

SKRIPSI

**APLIKASI METODE *FLOWER POLLINATION ALGORITHM*
(FPA) PADA PENENTUAN LOKASI OPTIMAL *DISTRIBUTED*
GENERATION TIPE GENERATOR INDUKSI DAN
PERALATAN KOMPENSASI DAYA REAKTIF**

Disusun dan diajukan oleh:

**ARJUN
D041 19 1052**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

APLIKASI METODE *FLOWER POLLINATION ALGORITM* (FPA) PADA PENENTUAN LOKASI OPTIMAL *DISTRIBUTED* *GENERATION* TIPE GENERATOR INDUKSI DAN PERALATAN KOMPENSASI DAYA REAKTIF

Disusun dan diajukan oleh

Arjun

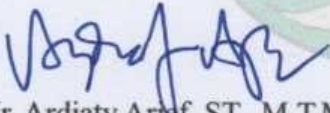
D041191052

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 1 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Ir. Ardiaty Arif, ST., M.T.M., Ph.D
NIP 197804242001122001


Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D
NIP 197604062003121002

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. IPM
NIP 19691026 199412 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arjun
NIM : D041191052
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**APLIKASI METODE *FLOWER POLLINATION ALGORITM* (FPA) PADA
PENENTUAN LOKASI OPTIMAL *DISTRIBUTED GENERATION* TIPE
GENERATOR INDUKSI DAN PERALATAN KOMPENSASI DAYA
REAKTIF**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 Maret 2024

Yang Menyatakan



Arjun



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

ARJUN. *Aplikasi Metode Flower Pollination Algorithm (FPA) Pada Penentuan Lokasi Optimal Distributed Generation Tipe Generator Induksi dan Peralatan Kompensasi Daya* (dibimbing oleh Ardiaty Arief dan Muhammad Bachtiar Nappu)

Pembangkit terdistribusi (DG) telah digunakan di beberapa jaringan tenaga listrik. Pengurangan rugi-rugi daya, ramah lingkungan, peningkatan tegangan, dan peningkatan keandalan adalah beberapa keuntungan dari penerapan unit DG. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan posisi dan kapasitas optimal DG tipe generator induksi serta mengetahui dampak atau pengaruh dengan adanya penambahan peralatan kompensasi daya reaktif terhadap solusi penempatan DG tipe generator induksi pada sistem distribusi radial. Jenis penelitian ini adalah studi kasus pada sistem distribusi radial dimana yang akan diteliti yaitu penempatan DG tipe generator induksi optimal dengan optimasi *Flower Pollination Algorithm* mempertimbangkan peralatan kompensasi daya reaktif menggunakan *software* matlab. Hasil simulasi menunjukkan bahwa setelah penempatan *single* DG dan *multi* DG, nilai rugi-rugi daya aktif mengalami peningkatan hingga 8% dan 11% pada sistem distribusi radial 33 bus dengan masih ada beberapa bus yang mengalami *undervoltage* untuk penempatan *single* DG. Kemudian pada sistem distribusi radial 69 bus mengalami peningkatan rugi daya aktif hingga 45% dan 47% untuk penempatan *single* DG dan *multi* DG dengan tidak ada bus yang mengalami *undervoltage*. Kemudian setelah penambahan kapasitor, rugi-rugi daya mengalami penurunan dan tidak ada lagi bus yang mengalami *undervoltage* pada sistem distribusi radial 33 bus maupun 69 bus. Dari hasil optimasi dapat disimpulkan bahwa penempatan DG tipe generator induksi dengan penambahan kapasitor dapat memperbaiki profil tegangan dan meminimalkan rugi-rugi daya.

Kata kunci : Distributed Generation, flower pollination algorithm, rugi-rugi daya, tegangan, kapasitor



ABSTRACT

ARJUN. *Application of Flower Pollination Algorithm (FPA) Method in Determining the Optimal Location of Distributed Generation with Induction Generator Type and Power Compensation Equipment* (Supervised by Ardiaty Arief dan Muhammad Bachtiar Nappu)

Distributed generation (DG) has been used in several power grids. Reduced power losses, environmental friendliness, increased voltage, and improved reliability are some of the advantages of implementing DG units. This study aims to determine the optimal position and capacity of induction generator type DG unit and determine the impact or influence of the addition of reactive power compensation equipment on the solution to the placement of induction generator type DG unit in radial distribution systems. This type of research is a case study on a radial distribution system where what will be studied is the optimal placement of induction generator type DG with Flower Pollination Algorithm optimization considering reactive power compensation equipment using Matlab software. The simulation results show that after the placement of single DG and multi DG, the value of active power losses has increased to 8% and 11% in the 33 bus radial distribution system with some buses still experiencing undervoltage for single DG placement. Then the 69-bus radial distribution system experienced an increase in active power losses of up to 45% and 47% for single DG and multi DG placements with no buses experiencing undervoltage. Then after the addition of capacitors, power losses decreased and there were no more buses experiencing undervoltage in the 33-bus and 69-bus radial distribution systems. From the optimization results it can be concluded that the placement of induction generator type DG unit with the addition of capacitors can improve the voltage profile and minimize power losses.

Keywords: Distributed Generation, flower pollination algorithm, power loss, voltage, capacitor



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah, puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Aplikasi Metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA) pada Penentuan Lokasi Optimal *Distributed Generation* (DG) tipe Generator Induksi dan Peralatan Kompensasi Daya Reaktif”. Salawat serta salam senantiasa tercurah atas junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW yang telah membawa ummat manusia dari alam kegelapan menuju alam yang terang benderang.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Pendidikan Strata (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis tentu sadar bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan disebabkan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Maka dari itu, dalam sadar dan rasa hormat penulis memohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi dalam proses penulisan dan penyusunan skripsi ini, serta dengan senang hati menerima apabila ada kritik, koreksi, maupun saran yang sifatnya membangun bagi peneliti guna lebih menyempurnakan karya ke depannya.

