

OPTIMASI PENENTUAN LETAK PEMBANGKIT TERSEBAR (*DISTRIBUTED GENERATION*) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DENGAN ADANYA KAPASITOR

Ardiaty Arief
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
ardiaty@eng.unhas.ac.id

Tajuddin Waris
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
tajuddin@unhas.ac.id

Siti Annisa Syalsabila
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
syalsabilasa18d@student.unhas.ac.id

Abstrak—Pembangkit terdistribusi atau *Distributed Generation* (DG) adalah pembangkit berkapasitas lebih kecil dibandingkan pembangkit listrik utama. DG terinjeksi langsung pada sistem distribusi dan terletak di dekat pusat-pusat beban. Pemasangan DG dirancang untuk memperoleh rugi-rugi daya minimum dan profil tegangan berada pada batasannya. Metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Algoritma Penyerbukan Bunga atau *Flower Pollination Algorithm* (FPA). Penelitian ini diujikan pada SDR 33 bus dengan standar IEEE yang memperhatikan adanya kapasitor pada sistem. Hasil analisis dari penelitian ini diperoleh bahwa pemasangan *multi* DG dan dengan ukuran kapasitor yang lebih besar di SDR lebih optimal dalam memperoleh rugi-rugi daya minimum dan profil tegangan berada pada batasannya dengan lokasi DG yang sama.

Kata Kunci: Sistem Distribusi Radial, *Distributed Generation*, *Flower Pollination Algorithm*, Rugi-Rugi Daya, Profil Tegangan.

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sumber energi yang sangat berguna dalam kehidupan sehari-hari saat ini. Dari penerangan hingga alat komunikasi, sebagian besar produktivitas rumah dan industri membutuhkan listrik. Seiring waktu, pertumbuhan penduduk dunia akan memengaruhi permintaan energi listrik, berlawanan dengan penurunan pasokan bahan bakar fosil alam yang digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik. Oleh karena itu dapat diasumsikan bahwa pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil akan semakin terancam oleh berkurangnya kapasitas daya akibat kelangkaan bahan bakar fosil (Twaha & Ramli, 2018).

Perubahan iklim telah menjadi sebuah fenomena yang banyak dibicarakan di beberapa dekade terakhir khususnya Indonesia yang menandatangani Paris Agreement pada tanggal 22 April 2016. Indonesia berkomitmen untuk berupaya menurunkan emisi gas rumah kaca dan bergerak aktif menahan agar perubahan iklim tidak terjadi (Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, 2016). Indonesia juga sebagai *Presidensi Group of Twenty* (G20) menetapkan tiga pilar isu utamanya, salah satunya adalah transisi energi. PLN dan pemangku kepentingan terkait menandatangani empat kerjasama strategis menuju karbon netral 2060 pada pertemuan *Energy Transitions Working Group* (ETWG)

Presidensi G20 Indonesia di Yogyakarta, 24 Maret 2022. Selain itu, energi terbarukan diharapkan dapat membantu mempercepat tercapainya target bauran EBT 23% di 2025 (Portal Informasi Indonesia, 2022).

Sistem Distribusi Radial (SDR) merupakan sistem yang paling umum digunakan. SDR merupakan sistem dengan konfigurasi paling sederhana. Sistem ini disebut sistem radial karena menarik secara radial dari tempat saluran menjadi sumber dan bercabang ke titik beban. Kerugian dari sistem ini adalah kualitas daya yang relatif rendah. Hal tersebut dipicu oleh disipasi daya yang relatif tinggi, kondisi *undervoltage* dan nilai impedansi yang tinggi pada setiap saluran (Boucekara, et al., 2019).

DG mempengaruhi aliran daya dan tegangan bus pada sistem distribusi tenaga listrik. Kehadiran DG dalam sistem distribusi dirancang untuk memperoleh rugi-rugi daya minimum, meningkatkan kapasitas cadangan listrik dan memperbaiki profil tegangan. Kapasitas dan lokasi harus dipertimbangkan saat memasang DG di jaringan distribusi. Jika penempatan DG tidak optimal, rugi-rugi sistem akan meningkat dan profil tegangan dapat turun di bawah batas yang diizinkan. Sehingga akan berlawanan dari keuntungan DG yang diharapkan (Oda, et al., 2017). Oleh karena itu, penempatan dan kapasitas daya DG harus dioptimalkan untuk memperoleh rugi-rugi daya minimum dan profil tegangan berada pada batasannya.

