp. 69-73.
- [13] R.C. Eberhart, J. Kennedy, A new optimizer using particle swarm theory, in: Proc IEEE Int. Symp. on Neural Micro Machine and Human Science, Nagoya, Japan, 1995, pp. 39-43. J. Kennedy, R.C. Eberhart, Particle Swarm Optimization, in: Proceeding of the IEEE

- International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1995, pp. 1942–1948.
- [14] G. Ardizzone, G. Cavazzini, G. Pavesi, "Adaptive acceleration coefficients for a new search diversification strategy in particle swarm optimization algorithms", *Information Sciences*. 299. 10.1016/j.ins.2014.12.024.
- [15] W. A. Vasquez and F. L. Quilumba, "Load flow method for radial distribution systems with distributed generation using a dynamic data matrix," 2016 IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), Guayaquil, 2016, pp. 1-5.