Selama melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan pengalaman, bantuan, dukungan serta bimbingan baik dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ibu Daya dan Bapak Habir yang menjadi kekuatan terbesar bagi penulis, terima kasih telah memberikan segenap cinta dan kasih sayang serta doa yang tak pernah putus. Kedua kakak tersayang serta keluarga yang tak henti-hentinya menyemangati penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Ibu Prof. Ir. Ardiaty Arief, S.T., MTM., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Prof. Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, ide, dan saran dalam penulisan skripsi ini.



3. Bapak Ir. Tajuddin Waris, MT. selaku Dosen Penguji I dan Ibu Dr. Ir. Hasniaty A., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk menguji penulis serta memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak/Ibu Dosen dan seluruh staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu maupun pengalaman yang membantu dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.
5. Regita Pramestia N. M. N. yang selalu memberikan semangat penulis terima kasih atas dukungannya, selalu berusaha untuk memberikan penulis keyakinan untuk terus maju, yang selalu mengatakan cepat lulus jangan malas, dan selalu menemani disaat membutuhkan bantuan apapun.
6. FSD1 (hilman, tory, fatwa, akrum, iyal, fadli, icha, tiara, nunung, dilla, imma, anggri, cimma, wiwi, elsa, cindy, dan widi) yang selalu ada memberikan dorongan agar tidak tertinggal dengan yang lainnya.
7. TIM 2023ZT (didin, aulia, ayu, Rahmat, dan yusril) teman seperjuangan Riset *Group Power and Energy System* dan *Power System and Electricity Market* yang selalu membantu. Terima kasih atas diskusi, kritik, saran, serta dukungan moral yang diberikan dalam perjalanan penelitian ini.
8. TIM KELOMPOK BELAJAR (Aulia, pati, dede, wanda, tria, isnun, dan ayu) yang selalu memberikan hiburan, kesulitan, dan motivasi untuk terus bersaing hingga mampu sampai pada titik ini,
9. TR19GER atas kebersamaan, kerjasama, pengalaman, serta motivasinya selama masa perkuliahan hingga saat ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata Penulis berharap penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, bagi pengembangan ilmu pengetahuan selanjutnya, serta bagi penulis itu sendiri.

Gowa, 14 Maret 2024

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sistem Tenaga Listrik	7
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.3 <i>Distributed Generation</i> (DG)	9
2.4 Generator Induksi.....	10
2.5 Analisis Aliran daya.....	12
2.6 <i>Backward and Forward Sweep</i> (BFS)	13
2.7 Fungsi Objektif dan Fungsi Kendala	18
2.7.1 Fungsi Objektif.....	18
2.7.2 Fungsi Kendala.....	20
2.8 <i>Flower Pollination Algorithm</i> (FPA).....	21
2.9 State Of The Art Penelitian	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Judul Penelitian	31
3.2 Lokasi Penelitian.....	31
3.3 Waktu Penelitian	31
3.4 Sumber dan Bahan Penelitian.....	31
3.5 Cara Pengambilan Data	32



3.6 Diagram Alir.....	39
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Uji skenario.....	43
4.1.1 Skenario 1.....	43
4.1.1.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus.....	44
4.1.1.2 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus.....	45
4.1.2 Skenario 2.....	46
4.1.2.1 Sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	46
4.1.2.2 Sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	54
4.1.3 Skenario 3.....	60
4.1.3.1 Sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	60
4.1.3.2 Sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	68
4.1.4 Skenario 4.....	76
4.1.4.1 Penempatan kapasitor pada sistem setelah penempatan <i>single</i> DG.....	77
4.1.4.2 Penempatam kapasitor pada sistem setelah penempatan <i>multi</i> DG	90
4.2 Validasi hasil.....	104
4.2.1 Sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	105
4.2.2 Sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	110
4.3 Perbandingan Penempatan DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan IEEE 69 bus.....	116
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	121
5.1 Kesimpulan.....	121
5.2 Saran.....	122
DAFTAR PUSTAKA	124



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Diagram satu garis sistem distribusi.....	8
Gambar 2	Sistem distribusi radial.....	15
Gambar 3	Contoh hubungan 2 bus pada sistem distribusi	16
Gambar 4	<i>Single line diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 33 bus	32
Gambar 5	<i>Single line diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 69 bus	34
Gambar 6	Diagram penelitian.....	39
Gambar 7	Diagram metode optimasi flower pollination algorithm.....	41
Gambar 8	Grafik tegangan tiap bus sebelum optimasi pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	44
Gambar 9	Grafik tegangan tiap bus sebelum optimasi pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	45
Gambar 10	Grafik tegangan tiap bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	49
Gambar 11	Perbandingan rugi daya aktif sebelum dan setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	51
Gambar 12	Perbandingan rugi daya reaktif sebelum dan setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	51
Gambar 13	Grafik perbandingan tegangan tiap bus sebelum dan setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	53
Gambar 14	Grafik tegangan tiap bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	56
Gambar 15	Perbandingan rugi daya reaktif sebelum dan setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	58
Gambar 16	Perbandingan rugi daya aktif sebelum dan etelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	58
Gambar 17	Grafik perbandingan tegangan tiap bus sebelum dan setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	59
Gambar 18	Grafik tegangan tiap bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	64
Gambar 19	perbandingan rugi daya reaktif sebelum dan setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	66
Gambar 20	perbandingan rugi daya aktif sebelum dan setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	66
Gambar 21	Grafik perbandingan tegangan tiap bus sebelum dan setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	67
Gambar 22	Grafik tegangan tiap bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	72
3	Perbandingan rugi daya reaktif sebelum dan setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	74
4	Perbandingan rugi daya aktif sebelum dan setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	74



Gambar 25	Grafik perbandingan tegangan tiap bus sebelum dan setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	75
Gambar 26	Perbandingan rugi daya aktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4.....	79
Gambar 27	Perbandingan rugi daya reaktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4.....	80
Gambar 28	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,95 (lagg).....	81
Gambar 29	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,90 (lagg).....	82
Gambar 30	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,85 (lagg).....	83
Gambar 31	Perbandingan rugi daya aktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>single</i> DG	85
Gambar 32	Perbandingan rugi daya reaktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>single</i> DG	86
Gambar 33	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,95 (lagg).....	87
Gambar 34	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,90 (lagg).....	88
Gambar 35	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,85 (lagg).....	89
Gambar 36	Perbandingan rugi daya aktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG.....	92
Gambar 37	Perbandingan rugi daya reaktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG.....	93
Gambar 38	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,95 (lagg).....	94
9	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,90 (lagg).....	95