Dalam penelitian ini, metode optimasi yang digunakan adalah Algoritma Penyerbukan Bunga (*Flower Pollination Algorithm*/FPA). Metode FPA merupakan salah satu optimasi yang terinspirasi dari proses alami penyerbukan bunga (Prasetyo, et al., 2019). Metode FPA lebih efisien dibandingkan metode lain yang biasa digunakan seperti *backtracking search optimization algorithm*, *artificial bee colony*, dan *selection algorithm* (Oda, et al., 2017) dan jaringan distribusi yang digunakan adalah SDR 33 bus dengan standar IEEE.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Distribusi Radial

Sistem Distribusi Radial (SDR) merupakan sistem yang paling umum digunakan karena merupakan konfigurasi paling sederhana. Sistem ini disebut sistem radial karena menarik secara radial dari tempat saluran menjadi sumber dan bercabang ke titik beban (Santosa, et al., 2016).

Sistem distribusi memiliki karakteristik struktur yang radial, nilai R/X yang tinggi dan sistem yang kompleks. Dari karakteristik sistem distribusi di atas

dapat diketahui bahwa karakteristiknya adalah unik dan berbeda dengan karakteristik sistem transmisi. Untuk analisis sistem distribusi, perlu mempertimbangkan aliran daya yang akurat. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang tepat dan efisien untuk menganalisis aliran daya pada sistem distribusi (Jesus, 2020).

B. Backward and Forward Sweep

Backward and Forward Sweep (BFS) merupakan komputasi aliran daya yang lebih efektif dalam bus dan cabang dengan jumlah yang banyak. BFS merupakan metode komputasi iteratif untuk memecahkan masalah aliran daya dalam SDR. Metode ini digunakan karena metode ini lebih efisien dibandingkan komputasi aliran daya lainnya pada SDR (Rupa & Ganesh, 2014).

Hukum Kirchoff digunakan dalam metode ini untuk melakukan perhitungan arus. BFS ini bekerja dengan terlebih dahulu dilakukan tahap *backward sweep* atau menghitung jumlah arus yang mengalir di saluran, dari bus terakhir ke bus pertama. Setelah itu nilai arus yang diperoleh di atas kemudian dikalikan dengan impedansi masing-masing saluran dan dilakukan perhitungan *forward sweep* untuk menentukan besarnya jatuh tegangan pada setiap bus (Wicaksana, 2018).

C. Kapasitor

Pada dasarnya, kapasitor adalah perangkat yang menghasilkan daya reaktif. Dengan demikian, kapasitor bertujuan untuk mengurangi arus saluran yang mengalir ke beban dan jatuh tegangan yang melintasi saluran (Tamiselvan, et al., 2018).

Beban yang biasanya terdapat pada sistem distribusi bersifat resistif induktif sehingga terdapat arus resistif dan arus induktif mengalir melalui beban. Besarnya arus induktif pada beban induktif dikompensasikan oleh arus kapasitif pada bank kapasitor karena arus kapasitif tersebut dilewati oleh kapasitor yang terpasang. Setelah memasang bank kapasitor, arus total yang ditarik oleh beban induktif berkurang. Dengan kata lain, kita dapat mengatakan bahwa hanya ada arus resistif dalam jaringan. Konsumsi arus yang rendah akan berdampak pada perbaikan profil tegangan dan rugi daya.

