

## STUDI PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* OPTIMAL MEMPERTIMBANGKAN KENAIKAN BEBAN

Meyke Rupang  
Departemen Teknik Elektro  
Universitas Hasanuddin  
Makassar, Indonesia  
[rupangm18d@student.unhas.ac.id](mailto:rupangm18d@student.unhas.ac.id)

Muhammad Bachtiar Nappu  
Departemen Teknik Elektro  
Universitas Hasanuddin  
Makassar, Indonesia  
[bachtiar@eng.unhas.ac.id](mailto:bachtiar@eng.unhas.ac.id)

Ardiaty Arief  
Departemen Teknik Elektro  
Universitas Hasanuddin  
Makassar, Indonesia  
[ardiaty@eng.unhas.ac.id](mailto:ardiaty@eng.unhas.ac.id)

**Abstract**-Jaringan distribusi sangat dipengaruhi oleh adanya peningkatan permintaan energi listrik, yang dapat menyebabkan bertambahnya rugi-rugi daya pada sistem serta penurunan tegangan bus pada sistem. Untuk mengatasi permasalahan peningkatan rugi daya pada sistem dan penurunan tegangan, maka salah satu alternatif yang bisa dilakukan yaitu penggunaan *Distributed Generation* (DG) pada sistem distribusi. Untuk mendapatkan penurunan rugi daya sebaik mungkin maka penentuan lokasi dan kapasitas DG harus dilakukan dengan optimal dengan menggunakan suatu metode optimasi. Dalam penelitian ini, metode optimasi yang digunakan adalah metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA). Penelitian ini diujikan pada sistem distribusi radial 33bus dengan standar IEEE dengan memperhatikan kenaikan beban pada sistem.

**Keywords:** sistem distribusi, *distributed generation*, *flower pollination algorithm*, rugi-rugi daya, profil tegangan.

### I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling populer dan paling penting dalam kehidupan manusia, karena dapat dengan mudah ditransformasikan menjadi bentuk energi yang lain dengan efisiensi tinggi, tetapi masih dalam batas biaya yang wajar (Saadat, 1999). Hingga saat ini, penyediaan energi listrik untuk konsumen atau pelanggan menjadi hal yang sangat penting. Penyediaan energi listrik dilakukan melalui suatu sistem yang disebut sistem tenaga listrik yang terdiri dari pembangkitan, transmisi dan distribusi (Widianto et al., 2014).

Jaringan distribusi merupakan jaringan yang paling dekat dengan konsumen, yang pada umumnya terdiri dari penyulang yang terhubung secara radial. Perkembangan jaringan distribusi sangatlah dipengaruhi oleh adanya penambahan atau peningkatan permintaan energi listrik. Hal ini dapat menyebabkan adanya peningkatan rugi-rugi daya pada sistem dan penurunan tegangan. Oleh karena itu, penggunaan *Distributed Generation* (DG) dapat menjadi salah satu solusi alternatif (Prakash & Lakshminarayana, 2016). Sehingga pada penelitian ini dilakukan optimasi penempatan DG dengan mempertimbangkan adanya penambahan beban.

*Distributed Generation* (DG) merupakan pembangkit listrik berkapasitas kecil yang ditempatkan pada jaringan distribusi listrik. DG dapat berkontribusi dalam perbaikan sistem tenaga listrik (Paleba, M.H.B., 2020). Penempatan DG harus

dilakukan dengan optimal agar didapatkan penurunan rugi-rugi daya sebaik mungkin serta perbaikan level tegangan. Oleh karena itu, diperlukan metode lanjutan untuk mengatasi permasalahan optimalisasi lokasi dan kapasitas DG (F Ratuhaaji et al, 2019).

Dalam penelitian ini, metode optimasi yang digunakan adalah Algoritma Penyebaran Bunga (*Flower Pollination Algorithm*/FPA). Metode FPA digunakan karena lebih efisien dibandingkan dengan metode yang sering digunakan pada proses optimasi seperti *backtracking search optimization algorithm*, *artificial bee colony*, dan *selection algorithm* (Oda et al., 2015) dan jaringan distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi 33 bus dengan standar IEEE. Metode FPA merupakan salah satu metode optimasi yang terinspirasi dari proses alam yaitu proses penyerbukan bunga (Prasetya et al., 2019).

