

PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* OPTIMAL MEMPERTIMBANGKAN REKONFIGURASI JARINGAN

Nurul Annisa Musdir
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
nurulannisamus@gmail.com

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

Muhammad Bachtiar Nappu
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia
bachtiar@eng.unhas.ac.id

Abstract--Peningkatan energi listrik dapat menyebabkan adanya peningkatan rugi-rugi daya dan penurunan tegangan pada sistem. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi di jaringan distribusi yaitu dengan penempatan *Distributed Generation* (DG). Telah banyak penelitian terkait penempatan DG optimal dan salah satu metode kecerdasan buatan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah metode algoritma penyerbukan bunga. Selain itu, rekonfigurasi jaringan dapat meningkatkan kualitas daya dengan cara mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan keandalan, kestabilan tegangan dan keseimbangan pembebanan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan posisi dan kapasitas DG optimal serta mengetahui dampak atau pengaruh dengan adanya rekonfigurasi jaringan terhadap solusi pemasangan DG pada sistem distribusi radial.

Keywords—*Distributed Generation*, algoritma penyerbukan bunga, rekonfigurasi jaringan, rugi-rugi daya, tegangan.

I. PENDAHULUAN

Secara umum sistem tenaga listrik diawali dari unit pembangkit energi listrik disalurkan melalui sistem transmisi, kemudian melalui sistem distribusi yang disalurkan kepada konsumen. Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang sangat penting dalam kehidupan manusia pada zaman ini. Faktor pertumbuhan penduduk yang terus meningkat membawa banyak pengaruh dalam kehidupan, khususnya dalam bidang energi listrik. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan permintaan energi listrik.

Peningkatan energi listrik dapat menyebabkan adanya peningkatan rugi-rugi daya dan penurunan tegangan pada sistem. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi di jaringan distribusi yaitu dengan penempatan *Distributed Generation* (DG).

Distributed Generation merupakan generator-generator yang terdistribusi (tersebar) dalam sistem tenaga listrik yang dipasang guna menginjeksikan daya aktif (P) dan/atau daya reaktif (Q) untuk memperbaiki profil tegangan, meningkatkan keandalan atau dengan

kata lain memperbaiki keadaan sistem distribusi (Chandra Lima Silalahi et al., 2017).

Telah banyak penelitian terkait penempatan DG optimal, dan banyak metode kecerdasan buatan dikembangkan untuk penempatan DG optimal. Salah satu metode kecerdasan buatan yang banyak diaplikasikan untuk menyelesaikan permasalahan dalam sistem tenaga listrik adalah metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA) atau metode algoritma penyerbukan bunga. Metode FPA digunakan karena lebih efisien dibandingkan dengan metode yang sering digunakan pada proses optimasi seperti metode *Genetic Algorithm* (GA) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Abdelaziz et al., 2016). *Flower Pollination Algorithm* merupakan algoritma yang dikembangkan oleh Xin She Yang pada tahun 2012 (X.-S. Yang, 2012), namun aplikasi algoritma ini masih sedikit digunakan dalam masalah optimasi. Berdasarkan (X.-S. Yang, 2012), algoritma ini sangat cepat dalam melakukan komputasi dan merupakan pengembangan dari algoritma cerdas sebelumnya yang juga ditemukan oleh Xin She Yang.

Pada pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah biasanya seringkali terjadi beban tidak seimbang pada fasa-fasanya atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat elektrik dari konsumen energi listrik. Jika keadaan tersebut kalau dibiarkan terus menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan kestabilan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan. Selain itu, sistem distribusi radial juga mempunyai rugi-rugi daya yang cukup besar.

Untuk meningkatkan kestabilan sistem distribusi dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi yang mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup *switch* yang terdapat pada jaringan distribusi. Rekonfigurasi jaringan dapat meningkatkan kualitas daya dengan cara mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan keandalan, kestabilan tegangan dan keseimbangan pembebanan. Tujuan utama rekonfigurasi jaringan adalah untuk meminimalkan rugi jaringan. Selain rekonfigurasi jaringan, pemasangan kapasitor juga dapat meminimalkan rugi jaringan (Shuaib et al., 2014).