D. Pembangkit Tersebar (*Distributed Generation*)

Pembangkit listrik yang terdistribusi atau tersebar merupakan *Distributed Generation* (DG). DG terpasang di luar pembangkit listrik utama pada sistem tenaga listrik. DG terhubung ke sistem distribusi sebagai sumber energi alternatif dalam memenuhi permintaan konsumen (Santosa, et al., 2016). DG berkapasitas lebih kecil daripada pembangkit listrik utama. Dalam sistem distribusi tenaga listrik, DG sering dipasang pada bus beban dengan tujuan memperoleh rugi-rugi daya minimum pada saluran (Ratuhaji, et al., 2019)

DG dapat dibedakan berdasarkan karakteristik mengirimkan daya aktif atau daya reaktifnya. DG tipe 1 adalah DG yang hanya menginjeksikan daya aktif saja. Pembangkit listrik yang termasuk DG tipe 1 adalah *photovoltaic* dan *fuel cells*. DG tipe 2 adalah

DG yang hanya menginjeksikan daya reaktif. DG tipe 3 adalah DG yang menginjeksikan daya aktif dan

reaktif. DG tipe 4 adalah DG yang menginjeksikan daya aktif tapi mengonsumsi daya reaktif (Reddy, et al., 2016).

Berdasarkan ukuran yang dapat dibangkitkan DG dikategorikan menjadi 4 jenis, yaitu DG mikro berkapasitas 1kW sampai dengan 5kW, DG kecil 5kW s.d. 5MW, DG medium 5MW s.d 50MW, DG besar 50MW s.d 300MW (Augusta & Pramono, 2018).

E. Flower Pollination Algorithm (FPA)

Optimasi dengan metode FPA merupakan optimasi dengan metode yang terinspirasi dari konsep alami penyerbukan (polinasi) terhadap bunga. Dasar dari konsep tersebut adalah upaya serbuk sari dapat jatuh pada kepala putik. Ada berbagai alasan alami mengapa serbuk sari jatuh pada kepala putik. Misalnya, ditiup angin atau dibawa oleh serangga dan burung. Polinator merupakan subjek yang berperan membawa serbuk sari dalam proses polinasi. Pada metode ini tentu saja pollinator memilih hinggap pada bunga dengan penampilan terbaik, oleh karena itu metode FPA digunakan (Augusta & Pramono, 2018).

Optimasi FPA memiliki dua tahap utama yaitu penyerbukan lokal dan global. Penyerbukan lokal terjadi ketika serbuk sari jatuh pada kepala putik karena faktor abiotik (angin atau hujan). Sebaliknya, polinasi global terjadi karena faktor biotik misalnya serangga atau burung. Gerakan unik (*Levy Flights*) yang dilakukan faktor biotik menyebabkan serbuk sari dapat jatuh dengan jarak yang jauh pada kepala putik bunga lain. Dalam penyerbukan global, serbuk sari dapat dibawa oleh polinator dengan jarak yang jauh. Sehingga dapat dipastikan suatu solusi dicapai dengan hasil yang terbaik (*fitness*). Solusi tersebut disimbolkan g^* . Konsep tersebut dapat dituliskan dengan persamaan:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L (g^* - x_i^t) \quad (1)$$

Dimana x_i^t merupakan serbuk sari i atau solusi vektor x_i pada iterasi ke- t . Sedangkan L merupakan jarak terbang polinator.

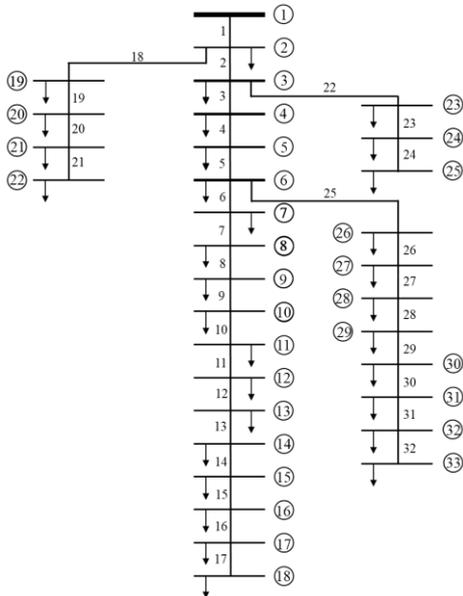
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses penelitian ini, data yang digunakan adalah data kuantitatif. Berdasarkan sumber pengambilan data, penelitian ini menggunakan data sekunder. Pada penelitian ini digunakan SDR 33 bus dengan standar IEEE. Data tersebut diperoleh dari IEEE, yaitu data saluran dan data bus pada SDR 33 bus. Dilakukan studi literatur dari beberapa jurnal

penelitian yang telah dipublikasi untuk menentukan lokasi dan kapasitas dari kapasitor pada SDR.