Gambar 40	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,85 (lagg)	96
Gambar 42	Perbandingan rugi daya reaktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG	99
Gambar 41	Perbandingan rugi daya aktif setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG	99
Gambar 43	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,95 (lagg)	101
Gambar 44	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,90 (lagg)	102
Gambar 45	Tegangan tiap bus setelah penambahan <i>single</i> kapasitor menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan <i>multi</i> DG tipe 4 dengan faktor daya 0,85 (lagg)	103



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Istilah dalam Metode FPA.....	23
Tabel 2	State of the art.....	25
Tabel 3	Data bus sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	32
Tabel 4	Data line sistem distribusi radial IEEE 33 bus	33
Tabel 5	Data bus sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	34
Tabel 6	Data line sistem distribusi radial IEEE 69 Bus	36
Tabel 7	Hasil simulasi aliran daya sistem distribusi radial IEEE 33 bus sebelum optimasi	44
Tabel 8	Hasil simulasi aliran daya sistem distribusi radial IEEE 69 bus sebelum optimasi	45
Tabel 9	Hasil optimasi penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	46
Tabel 10	Hasil optimasi terbaik setelah penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	47
Tabel 11	Hasil simulasi aliran daya sebelum dan setelah penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	50
Tabel 12	Hasil optimasi penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	54
Tabel 13	Hasil optimasi terbaik setelah penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	55
Tabel 14	Hasil simulasi aliran daya sebelum dan setelah penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	57
Tabel 15	Hasil optimasi penempatan multi DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	61
Tabel 16	Hasil optimasi terbaik setelah penempatan multi DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	63
Tabel 17	Hasil simulasi aliran daya sebelum dan setelah penempatan multi DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	65
Tabel 18	Hasil optimasi penempatan multi DG tipe 4 pada sistem distribusi radial 69 bus	69
Tabel 19	Hasil optimasi terbaik setelah penempatan multi DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	71
Tabel 20	Hasil simulasi aliran daya sebelum dan setelah penempatan multi DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	73
Tabel 21	Hasil perbandingan optimasi aliran daya dengan penambahan single kapasitor dengan menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan single DG tipe 4.....	78
Tabel 22	Hasil perbandingan optimasi aliran daya dengan penambahan single kapasitor dengan menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan single DG tipe 4	84
Tabel 23	Hasil perbandingan optimasi aliran daya dengan penambahan multi kapasitor dengan menggunakan metode FPA dan GA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus setelah penempatan multi DG tipe 4.....	91
	Hasil perbandingan optimasi aliran daya dengan penambahan single kapasitor dengan menggunakan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus setelah penempatan multi DG tipe 4	98
	Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	105



Tabel 26 Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 4 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	107
Tabel 27 Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 4 pada sistem distribusi radial 69 bus.....	110
Tabel 28 Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 4 pada sistem distribusi radial 69 bus.....	113
Tabel 29 Perbandingan rugi daya dari seluruh skenario pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	116
Tabel 30 Perbandingan tegangan dari seluruh skenario pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	117
Tabel 31 Perbandingan rugi daya dari seluruh skenario pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	118
Tabel 32 Perbandingan tegangan dari seluruh skenario pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	119



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara sederhana sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang menyediakan tenaga listrik yang terdiri dari sekumpulan pembangkit dan gardu induk yang terhubung satu sama lain oleh jaringan transmisi dengan pusat beban atau jaringan distribusi. Dalam sistem tenaga listrik memiliki banyak permasalahan, salah satunya yaitu mengenai permasalahan energi. Meningkatnya kebutuhan beban pada sistem tenaga listrik serta kurangnya kemampuan generator yang tersambung ke jaringan untuk memenuhi kebutuhan beban dapat membuat keandalan sistem berkurang, buruknya tegangan dari sistem, hingga akibat terburuk yaitu lepasnya generator – generator dari sistem secara paksa yang membuat sistem kehilangan pasokan listrik secara keseluruhan (*blackout*). Kondisi ini sangat dihindari, baik dari sisi pelanggan ataupun dari sisi produsen penyedia tenaga listrik. Dari sisi pelanggan sendiri, buruknya keadaan sistem dapat menyebabkan rusaknya peralatan elektronik akibat terjadinya jatuh tegangan (*drop voltage*) dan dari sisi penyedia tenaga listrik, buruknya sistem mengakibatkan kerugian - kerugian yang cukup signifikan (Lima Silalahi et al., 2017).

Salah satu solusi terbaik dengan melakukan pembangunan pembangkit yang terdistribusi (*distributed generation*). DG umumnya berupa generator dengan skala kecil yang memproduksi listrik di dekat pelanggan dan terhubung pada sistem distribusi (Chalapathi, Agrawal, Murty, & Kumar, 2015). DG merupakan pembangkitan tenaga listrik yang peletaknya tersebar disekitar beban dan mempunyai daya keluaran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional (Amanullah, 2016). Dengan letaknya yang berada disekitar beban maka dapat mengurangi kerugian akibat proses pengiriman yang disebabkan oleh rugi – rugi hambatan pada penghantar. Selain itu, nilai kapasitas yang lebih kecil juga mampu mengatasi solusi dari mahalnya biaya investasi untuk meningkatkan kapasitas generator utama. DG sendiri dibagi menjadi empat tipe, tipe 1 merupakan jenis DG yang hanya mampu menyuplai daya aktif ke busbar, contohnya *solar photovoltaic* dan *fuel cell*. Tipe 2 merupakan jenis DG



yang hanya mampu menginjeksikan daya reaktif ke sistem. Contohnya *Static Synchronous Compensator*, kapasitor, dan lain-lain. Tipe 3 merupakan jenis DG yang membangkitkan daya aktif dan daya reaktif ke sistem. Contohnya generator sinkron. Dan terakhir tipe 4 merupakan jenis DG yang dapat menginjeksikan daya aktif ke sistem namun menyerap daya reaktif dari sistem (Salam et al., 2023).