II. STUDI LITERATUR

A. Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya, sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu pembangkit tenaga listrik, penyaluran tenaga listrik, dan distribusi tenaga listrik. Ketiga bagian ini tidak dapat dipisahkan karena merupakan suatu sistem yang kompleks yang bekerja untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi memiliki fungsi yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk (*distribution substation*) ke pusat-pusat beban hingga ke pelanggan. Penyaluran tenaga listrik di dalam sistem distribusi diklasifikasikan kedalam 2 bagian berdasarkan level tegangan kerjanya, yaitu (Ahmad Rusydi Akbar, 2016):

1. Sistem distribusi primer.
2. Sistem distribusi sekunder.

C. Studi Aliran Daya

Power Flow Analysis/Load Flow Analysis atau studi aliran daya merupakan cara untuk mendapatkan nilai dari beberapa variabel yang mempengaruhi kualitas suatu jaringan (A. S. Pabla, 1994).

1. Backward and Forward Sweep (BFS)

Dari sekian banyak analisis aliran daya pada sistem distribusi, metode *Backward and Forward Sweep* adalah metode yang efisien (H. S. Shateri, 2008). Dengan menggunakan metode *Backward Forward Sweep*, analisa aliran daya untuk sistem distribusi terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi (Novialifiah Rizka Winda et al., 2014).

Pada *backward sweep*, dimulai dari titik ujung terjauh dari jaringan, arus beban. Oleh karena itu arus yang mengalir pada saluran dihitung menurut asumsi atau hasil kalkulasi dari tegangan pada iterasi

sebelumnya. Setelah menghitung arus yang mengalir pada saluran, pada *forward sweep*, dimulai dari titik sumber, tegangan dari masing-masing titik bus diperbarui. Setelah *forward sweep*, kompensasi arus injeksi dihitung. Lalu kriteria konvergensi diuji.

2. Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah fungsi tujuan untuk meminimalisasi rugi-rugi daya aktif pada saluran dengan persamaan utama sebagai berikut:

$$f(x) = \min(\sum_{i=1}^N P_{Li}) \quad (1)$$

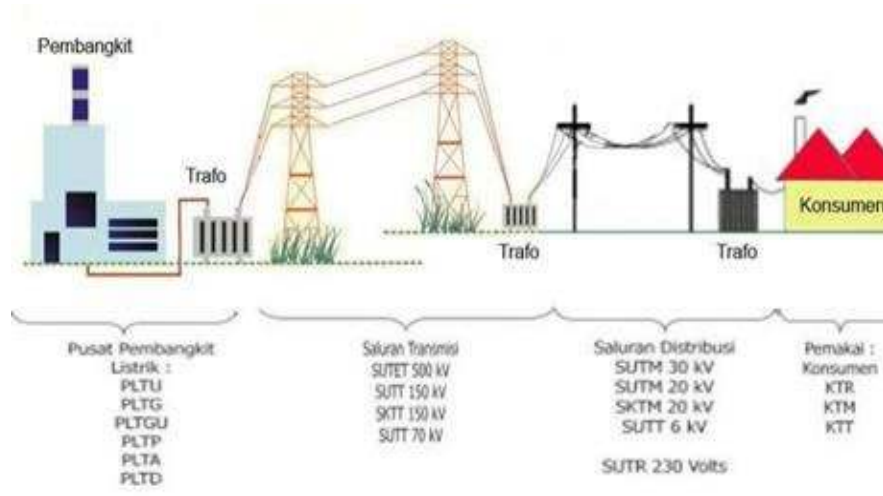
dengan N adalah jumlah saluran dan i adalah saluran.

Pendekatan pertama dilakukan dengan pendekatan analitis. Total rugi-rugi daya aktif pada sistem tenaga listrik direpresentasikan dengan persamaan di atas, atau yang populer disebut "*exact loss formula*" (H. A. Attia, 2008).

D. Metode Algoritma Penyerbukan Bunga

Metode optimasi FPA merupakan metode dengan konsep penyerbukan (polinasi) pada bunga. Inti dari proses penyerbukan bunga adalah bagaimana serbuk sari jatuh ke kepala putik. Jatuhnya serbuk sari ke kepala putik tentu dengan berbagai alasan seperti tertiuip angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Subjek yang membantu proses penyerbukan, disebut polinator. Pada metode ini tentu saja bunga yang terpilih untuk dihinggapi polinator merupakan bunga dengan penampilan terbaik, atas dasar tersebut metode FPA dijalankan (A. N. W. M.Rifki Ali & Sarijiya, 2015).

Pada metode FPA terdapat dua langkah kunci yaitu polinasi lokal dan polinasi global. Polinasi lokal adalah saat serbuk sari suatu bunga jatuh pada putik bunga itu sendiri yang disebabkan oleh komponen abiotik (angin dan hujan). Polinasi global adalah polinasi yang dilakukan oleh polinator biotik seperti serangga yang melakukan gerakan unik serangga (*Levy Flights*) dimana serbuk sari dapat jatuh pada putik di bunga lain (M. R. Djatal et al., 2017).