### II. TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Sistem Distribusi

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling populer dan paling penting dalam kehidupan manusia, karena dapat dengan mudah ditransformasikan menjadi bentuk energi yang lain dengan efisiensi tinggi, tetapi masih dalam batas biaya yang wajar. Suatu sistem tenaga listrik dapat dibagi lagi menjadi empat bagian utama yaitu pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban (Saadat, 1999).

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel (Syahputra, 2017). Sistem distribusi adalah sistem yang penyaluran daya listriknya langsung terhubung dengan beban atau langsung ke pelanggan. Sistem distribusi menyalurkan daya listrik dari gardu induk transmisi langsung menuju ke tiap-tiap titik beban. Adapun karakteristik dari sistem distribusi adalah strukturnya radial, memiliki nilai R/X tinggi dan sistem kompleks (Shateri & Jamali, 2008). Sistem distribusi radial mengalami rugi-rugi daya yang tinggi karena memiliki rasio perbandingan nilairesistansi dan reaktansi yang tinggi (Kayalm, Partha & Chanda C.K., 2013). Dapat dilihat pada karakteristik sistem jaringan distribusi diatas menunjukkan bahwa karakteristik saluran distribusi khusus dan berbeda dari saluran transmisi, maka diperlukan studi aliran daya yang tepat yang akan digunakan untuk menganalisa sistem ditribusi. Maka untuk menganalisa aliran daya pada saluran distribusi diperlukan metode yang tepat dan valid. (Novialifiah et al., 2014).

**B. Backward and Forward Sweep**

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode aliran daya *Backward and Forward Sweep* (BFS) karena lebih efektif dalam metode komputasi dengan jumlah bus dan cabang yang banyak. BFS merupakan metode komputasi iteratif untuk menyelesaikan persoalan aliran daya pada sistem distribusi radial. Metode ini digunakan karena metode komputasi aliran daya lainnya kurang efisien pada sistem distribusi radial (Rupa & Ganesh, 2014).

Metode BFS ini menggunakan prinsip kerja dari Hukum Kirchoff untuk melakukan perhitungan arus. Prinsip kerja dari metode BFS ini adalah pertama melakukan *backward sweep* dengan cara menghitung besarnya arus yang mengalir pada saluran mulai dari bus yang paling akhir hingga bus paling awal. Setelah itu, melakukan *forward sweep* dengan mengalikan nilai arus yang telah didapat sebelumnya dengan impedansi tiap-tiap saluran sehingga didapat besarnya drop tegangan (*drop voltage*) pada tiap-tiap bus (Wicaksana, 2018).

**C. Distributed Generation**

DG dapat dikategorikan menjadi empat jenis berdasarkan kemampuan mengirimkan daya aktif atau daya reaktif, yakni (Awansah et al., 2018):

- a) Tipe 1: DG yang mampu menginjeksi hanya daya aktif saja. Contohnya: sel surya dan *Fuel Cell*.
- b) Tipe 2: DG yang mampu menginjeksi hanya daya reaktif saja. Contohnya: kompensator sinkron gas turbin.
- c) Tipe 3: DG yang mampu menginjeksikan baik daya aktif maupun daya reaktif. Contohnya: generator sinkron.
- d) Tipe 4: DG yang mampu menginjeksikan daya aktif tetapi membutuhkan daya reaktif. Contohnya: generator induksi.