Indonesia memiliki potensi besar dienergi baru terbarukan, dimana generator induksi banyak digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga alternatif (energi terbarukan) ini. Contohnya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang sumber energi tersebut bersifat tidak konstan dan bergantung pada keadaan alam. Hal ini membuat generator induksi cocok untuk diaplikasikan pada jenis pembangkit tersebut, yang mana kemampuannya dapat bekerja dengan kecepatan rendah dan berubah-ubah, asalkan kecepatan turbin lebih besar daripada kecepatan sinkronnya maka tegangan nominal tetap dapat dibangkitkan (Suprihardi et al., 2016).

Pada generator induksi, dibutuhkan sumber input mekanik dan sumber daya reaktif agar generator dapat dioperasikan. Besarnya daya reaktif yang dibutuhkan bervariasi, bergantung pada perubahan beban dan input mekaniknya. Sumber daya reaktif ini bisa diperoleh dari sistem tenaga listrik maupun dari kapasitor. Saat generator induksi pada pembangkit terhubung atau terinterkoneksi ke sistem tenaga (*grid*), daya reaktif diserap dari sistem tenaga tersebut. Hal ini akan menyebabkan turunnya faktor daya pada sistem tenaga. Turunnya faktor daya akan mengakibatkan meningkatnya arus sehingga rugi-rugi daya pada saluran semakin besar. Selain itu, hal yang demikian juga mengakibatkan terjadinya jatuh tegangan (Sundar et al., 2012).

Pembangunan dan perancangan DG dalam hal ini tipe generator induksi, sangat memperhatikan posisi penempatan dan besarnya daya yang akan dipasang serta diperlukan adanya suatu sistem kompensasi daya reaktif agar tidak terjadi penurunan faktor daya dan timbulnya kerugian yang telah dipaparkan. Penentuan penempatan dan besarnya daya yang dipasang dapat ditentukan menggunakan

timasi.

ada penelitian ini, metode optimasi yang digunakan adalah FPA karena keunggulan dibandingkan dengan algoritma metaheuristik lainnya yaitu



kemampuannya dalam menyelesaikan masalah optimasi dengan konvergensi yang baik dan efisiensi yang tinggi (Lalljith et al., 2022). FPA digunakan untuk menentukan ukuran optimal dan lokasi *single* dan *multi*-DG tipe generator induksi untuk meminimalkan kerugian daya sistem distribusi sebanyak mungkin dan meningkatkan profil tegangan sistem menggunakan indeks tegangan. Sistem IEEE 33-bus dan 69-bus diperiksa sebagai pengujian kasus dengan skenario yang berbeda dari fungsi tujuan (Oda et al., 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada tugas ini diangkat judul yaitu “APLIKASI METODE *FLOWER POLLINATION ALGORITHM* (FPA) PADA PENENTUAN LOKASI OPTIMAL *DISTRIBUTED GENERATION* TIPE GENERATOR INDUKSI DAN PERALATAN KOMPENSASI DAYA REAKTIF”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat di rumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan posisi dan kapasitas optimal DG tipe 4 (generator induksi) ke sistem distribusi radial?
2. Bagaimana perbandingan nilai rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial sebelum dan setelah penempatan DG tipe 4 (generator induksi)?
3. Bagaimana efektivitas penambahan peralatan kompensasi daya reaktif setelah penempatan DG tipe 4 (generator induksi) dengan membandingkan nilai rugi-rugi daya dengan menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk menentukan posisi dan kapasitas optimal DG tipe 4 (generator induksi) ke sistem distribusi radial.
2. Untuk mengetahui dampak atau pengaruh dengan adanya penempatan DG tipe 4 (generator induksi) pada sistem distribusi radial.



mengevaluasi efektivitas penambahan peralatan kompensasi daya reaktif setelah penempatan DG tipe 4 (generator induksi) dengan membandingkan

nilai rugi-rugi daya dengan menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Secara akademis, diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi penambahan referensi yang berkaitan dengan Penempatan DG Optimal Dengan Metode Algoritma Penyerbukan Bunga di Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.
2. Secara Praktis, penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pihak Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin khususnya pada Grup *Riset Energy and Power System*.
3. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan konsep penempatan DG tipe 4, terkait lokasi bus dan kapasitas masing-masing DG yang akan diinjeksikan secara optimal yang mampu mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Sistem distribusi yang digunakan dalam penelitian adalah sistem distribusi radial IEEE 33 dan 69 bus.
2. Tidak membahas tentang aliran daya secara detail.
3. Sistem tiga fasa yang digunakan yakni sistem tiga fasa seimbang.
4. DG yang disimulasikan adalah DG tipe 4 dengan kapasitas kW dan faktor daya *lagging* yang menginjeksi daya aktif namun menyerap daya reaktif.
5. Profil tegangan yang dikehendaki setelah penempatan DG adalah 0,95 – 1,05 pu sesuai dengan standar IEEE.
6. Tujuan optimasi adalah meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem.



Mode aliran daya yang digunakan pada penelitian ini adalah *Backward and Forward Sweep* (BFS).

8. Metode optimasi yang digunakan adalah metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
9. Tidak membahas tentang jenis generator secara detail.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang di lakukan pada tugas akhir ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur merupakan metode penelitian yang berisi kajian penulis atas referensi-referensi yang ada dengan cara pengadaan studi dari buku, jurnal, internet dan sumber bahan pustaka, dan informasi lain yang dapat menunjang penulisan laporan penelitian ini.

2. Pengambilan data

Dilakukan pengambilan data dimana data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa data yang diperoleh dari pihak lain. Data inilah sebagai penunjang dari penelitian yang dilakukan. Pengumpulan data dilakukan berdasarkan hasil dari Studi Literatur.