Gambar 1. Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Joko et al, 2013)

E. Distributed Generation (DG)

Distributed Generation merupakan generator-generator yang terdistribusi (tersebar) dalam sistem tenaga listrik yang dipasang guna menginjeksikan daya aktif (P) dan/atau daya reaktif (Q) untuk memperbaiki profil tegangan, meningkatkan keandalan atau dengan kata lain memperbaiki keadaan sistem distribusi. *Distributed generation* memiliki ukuran yang lebih kecil daripada pembangkit utama dan letaknya dalam sistem tenaga listrik yaitu lebih dekat dengan beban-beban sistem atau dengan kata lain pada jaringan distribusi (Chandra Lima Silalahi et al., 2017).

DG memiliki dua fungsi utama, yaitu: (1) merupakan unit untuk mengantisipasi terjadinya pemutusan jaringan listrik atau unit stand-by dan (2) merupakan unit penyuplai daya pada jam puncak beban atau unit puncak. Selain itu, pemasangan DG pada jaringan distribusi dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik karena DG ditempatkan dekat dengan area beban. Tabel 1 menginformasikan klasifikasi DG berdasarkan karakteristik pembangkit listrik aktif dan reaktif

Tabel 1. Klasifikasi DG berdasarkan pembangkitan daya aktif dan reaktif

Type DG	Keterangan
Tipe 1	dapat menginjeksikan daya aktif
Tipe 2	dapat menginjeksikan daya aktif dan reaktif
Tipe 3	dapat menginjeksikan daya aktif dan menyerap daya reaktif

Sumber: F Ratuahaji et al., (2019)

F. Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan (*network reconfiguration*) merupakan suatu usaha merubah bentuk konfigurasi jaringan distribusi dengan mengoperasikan pensakelaran terkontrol jarak jauh (*switching remotely controlled*) pada jaringan distribusi tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan. Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan karena dua alasan (Muhammad Fayyadl et al., 2011):

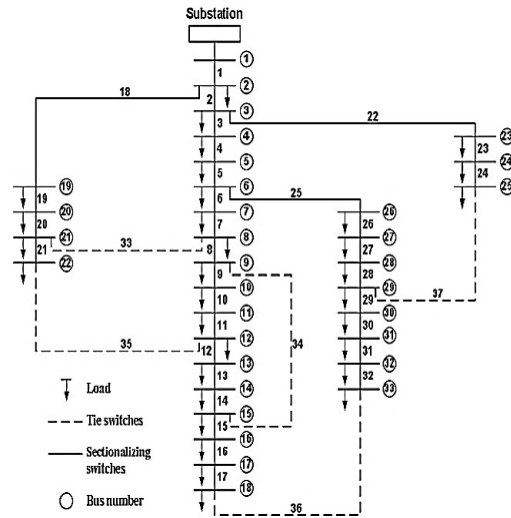
1. Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem (*loss reduction*).
2. Mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*).

Rekonfigurasi jaringan merupakan suatu usaha merubah bentuk konfigurasi jaringan distribusi dengan pemasangan switch NO (*Normally Open*) dan switch NC (*Normally Close*) pada jaringan distribusi tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan (Isnaini, 2017).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Pengambilan Data

Jenis penelitian yang dipakai dalam penelitian ini adalah studi kasus pada sistem distribusi radial. Dimana dalam penelitian yang akan diteliti yaitu penempatan DG yang optimal dengan optimasi FPA mempertimbangkan rekonfigurasi jaringan. Data penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari IEEE. Pada penelitian ini menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus (Prihadana et al., 2016)