*Distributed generation* (DG) dapat diklasifikasikan atau dikelompokkan berdasarkan kapasitas pembangkitan, yaitu sebagai berikut (Santosa, 2016):

Jenis DG Kapasitas pembangkitan	
<i>Mikro</i> DG	1 Watt – 5 kW
<i>Small</i> DG	5 kW – 5 MW
<i>Medium</i> DG	5 MW – 50 MW
<i>Large</i> DG	5 MW – 300 MW

**D. Flower Pollination Algorithm (FPA)**

Metode optimasi FPA merupakan metode optimasi dengan meniru konsep penyerbukan (polinasi) pada bunga (Reddy P.D.P, et al, 2016). Inti dari proses penyerbukan bunga adalah bagaimana serbuk sari jatuh ke kepala putik. Jatuhnya serbuk sari ke kepala putik tentu dengan berbagai alasan seperti tertiuap angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Subjek yang membantu proses penyerbukan, disebut polinator. Pada metode ini tentu saja bunga yang terpilih untuk dihindangi polinator merupakan bunga dengan penampilan terbaik, atas dasar tersebut metode FPA dijalankan (Augusta, 2018).

Pada metode FPA terdapat dua langkah kunci yaitu polinasi lokal dan polinasi global (Xin-She Yang, 2012). 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. Pada polinasi global serbuk sari dapat dengan jauh dibawa oleh polinator, hal tersebut untuk memastikan suatu solusi dengan hasil terbaik, solusi terbaik (*fitness*) di representasikan dengan  $g$ . Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L (g_i - x_i^t) \tag{1}$$

Dimana:

$x_i^t$  = serbuk sari  $i$  atau solusi vektor  $x_i$  pada iterasi ke- $t$

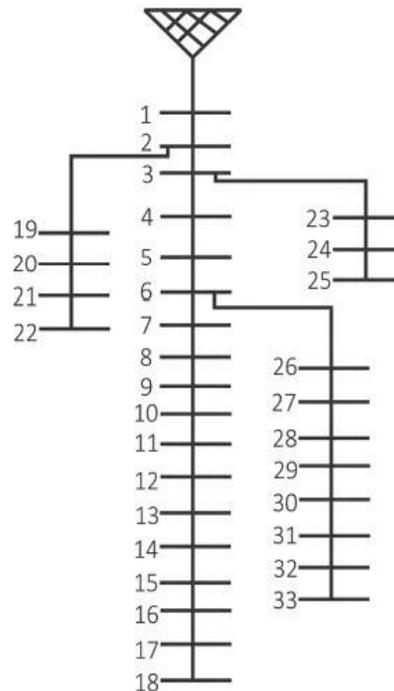
$L$  = persamaan jarak terbang serangga (polinator)

**III. METODOLOGI PENELITIAN**

**A. Teknik Pengumpulan Data**

Jenis penelitian ini adalah studi kasus jaringan distribusi dalam sistem tenaga listrik, dimana yang akan diteliti yaitu penambahan DG yang optimal. Data penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari IEEE. Adapun data yang akan dikumpulkan yaitu beban daya aktif, beban daya reaktif, impedansi, dan reaktansi pada tiap bus pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus.

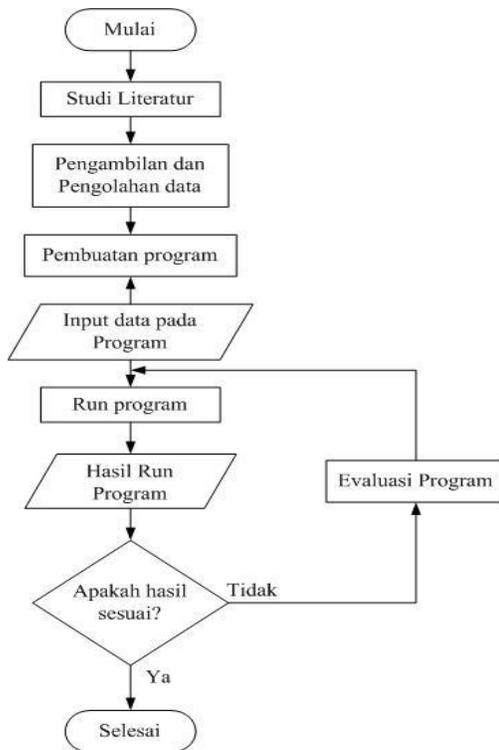
Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi untuk mendapatkan lokasi dan kapasitas DG optimal pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dengan kenaikan beban baik daya aktif maupun daya reaktif sebesar 20% pada setiap bus. Gambar 1 memperlihatkan diagram satu garis Sistem Distribusi Radial IEEE 33 bus.