3. Pengolahan data

Pengolahan data penelitian ini dilakukan dengan menerapkan dan melakukan simulasi pada software serta melakukan beberapa perhitungan dan penggambaran.

4. Analisa hasil pengolahan dan perbandingan data.

Dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh simulasi sementara, dan selanjutnya dilakukan perbandingan terhadap data sebelumnya sehingga menarik kesimpulan untuk diolah lebih lanjut.

5. Simpulan

Simpulan diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengolahan data dan masalah yang diteliti sehingga simpulan merupakan hasil akhir dari penelitian



1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang rancangan penelitian, waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat, teknik pengumpulan data, serta langkah-langkah penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian yang memuat data yang di peroleh disertai dengan pembahasan mengenai hasil penelitian tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan menyeluruh dari hasil penelitian yang dilakukan serta saran-saran untuk perbaikan penelitian ini kedepannya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah kumpulan komponen atau perangkat listrik seperti generator, trafo, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban yang saling terhubung sehingga membentuk suatu sistem. Siklus aliran energi listrik pada jaringan listrik dapat digambarkan sebagai berikut. Di pusat pembangkit listrik, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, batu bara), tenaga air, energi panas bumi, energi nuklir, dll diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa. Energi listrik ini disalurkan ke pusat beban melalui saluran transmisi tegangan tinggi melalui trafo *step-up*. Peningkatan tegangan dimaksudkan untuk mengurangi arus yang mengalir melalui saluran listrik. Oleh karena itu, hanya sejumlah kecil arus yang mengalir pada saluran tegangan tinggi, sehingga mengurangi kehilangan panas terkait. Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan kembali ke tegangan menengah melalui trafo *step-down*. Pada pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah menjadi bentuk energi lain yang dapat digunakan, seperti energi mekanik (motor), penerangan, pemanasan, dan pendinginan.

Energi listrik dihasilkan di pusat pembangkit listrik seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), dan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Pusat pembangkit listrik ini biasanya terletak jauh dari daerah dimana energi listrik digunakan, yang disebut pusat beban. Oleh karena itu, energi listrik yang dihasilkan harus disalurkan melalui saluran listrik. Karena tegangan yang dihasilkan oleh generator umumnya relatif rendah (berkisar antara 6 kV hingga 24 kV), tegangan ini biasanya ditingkatkan ke tegangan yang lebih tinggi yaitu 30 kV hingga 500 KV di beberapa negara dengan bantuan trafo daya (Syahputra, 2021).

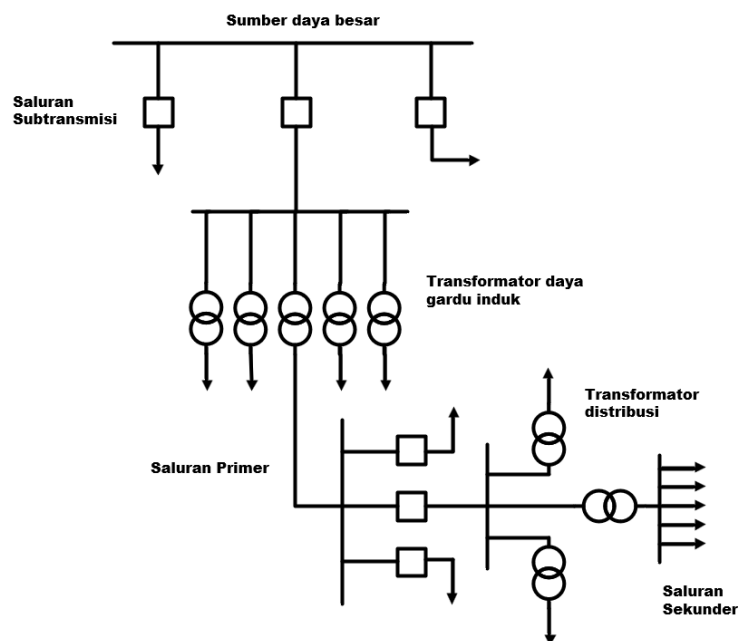


2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam definisi secara umum, sistem distribusi adalah bagian dari sistem perlengkapan listrik antara sumber daya besar (*bulk power source*) dan peralatan hubung pelanggan (*costumer service switches*). Berdasarkan definisi ini maka sistem distribusi meliputi komponen-komponen berikut:

1. Sistem subtransmisi
2. Gardu induk distribusi
3. Penyulang distribusi atau penyulang primer
4. Transformator distribusi
5. Untai sekunder
6. Pelayanan pelanggan

Gambar 1 menunjukkan diagram satu garis dari sistem distribusi yang khas. Rangkaian subtransmisi mengirimkan energi dari sumber daya besar ke gardu induk distribusi. Tegangan subtransmisi berkisar antara 12,47 kV sampai dengan 245 KV.



Gambar 1 Diagram satu garis sistem distribusi (Imran, 2019)



Setelah energi listrik sampai pada gardu induk distribusi, kemudian dengan tegangannya menggunakan transformator *step-down* menjadi tegangan rendah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan dari tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20

kV. Setelah energi listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka energi listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu-gardu distribusi (transformator distribusi) menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 380/220 Volt, dan selanjutnya disalurkan melalui saluran sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke pelanggan (Imran et al., 2019).

2.3 Distributed Generation (DG)

DG dapat didefinisikan sebagai sumber pembangkit listrik dengan kapasitas kecil yang bukan bagian dari jaringan listrik terpusat dan biasanya terletak dekat dengan beban. Menurut Departemen Energi di Amerika Serikat, DG didefinisikan sebagai pemanfaatan energi skala kecil, terintegrasi, atau berdiri sendiri yang dipasang dekat dengan pusat-pusat beban. Beberapa yang termasuk DG adalah Fotovoltaik, turbin angin, turbin mikro-hidro, dan biomassa. Kemudian menurut *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) mendefinisikan DG sebagai pembangkit yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pembangkit terpusat, biasanya 10 MW atau kurang yang diletakkan hampir di mana saja dalam jaringan listrik agar memudahkan interkoneksi (Iweh et al., 2021).