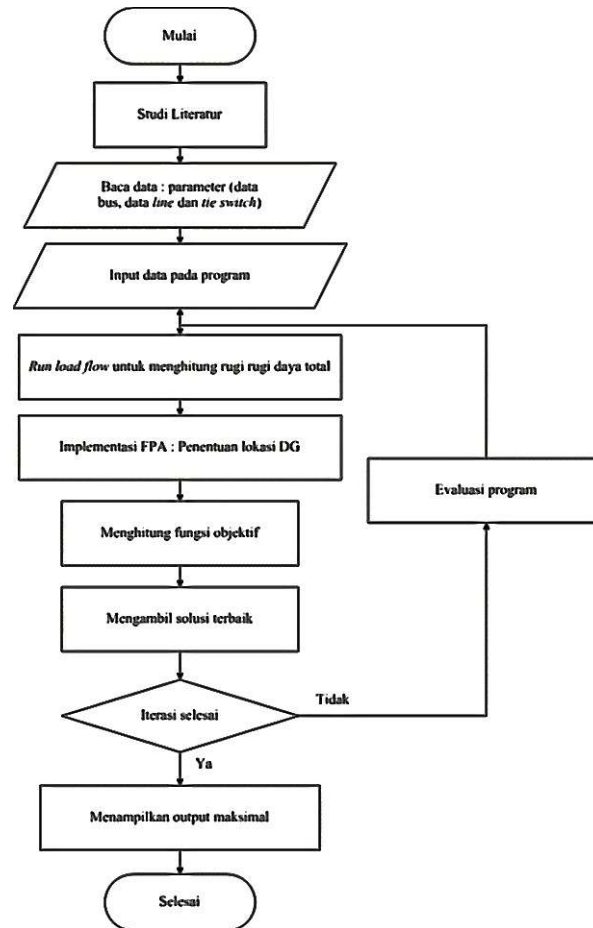
B. Diagram Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan untuk penempatan DG optimal dapat dilihat pada Gambar 3.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas mengenai hasil simulasi sistem distribusi radial IEEE 33 bus sebelum dan sesudah dilakukan optimasi dengan FPA.

Pada penelitian ini dilakukan rekonfigurasi jaringan dan pemasangan *multi* DG secara simultan. Pada simulasi ini, optimasi dilakukan secara bersamaan yaitu rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG. Solusi disini berupa menutup 2 *tie switch* dan membuka 2 *sectionalizing switch* yang tepat, serta penempatan yang terbaik dan ukuran DG yang maksimal. Pemasangan *multi* DG disini menggunakan metoda FPA.



Gambar 3. Diagram Penelitian

Perbandingan nilai rugi-rugi daya aktif dan profil tegangan setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dan penempatan *multi* DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dapat dilihat pada Tabel 2.

number 28 dan pemasangan *multi* DG pada bus 25, 32 dan 9 dengan kapasitas yang berbeda-beda setiap bus. Sehingga nilai rugi-rugi daya aktif yang didapatkan

Tabel 2. Hasil optimasi sistem distribusi IEEE 33 bus

Rekonfigurasi Jaringan + Multi DG	<i>Close Tie Switch</i>	34, 37	
	<i>Open Sectionalizing Switch</i>	14, 28	
	Penempatan dan Kapasitas DG (kW)	25	1.068,783
		32	531,492
		9	1.185,573
	Total P_{loss} (kW)	58,4451	
	Total Q_{loss} (kVAR)	40,4873	
	Tegangan Terbesar (pu)	1	
	Tegangan Terkecil (pu)	0,9807	
<i>The Worst Bus</i>	18		

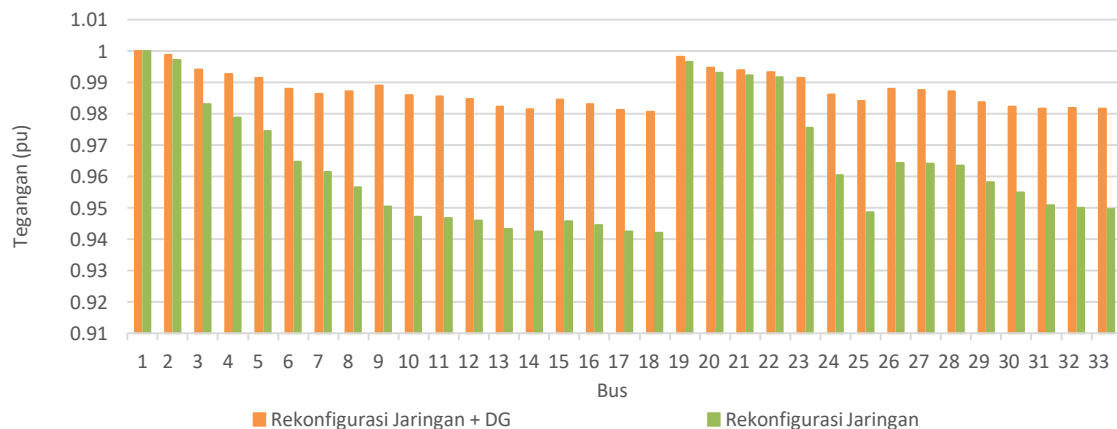
Gambar 4 memperlihatkan tegangan bus sistem setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dan pemasangan *multi* DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus. Gambar 4 merupakan profil tegangan bus setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan menutup *tie switch line number* 34 dan membuka *sectionalizing switch line number* 14 serta menutup *tie switch line number* 37 dan membuka *sectionalizing switch line*