Gambar 1. *Single line diagram* Sistem Distribusi Radial 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 sistem distribusi IEEE 33 bus, dimana pada setiap bus terjadikenaikan beban baik daya aktif maupun daya reaktif sebesar 20% dari beban awalnya.

Setelah melakukan simulasi optimasi penempatan DG, didapatkan posisi penempatan dan kapasitas DG terbaik seperti yang diperlihatkan oleh Tabel 1.

Setelah dilakukan simulasi aliran daya (power flow) pada sistem yang telah pasangkan DG sesuai dengan letak dan kapasitas optimal diatas maka didapatkan hasil berupa total rugi-rugi daya aktif, rugi daya reaktif dan profil tegangan pada setiap bus. Perbandingan nilai rugi-rugi daya aktif ( $P_{loss}$ ), rugi- rugi daya reaktif ( $Q_{loss}$ ) dapat dilihat pada Tabel 2 dan profil tegangan pada sistem sebelum dan setelah penempatan DG dapat dilihat pada Gambar 4.

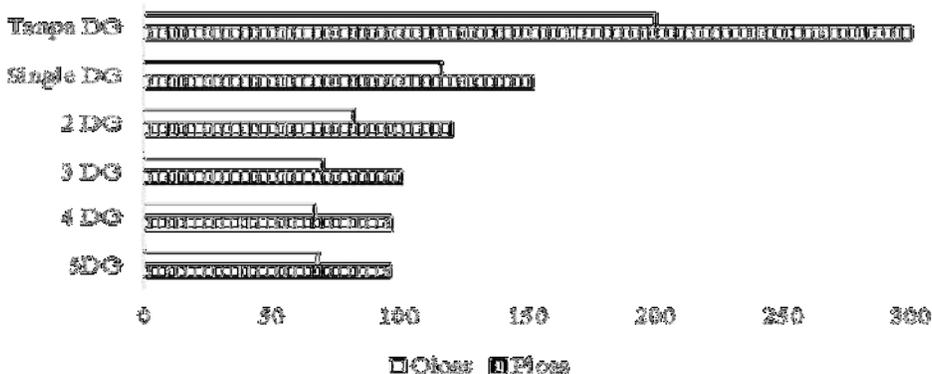
Tabel 1. Lokasi dan kapasitas DG optimal

DG	Bus letak DG	Kapasitas DG (kW)
Single DG	7	3275,794
2 DG	30	1449
	13	1024,499
3 DG	13	920,598
	24	1240,338
	30	1234,529
4 DG	24	1309,415
	31	934,286
	8	649,755
	13	920,962
5 DG	7	1046,879
	15	692,101
	33	922,666
	2	1122,161
	25	779,825

Tabel 2. Hasil optimasi penempatan DG

	$P_{loss}$ (kW)	$Q_{loss}$ (kVAR)	Tegangan minimum
Tanpa DG	299,950	200,145	0,894 di bus 18
Single DG	151,760	116,221	0,95 di bus 18
2 DG	119,927	82,270	0,9691 di bus 33
3 DG	100,96	69,812	0,9648 di bus 33
4 DG	97,072	66,590	0,9707 di bus 30
5 DG	96,141	67,688	0,9714 di bus 30