DG merupakan generator-generator yang terdistribusi (tersebar) dalam sistem tenaga listrik yang dipasang guna menginjeksikan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) untuk memperbaiki tegangan, meningkatkan keandalan atau dengan kata lain memperbaiki keadaan sistem distribusi. DG 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 (Lima Silalahi et al., 2017).

DG dapat dibagi berdasarkan jenis beserta kapasitasnya dari beberapa kW hingga puluh MW, sebagai berikut :

1. *Micro distributed generation* dengan kapasitas 1 W hingga 5 kW. Contohnya *solar technology*.
2. *Small distributed generation* dengan kapasitas 5 kW hingga 5000 kW. Contohnya *biomass, bioenergy, dan wind turbin*.



3. *Medium distributed generation* dengan kapasitas 5 MW hingga 50 MW. Contohnya *Geothermal energy*.
4. *Large distributed generation* dengan kapasitas 50 MW hingga 300 MW. Contohnya *hydrogen fuel energy* (Shuaibu Hassan et al., 2020).

Sekarang ini DG didefinisikan memiliki banyak jenis dari daya yang diinjeksikan ke sistem. Berikut ini jenis – jenis dari DG berdasarkan daya yang diinjeksikan ke sistem:

1. Tipe 1, DG yang menginjeksikan hanya daya aktif saja. Contoh dari jenis ini seperti photovoltaic, *fuel cells*, *micro* turbin.
2. Tipe 2, DG yang menginjeksikan hanya daya reaktif. Contoh jenis ini yaitu compensator.
3. Tipe 3, DG yang menginjeksikan daya aktif dan daya reaktif. Contoh dari jenis ini seperti generator sinkron.
4. Tipe 4, DG yang menginjeksikan daya aktif namun diwaktu yang sama juga menyerap daya reaktif dari sistem. Contoh dari jenis ini seperti generator induksi (Salam et al., 2023)

2.4 Generator Induksi

Generator induksi disebut juga generator asinkron. Mesin induksi terkadang digunakan sebagai generator yang pada awalnya generator induksi atau mesin induksi berfungsi sebagai motor. Pertama, mesin menarik arus reaktif yang tertinggal dari pasokan listrik. Kecepatan mesin dibuat lebih tinggi dari kecepatan sinkron oleh mesin penggerak eksternal. Kecepatannya meningkat searah dengan putaran medan magnet yang dihasilkan oleh belitan stator. Mesin induksi bekerja sebagai generator induksi dan mulai menghasilkan torsi. Torsi yang dihasilkan ini berlawanan arah dengan arah putaran rotor. Dalam keadaan ini, slipnya negatif dan generator induksi mulai menyuplai energi ke sumber listrik (Syukri, 2022).

Pada sistem konversi energi angin, pemilihan generator merupakan tugas yang rumit, terutama terintegrasi dengan jaringan sistem tenaga listrik. Beberapa jenis sistem konversi energi angin seperti *Double Fed Induction Generator* dan *Self-Excited Induction Generator* (SEIG). SEIG populer diantara jenis mesin induksi karena perlindungannya terhadap arus pendek dan



mengurangi biaya perawatan serta kinerjanya lebih baik. *Wind turbin* berbasis SEIG mengkompensasi daya reaktif jaringan melalui kapasitor bank. Ketidakstabilan tegangan merupakan faktor penting dalam sistem tenaga listrik yang terhubung dengan *wind turbin*. Stabilitas tegangan menunjukkan kemampuan sistem untuk bertahan setelah mengalami gangguan. Namun, stabilitas tegangan dapat ditingkatkan dengan meminimalkan jumlah daya reaktif yang dikirimkan ke sistem. Pengoprasian *wind turbin* secara terus menerus dapat mengakibatkan batas tegangan dan arus melebihi batasan yang telah ditetapkan suatu sistem, hal inilah yang menjadi permasalahan penempatan generator induksi pada suatu sistem tenaga listrik (Ratheesh & Vins, 2023).

Karakteristik dari SEIG yaitu tidak memerlukan sumber daya tambahan untuk menghasilkan medan magnet sehingga merupakan pilihan yang tepat untuk pengaplikasian pada pembangkit listrik tenaga angin, khususnya di tempat dengan kecepatan angin yang bervariasi. Masalah operasional utama sistem SEIG adalah ketidakmampuan untuk mengontrol tegangan dan frekuensi pada kondisi beban yang bervariasi. Perubahan impedansi beban untuk sementara mempengaruhi eksitasi mesin. Hal ini dikarenakan daya reaktif pada kapasitor eksitasi dibagi antara mesin induksi yang berperan sebagai generator dan impedansi beban. Oleh karena itu, ketika impedansi beban meningkat, tegangan generator menurun, sehingga manajemen tegangan menjadi buruk. Sebaliknya, meskipun kecepatan penggerak mula tetap konstan, slip generator asinkron meningkat seiring bertambahnya beban, sehingga frekuensinya bergantung pada beban (Chatterjee, 2023).

Pada penerapan turbin angin pada jaringan biasanya menggunakan generator model *Double Fed Induction Generator* (DFIG) karena memiliki keuntungan dimana nilai tegangan serta frekuensi yang dihasilkan dapat dijaga pada suatu nilai yang tetap meskipun kecepatan angin yang berubah-ubah. Turbin angin berbasis DFIG biasanya menggunakan generator induksi rotor belitan untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Dalam konfigurasi ini, belitan

belitan stator generator induksi dihubungkan langsung ke jaringan listrik, an rotor dihubungkan ke jaringan listrik melalui *slip ring* dan konverter ca daya. Oleh karena itu, rangkaian rotor dikendalikan oleh komponen



konverter elektronika daya, memberikan DFIG kemampuan untuk mengekspor atau mengimpor daya reaktif (Rudy Gianto, 2022).