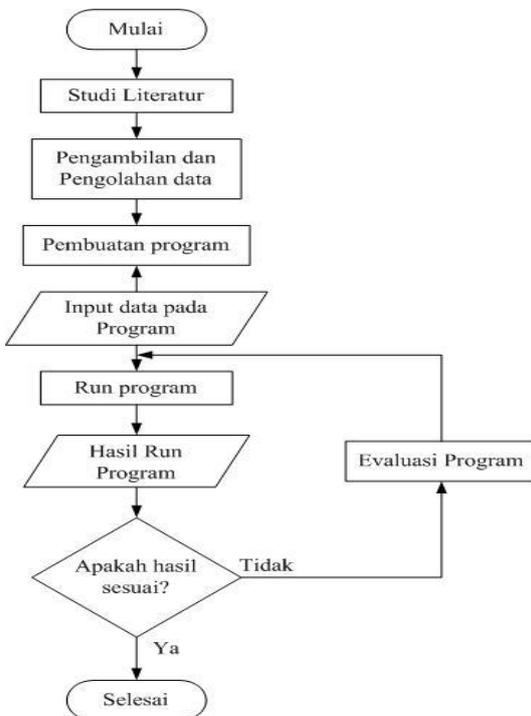
SDR 33 bus dengan standar IEEE adalah sistem distribusi dengan 33 bus, dimana semua bus merupakan bus beban kecuali bus 1. Bus 1 sebagai bus referensi. Dapat dilihat *Single line diagram* SDR IEEE 33 bus pada Gambar 1.



Gambar 1. *Single line diagram* SDR IEEE 33 bus

B. Alur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan optimasi penempatan *single* dan *multi* DG pada SDR 33 bus dengan standar IEEE, dimana pada sistem tersebut terpasang tiga unit kapasitor berkapasitas 150 kVAR, 150 kVAR, 300 kVAR masing-masing pada bus 8, 18, 30. Lokasi dan kapasitas tersebut digunakan berdasarkan data (Moradi, et al., 2014).

Setelah melakukan simulasi optimasi letak DG, didapatkan lokasi dan kapasitas DG terbaik seperti yang diperlihatkan oleh Tabel 1. Kemudian dilakukan simulasi *power flow* pada sistem ketika DG telah dipasang untuk mendapatkan total rugi daya aktif dan profil tegangan. Pada Tabel 2 diperlihatkan nilai rugi daya aktif (P_{loss}) dan profil tegangan tanpa dan dengan pemasangan DG. Adapun Gambar 3 memperlihatkan besar perbandingan daya aktif.

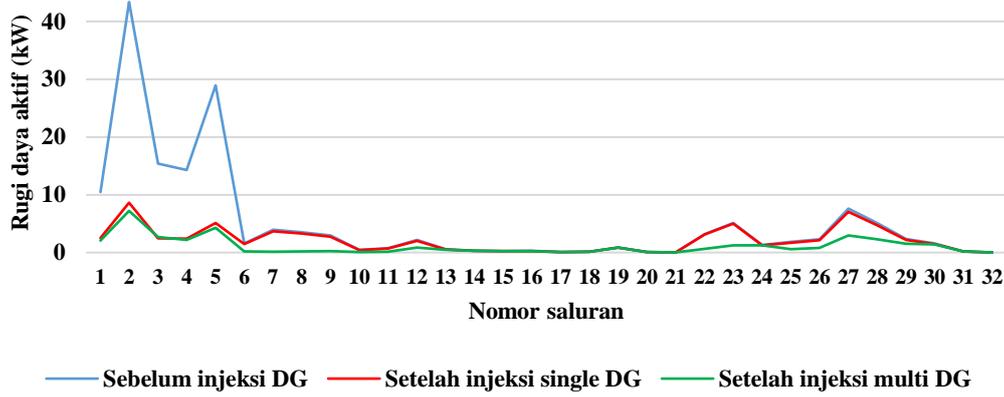
Tabel 1. Lokasi dan kapasitas DG optimal