Dari hasil optimasi penempatan DG pada skenario ini, dapat dilihat pada Gambar 3 didapatkan bahwa optimasi penempatan 3 DG merupakan penempatan DG yang paling optimal karena hasil rugi-rugi daya baik rugi daya aktif maupun rugi daya reaktif pada optimasi penempatan 4 dan 5 DG hanya memiliki selisih kecil dengan optimasi penempatan 3 DG. Penurunan rugi-rugi daya pada saat penempatan 3 DG optimal sudah konstan terhadap penempatan 4 dan 5DG optimal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan 3 DG optimal merupakan penggunaan *multi* DG yang paling optimal. Gambar 4 memperlihatkan profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG. Penggunaan multi DG (3DG) optimal lebih efektif dalam menurunkan rugi- rugi daya serta memperbaiki profil tegangan dibandingkan penggunaan *single* DG. Hal ini disebabkan karena pada penggunaan multi DG, arus yang mengalir dari tiap DG tidak terlalu besar dibandingkan pada penggunaan *single* sehingga jatuh tegangan pada saluran berkurang. Semakin kecil jatuh tegangan pada saluran maka tegangan dibus akan semakin meningkat dan rugi-rugi daya akan semakin menurun.



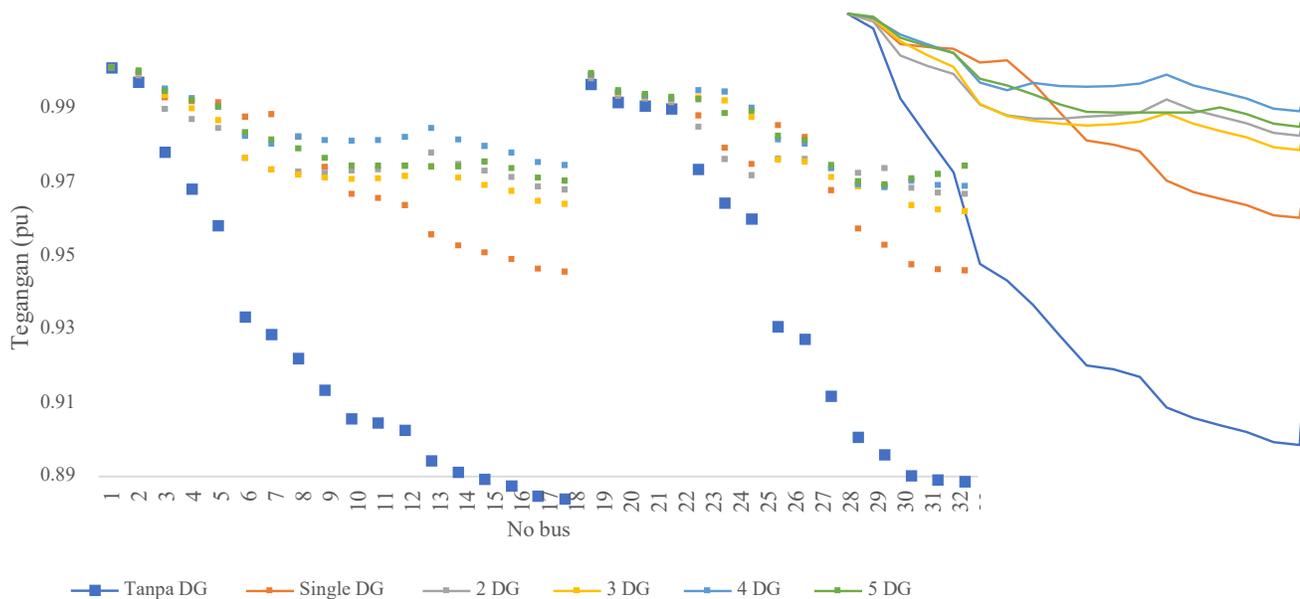
Gambar 3. Rugi-rugi daya

Berdasarkan profil tegangan pada setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG optimal pada Gambar 4 didapatkan bahwa penempatan DG optimal dapat digunakan untuk memperbaiki profil tegangan pada sistem sehingga berada pada batasan yang diizinkan (0,95-1,05 pu). Sebelum adanya penempatan DG optimal pada sistem terdapat beberapa bus yang mengalami *undervoltage* (dibawah 0.95 pu), sedangkan setelah penempatan DG baik *single* maupun *multi* DG semua tegangan pada setiap bus telah berada dalam batasan yang diizinkan.

### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Penentuan posisi dan kapasitas optimal DG baik *single* maupun *multi* DG pada sistem distribusi radial dengan memperhatikan adanya kenaikan beban dapat dilakukan dengan menggunakan metode Algoritma Penyerbukan Bunga.
2. Pemasangan DG optimal pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus terbukti dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif sebesar 49% untuk penempatan *single* DG dan 66% untuk penempatan *multi* DG. Serta memperbaiki profil tegangan pada sistem sehingga didapatkan tegangan yang sudah berada pada batasan yang diizinkan.



Gambar 4. Profil tegangan sebelum dan setelah penempatan DG optimal

## REFERENSI

- Augusta, Y. A., & Pramono, W. B. 2018. Optimasi Penempatan dan Kapasitas Multi DG pada Sistem Distribusi dengan Metode Flower Pollination Algorithm (FPA). In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL ENERGI & TEKNOLOGI (SINERGI)* (pp. 17-24).
- Awansah, A., Zebua, O., & Gusmedi, H. 2018. Penentuan Kapasitas dan Lokasi Optimal dari Pembangkit Tersebar pada Jaringan Distribusi Penyulang Nila di Gardu Induk Metro. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 153-160.
- F Ratuahaji, A Arief, & M B Nappu. Determination of optimal location and capacity of distributed generations based on artificial bee colony. In *Journal of Physics: Conference Series 1341 052012*
- Kayalm, Partha & Chanda C.K., 2013, Placement of wind and solar based DGs in distribution system for power loss minimization and voltage stability improvement in *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 795-809.
- Luthfi, N. I., Yuningtyastuti, Y., & Handoko, S. 2013. Optimasi Penempatan Distributed Generation Pada IEEE 30 Bus System Menggunakan Bee Colony Algorithm. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 2(3), 757-763.
- 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.
- Oda, E. S., Abdelsalam, A. A., Abdel-Wahab, M. N., & El-Saadawi, M. M. 2017. Distributed generations planning using flower pollination algorithm for enhancing distribution system voltage stability. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(4), 593-603.
- P, D., Reddy, V.C., & Manohar, T.G., 2016. Application of flower pollination algorithm for optimal placement and sizing of distributed generation in Distribution systems. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 3, 14-22.
- Paleba, M.H.B., Putranto, L.M., Hadi, S.P., 2020. Optimal Placement and Sizing Distributed Wind Generation Using Particle Swarm Optimization in Distribution System, in: *ICITEE 2020 - Proceedings of the 12th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 239-244.
- Prakash, D. B., & Lakshminarayana, C. 2016. Multiple DG placements in distribution system for power loss reduction using PSO algorithm. *Procedia technology*, 25, 785-792.
- Prasetyo, T., Sarjiya, S., & Putranto, L. M. 2019. Optimal sizing and siting of PV-based distributed generation for losses minimization of distribution using flower pollination algorithm. In *2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 779-783). IEEE.
- 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), 1540-1544.
- Saadat, H. 1999. *Power system analysis*. McGraw-Hill : Inc. New York.
- Santosa, E. P. 2016. *Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor Dan Distributed Generation (DG) Dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetik Algorithm (GA)*, Disertasi tidak diterbitkan, Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Shateri, H., & Jamali, S. 2008. Load flow method for distribution networks with multiple source nodes. In *2008 IEEE Canada Electric Power Conference* (pp. 1-5). IEEE.
- Syahputra, R. 2016. *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. LP3M UMY, Yogyakarta.
- 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, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Widianto, F., Supardi, A., & Budiman, A. 2014. Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fase Pada Sistem Distribusi Standar IEEE 13 Bus Dengan Menggunakan Program ETAP Power Station 7.0. *Jurnal Emitor*, Vol. 14.
- X.-S. Yang, 2012, "Flower Pollination Algorithm for Global Optimization" *Unconv. Comput. Nat. Comput. 2012, Lect. Notes Comput. Sci.*, vol. 7445, pp. 240-249.