berkurang sebesar 71% dengan peningkatan rata-rata tegangan di bus sebesar 3,3% dan peningkatan nilai tegangan tertinggi pada bus 14 sebesar 4,13% semua tegangan bus berada pada *range* yang diijinkan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penentuan posisi dan kapasitas DG optimal dengan memperhatikan rekonfigurasi jaringan dapat dilakukan dengan menggunakan metode optimasi algoritma penyerbukan bunga. Optimasi penempatan DG dilakukan hingga berapa kali iterasi mencapai nilai yang konvergen sehingga didapatkan posisi penempatan dan kapasitas DG terbaik.
2. Adapun dampak atau pengaruh dengan adanya rekonfigurasi jaringan terhadap pemasangan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus adalah penurunan rugi-rugi daya aktif setelah sistem terinterkoneksi dengan DG memperhatikan rekonfigurasi jaringan berkurang sebesar 71% pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Hal ini membuktikan bahwa dengan adanya penempatan *multi* DG memperhatikan rekonfigurasi jaringan dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif dan menaikkan profil tegangan pada sistem.



Gambar 4. Perbandingan tegangan bus sistem distribusi radial 33 bus dengan rekonfigurasi jaringan tanpa DG dan setelah penempatan *multi* DG.

REFERENSI

- Abdelaziz, A. Y., Ali, E. S., & Abd Elazim, S. M. (2016). Optimal Sizing and Locations of Capacitors in Radial Distribution Systems Via Flower Pollination Optimization Algorithm and Power Loss Index. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 610–618.
- Akbar, A. R. (2016). *Optimasi Rekonfigurasi Jaringan, Penentuan Lokasi Kapasitor Dan Distributed Generation (DG) Untuk Meminimalkan Deviasi Tegangan Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetic Algorithm (GA)*. Doctoral dissertation. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ali, M. R. (2015). *Optimasi Penempatan dan Kapasitas Distributed Generation dengan Metode Flower Pollination Algorithm*. Doctoral dissertation. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Attia, H. A. (2008). Optimal voltage profile control and losses minimization of radial distribution feeders. In *2008 12th International Middle-East Power System Conference* (pp. 453-458). IEEE.
- Chandra, L. S., Lukmanul, H., & Herri, G. (2017). Studi Optimasi Penentuan Lokasi Penempatan Distributed Generation pada Sistem Distribusi Tiga Fasa dengan Metode Binary Linear Programming (BLP). *ELECTRICIAN–Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 11: 9-20.
- Djalal, M. R., Yunus, Y., & Imran, A. (2017). Flower Pollination Algorithm Pada Pengendalian Kecepatan Motor Induksi. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 15(1).
- Fayyadl, M., Sukmadi, T., & Winardi, B. (2011). *Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Daya Listrik dengan Metode Algoritma Genetika*. Doctoral dissertation. Bandung: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip.
- Isnaini, M. (2017). *Rekonfigurasi Sistem Distribusi Untuk Mengatasi Beban Lebih Dan Meminimalkan Rugi – Rugi Pada Jaringan Distribusi Pematang Siantar*. *Jurnal Teknik Unefa*, 3.
- Joko et al. (2013). *Pusat Pembangkitan Listrik*. Erlangga. Jakarta.
- Novialifiah, R. W., Soeprijanto, A., & Wibowo, R. S. (2014). Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), B7-B11.
- Pabla A. S., (1994). *Sistem Distribusi Daya Listrik* (1st ed.). Erlangga. Jakarta.
- Prihadana, A. E., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2016). Optimasi Aliran Daya Satu Fasa Pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus IEEE dan Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Untuk Meminimasi Kerugian Daya dan Deviasi Tegangan Menggunakan Kapasitor. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), B207-B216.
- Ratuhaji, 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* (Vol. 1341, No. 5, p. 052012). IOP Publishing. Shateri, H., & Jamali, S. (2008, October). Load flow method for distribution networks with multiple source nodes. In *2008 IEEE Canada Electric Power Conference* (pp. 1-5). IEEE.
- Shuaib, Y. M., Kalavathi, M. S., & Rajan, C. C. A. (2015). Optimal capacitor placement in radial distribution system using gravitational search algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 384-397.
- Yang, X. S. (2012). Flower pollination algorithm for global optimization. In *International conference on unconventional computing and natural computation* (pp. 240-249). Springer, Berlin, Heidelberg.