DG	Bus letak DG	Kapasitas DG (kW)
<i>Single</i> DG	6	2.543,61
<i>Multi</i> DG (3 DG)	14	747,96
	24	1.079,10
	30	1.069,90

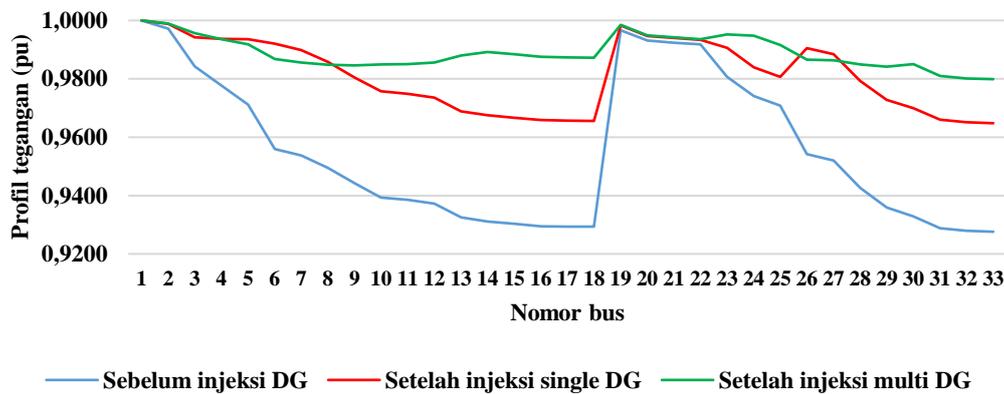
Tabel 2. Solusi Pemasangan DG

	P_{loss} (kW)	Tegangan terbesar	Tegangan terkecil
Tanpa DG	161,11	1,00 pu Di bus 1	0,93 pu Di bus 33
<i>Single</i> DG	66,81	1,00 pu Di bus 1	0,96 pu Di bus 33
3 DG	35,48	1,00 pu Di bus 1	0,98 pu Di bus 33

Dari hasil simulasi tersebut didapatkan bahwa adanya 3 unit kapasitor pada SDR 33 bus belum mampu membuat tegangan di semua bus berada dalam kondisi operasi yang diizinkan. Penggunaan DG dapat memperoleh rugi-rugi daya minimum dan profil tegangan berada pada batasannya yakni harus berada di dalam batasan 0,95pu sampai dengan 1,05pu. Gambar 3 menunjukkan rugi daya aktif yang dihasilkan oleh pemasangan *single* DG terhadap rugi daya yang dihasilkan oleh pemasangan *multi* DG. Dari gambar di bawah diperoleh bahwa pemasangan *multi* DG menghasilkan total rugi daya lebih minimum dibandingkan dengan pemasangan *single* DG.



Gambar 3. Perbandingan Rugi Daya Aktif Tanpa Pemasangan DG dengan Pemasangan *Single* dan *Multi* DG



Gambar 4. Perbandingan Profil Tegangan Tanpa Pemasangan DG dengan Pemasangan *Single* dan *Multi* DG

Hal tersebut juga berlaku pada peningkatan profil tegangan, dimana pemasangan *multi* DG menghasilkan tegangan di setiap bus lebih optimal dibandingkan dengan pemasangan *single* DG diperlihatkan pada Gambar 4.

Persentase Rugi Daya (PRD) dengan persamaan sebagai berikut:

$$PRD\% = \frac{(P_{loss} - P_{loss}^{DG})}{P_{loss}} \times 100$$

Dimana pada pemasangan *single* DG dapat meminimalkan total rugi daya aktif sebanyak 59 % dibandingkan sebelum injeksi DG. Sedangkan setelah injeksi *multi* DG dapat meminimalkan total rugi daya aktif hingga 78 % dibandingkan sebelum injeksi DG. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa injeksi *multi* DG lebih optimal dibandingkan *single* DG dalam meminimalkan total rugi daya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada SDR dengan adanya kapasitor yang telah terpasang pada 33 bus, untuk keadaan sebelum

pemasangan DG memiliki nilai rugi-rugi daya yang besar dan masih terdapat bus yang mengalami *undervoltage*. Setelah pemasangan *single* DG pada SDR 33 bus, rugi-rugi daya menurun hingga mencapai 59 % dari 161,11 kW menjadi 66,81 kW dan dapat memperbaiki profil tegangan dari 0,93 pu menjadi 0,96 pu. Sedangkan nilai rugi-rugi daya setelah pemasangan *multi* DG pada SDR 33 bus jauh lebih menurun hingga mencapai 77 % dari 161,11 kW menjadi 35,48 kW dan dapat memperbaiki profil tegangan dari 0,93 pu menjadi 0,98 pu.