DFIG mempunyai 2 cara pengoperasian, yaitu Saat DFIG mentransmisikan daya reaktif ke sistem yang disebut operasi faktor daya *leading*, dan bila DFIG beroperasi dengan menyerap daya reaktif dari sistem disebut operasi faktor daya *lagging*. Untuk pengoperasian faktor daya yang baik, daya yang dihasilkan oleh DFIG dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif sistem dan meningkatkan profil tegangan sistem (Rudy Gianto, 2022). Dari kedua jenis generator induksi tersebut, dapat diketahui bahwa pada penggunaan DG yang menginjeksikan daya aktif namun di waktu yang sama juga menyerap daya reaktif dari sistem (DG tipe 4) lebih sesuai dengan generator induksi jenis DFIG. Pada generator induksi jenis generator induksi jenis DFIG beroperasi faktor daya *lagging* tersambung ke sistem, daya reaktif diperoleh dari sistem. Hal ini membuat pengoperasian generator induksi tersambung ke sistem menjadi lebih sederhana, tetapi juga menyebabkan sistem terbebani daya reaktif. Kondisi ini dapat memperburuk kualitas daya listrik yang disalurkan pada sistem tenaga listrik.

2.5 Analisis Aliran daya

Studi aliran daya digunakan untuk mengetahui kinerja serta aliran daya aktif dan daya reaktif pada keadaan sistem bekerja saat *steady state*. Pada perencanaan dan pengembangan suatu sistem tenaga listrik, studi aliran daya merupakan suatu hal yang sangat penting dilakukan. Dari studi aliran daya dapat diketahui aliran daya aktif dan reaktif pada cabang-cabang rangkaian, mengetahui kondisi kondisi tegangan busbar agar dalam batas-batas yang dapat diterima, mengetahui pengaruh putusnya rangkaian dalam keadaan darurat, mengetahui kondisi optimum pembebanan sistem dan mengetahui susut daya optimum sistem (Winarta et al., 2021).

Analisa aliran daya memiliki tujuan untuk mengetahui besarnya vektor tegangan pada setiap bus dan besarnya aliran daya pada setiap cabang jaringan pada beban tertentu dalam kondisi normal. Hasil perhitungan dapat digunakan menyelidiki berbagai masalah yang berkaitan dengan jaringan tersebut,



- a. Perbaikan faktor daya jaringan, pengatur tegangan, kapasitas kawat penghantar, serta rugi-rugi daya.
- b. Perluasan atau pengembangan jaringan, yaitu menentukan lokasi yang tepat untuk penambahan bus beban baru dan unit pembangkitan atau gardu induk baru.
- c. Perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang diinginkan pada masa mendatang untuk melayani pertumbuhan beban karena kenaikan terhadap kebutuhan tenaga listrik (Hasibuan et al., 2020)

Pada dasarnya perhitungan aliran daya adalah menghitung besaran tegangan (V) dan sudut fasa (ϕ) pada setiap gardu induk pada kondisi tunak dan kondisi fasa tidak seimbang. Dari hasil perhitungan ini kemudian digunakan untuk menghitung besar aliran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) disetiap peralatan transmisi, besaran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang harus dibangkitkan disetiap pusat beban pembangkitan serta jumlah rugi-rugi di sistem. Sistem tenaga listrik tidak hanya terdiri dari dua bus, tetapi terdiri dari beberapa bus yang diinterkoneksi satu sama lain. Daya listrik yang diinjeksikan dari salah satu generator kepada salah satu bus, bukan hanya diserap oleh beban bus tersebut, tetapi dapat juga diserap oleh beban di bus yang lain. Kelebihan daya pada bus akan dikirimkan melalui saluran transmisi ke bus-bus yang lain yang kekurangan daya (Hasibuan et al., 2020).

Pada analisa aliran daya, banyak metode yang dapat dilakukan untuk menganalisa tegangan, rugi-rugi, maupun faktor daya. Beberapa diantaranya adalah metode *Newton-Raphson*, *Fast Decoupled*, *Gauss-Seidel*, dan *Modified Gauss-Seidel*. Dari beberapa metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan ketika digunakan dalam analisa aliran daya. Metode tersebut lebih cocok digunakan pada sistem transmisi (Fahri, 2020)

2.6 Backward and Forward Sweep (BFS)

Aliran daya merupakan salah satu variabel terpenting dalam studi perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Untuk analisis aliran daya kat transmisi, digunakan *Gauss Seidel* atau *Newton Raphson* atau metode

1. Karena karakteristik jaringan distribusi yang unik, seperti konstruksi
- Resistansi/Reaktansi (R/X) yang tinggi, dan beban yang tidak



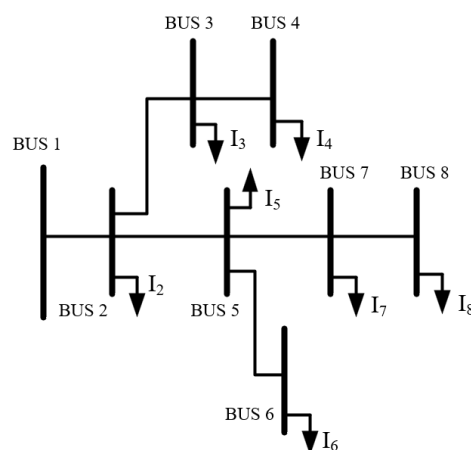
seimbang, metode di atas lemah dan memiliki karakteristik konvergensi yang sangat buruk. Prosedur berbasis cabang dan berbasis node dapat digunakan untuk mengklasifikasikan teknik aliran beban yang diusulkan untuk jaringan distribusi. Dalam teknik berbasis node, daya atau arus dari node digunakan sebagai variabel keadaan untuk menyelesaikan masalah aliran daya, sedangkan dalam pendekatan berbasis cabang, digunakan daya atau arus dari cabang. Karena kebutuhan memori yang rendah, efisiensi komputasi yang tinggi, dan sifat konvergensi yang kuat, metode BFS telah menjadi teknik yang paling banyak digunakan untuk analisis aliran daya pada sistem distribusi (Moses et al., 2023).