2. Pengaruh sebelum injeksi DG, SDR dengan adanya kapasitor belum mampu meminimalkan rugi-rugi daya dan masih terdapat banyak bus dalam kondisi *undervoltage*. Namun setelah pemasangan DG, besarnya kapasitas dari kapasitor dan DG berpengaruh pada tingkat reduksi PRD yang dihasilkan dan profil tegangan berada pada batasan yang diizinkan di setiap bus. Sehingga injeksi *multi* DG dan dengan ukuran kapasitor yang lebih besar di SDR lebih optimal dalam memperoleh rugi-rugi daya minimum dan profil tegangan berada pada batasannya dengan lokasi DG yang sama

VI. REFERENSI

- [1] Twaha, S. & Ramli, A. M., 2018. A Review of Optimization Approaches for Hybrid Distributed Energy Generation Systems: Off-Grid and Grid-Connected Systems. *Sustainable Cities and Society*, Volume 41, pp. 320-331.
- [2] Portal Informasi Indonesia, 2022. Portal Informasi Indonesia. [Online] Available at: <https://www.indonesia.go.id/kategori/kabar-g20/4525/g20-menajamkan-3-kunci-transisi-energi?lang=1> [Accessed 1 April 2022].
- [3] Bouchekara, H. R. E. H., Latreche, Y. & Naidu, K., 2019. Comprehensive Review Of Radial Distribution Test Systems For Power System Distribution Education and Research. *Resource-Efficient Technologies*, Volume 3, pp. 1-12.
- [4] Oda, E. S., Abdelsalam, A. A. & Abdel-Wahab, M. N., 2017. Distributed Generations Planning Using Flower Pollination Algorithm for Enhancing Distribution System Voltage Stability. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(4), pp. 593-603.
- [5] Santosa, E. P., Penangsang, O. & Aryani, N. K., 2016. Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetic Algorithm (GA). *JURNAL TEKNIK ITS*, Volume 5, pp. A160-A166.
- [6] Jesus, P. M. D. O.-D., 2020. The Standart Backward / Forward Sweep Power Flow. *Electrical & Electronic Engineering Department School of Engineering Universidad de los Andes Colombia*, pp. 1-8.
- [7] Rupa, J. M. & Ganesh, S., 2014. Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward/Forward Sweep Method. *International Journal of Electrical, Computer, Electronics and Communication Engineering*, 8(10), pp. 1540-1544.
- [8] Wicaksana, F. S., 2018. Penentuan Lokasi dan Kapasitas Distributed Generation (DG) Optimal pada Sistem Distribusi Radial Aktif Menggunakan Metode Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) Berbasis Decision Support System (DSS). Disertasi tidak diterbitkan, Surabaya, ITS.
- [9] Tamiselvan, V., Jayabarathi, T. & Raghunathan, T., 2018. Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Systems Using Flower Pollination Algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, Volume 57, pp. 2775-2786.
- [10] Ratuahaji, F., Arief, A. & Nappu, M. B., 2019. Determination of optimal location and capacity of distributed generations based on artificial bee colony. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1341(5), pp. 1-6.
- [11] Augusta, Y. A. & Pramono, W. B., 2018. Optimasi Penempatan dan Kapasitas Multi DG pada Sistem Distribusi dengan Metode Flower Pollination Algorithm (FPA). Universitas Islam Indonesia.
- [12] Moradi, M. H., Zeinalzadeh, A., Mohammadi, Y. & Abedini, M., 2014. An Efficient Hybrid Method for Solving The Optimal Siting and Sizing Problem of DG and Shunt Capacitor Banks Simultaneously Based on Imperialist Competitive Algorithm and Genetic Algorithm. *Electrical Power and Energy Systems*, Volume 54, pp. 101-111.