Metode *Backward-Forward Sweep* (BFS) digunakan untuk menghitung aliran daya dalam sistem distribusi jaringan radial. Proses dimulai dengan inisialisasi nilai tegangan untuk setiap simpul dalam jaringan distribusi. Langkah pertama adalah perhitungan mundur, di mana arus pada setiap simpul dihitung berdasarkan beban dan tegangan, dimulai dari bus terjauh dari *sub-stasiun*. Selanjutnya, perhitungan maju dilakukan untuk memperbarui nilai tegangan pada setiap simpul berdasarkan arus yang telah dihitung sebelumnya. Proses ini dilakukan secara iteratif, dengan pengecekan kriteria iterasi untuk memastikan konvergensi. Selama iterasi, pengukuran digunakan untuk mendeteksi dan memperbarui data yang tidak valid. Dengan menggabungkan perhitungan mundur dan maju, BFS memungkinkan estimasi yang akurat tentang aliran daya dalam sistem distribusi jaringan radial berdasarkan data pengukuran yang tersedia (Taqiyuddin et al., 2023).

Dengan menggunakan hukum Kirchoff, arus keseluruhan dalam jaringan dapat ditentukan nilai tegangan awal setiap node, yaitu nilai arus node pada jalur sebelumnya dan juga nilai arus pada jalur penghubung antar node dapat diketahui. Proses ini lalu dilanjutkan sampai ke *sub-station*. Sedangkan proses sebaliknya yaitu proses maju untuk menghitung dan memperbarui nilai tegangan setiap node dapat diketahui karena nilai arus setiap jalur telah dahulu diketahui dari proses mundur (Taqiyuddin et al., 2023).



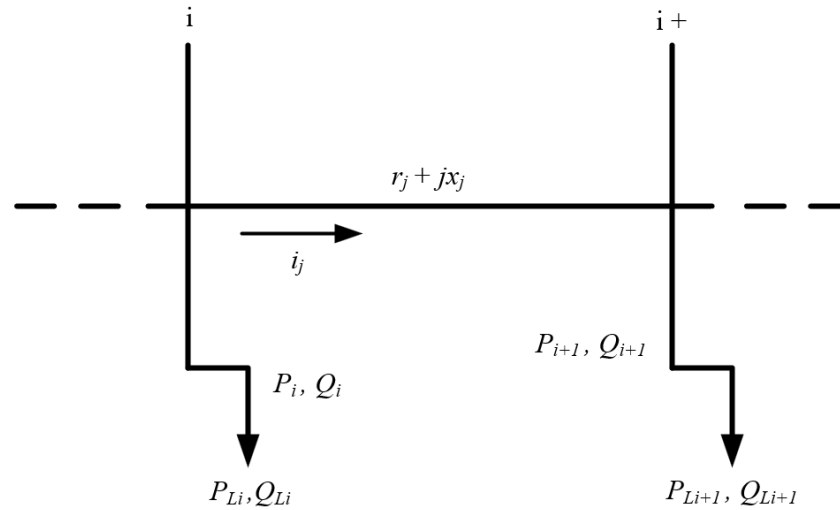
Backward and Forward Sweep merupakan metode komputasi iteratif untuk menyelesaikan persoalan aliran daya pada sistem distribusi radial. Digunakan metode ini karena metode komputasi aliran daya lainnya kurang efisien pada sistem distribusi radial (Rupa & Ganesh, 2015). Pada metode newton rapshon yang telah diperbarui pun untuk sistem distribusi radial kurang efisien dikarenakan waktu komputasi yang dibutuhkan cukup lama. Contoh sistem distribusi radial dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Sistem distribusi radial

Sistem distribusi radial secara singkat merupakan sistem distribusi dengan satu titik sumber (Gardu Induk) yang ditarik secara radial dan dicabangkan untuk masing-masing beban. Pada sistem distribusi radial tidak ada loop. Pada metode aliran daya BFS untuk mengetahui aliran daya pada setiap cabang dimulai dengan menghitung aliran arus beban pada bus terakhir menuju ke titik sumber (*backward*), selanjutnya akan dihitung tegangan magnitude dan sudut fasa pada setiap bus dimulai dari titik sumber menuju bus terakhir (*forward*). Dapat dilihat pada Gambar 6 yang menggambarkan hubungan antara 2 bus dan perhitungan metode *backward* untuk mendapatkan nilai P_i dan Q_i yang melewati cabang ' j ' dari bus ' i ' ditunjukkan pada Persamaan (1) sampai (4).





Gambar 3 Contoh hubungan 2 bus pada sistem distribusi

$$P_i = P'_{i+1} + r_j \frac{P'^2_{i+1} + Q'^2_{i+1}}{V^2_{i+1}} \quad (1)$$

$$Q_i = Q'_{i+1} + x_j \frac{P'^2_{i+1} + Q'^2_{i+1}}{V^2_{i+1}} \quad (2)$$

$$P'_{i+1} = P_{i+1} + P_{Li+1} \quad (3)$$

$$Q'_{i+1} = Q_{i+1} + Q_{Li+1} \quad (4)$$

Dimana,

P_{i+1} = Daya nyata pada bus 'i + 1'

Q_{i+1} = Daya reaktif pada bus 'i + 1'

P_{Li+1} = Beban daya nyata pada bus 'i + 1'

Q_{Li+1} = beban daya reaktif pada bus 'i + 1'

Nilai tegangan magnitude dan sudut fasa pada suatu bus dibutuhkan untuk perhitungan metode *forward*. Persamaan perhitungan dengan metode *forward* termasuk $V_i \angle \delta_i$ pada bus 'i' serta mengetahui $V_{i+1} \angle \delta_{i+1}$ pada bus 'i + 1' untuk } dapat dinyatakan pada persamaan (5).



$$I_j = \frac{V_i \angle \delta_i - V_{i+1} \angle \delta_{i+1}}{r_j + jx_j} \quad (5)$$

$$I_j = \frac{P_i - jQ_i}{V_i \angle -\delta_i} \quad (6)$$

Dari 2 persamaan (5) dan (6) maka dapat dinyatakan :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i \angle -\delta_i} = \frac{V_i \angle \delta_i - V_{i+1} \angle \delta_{i+1}}{r_j + jx_j} \quad (7)$$

$$V_i^2 - V_i V_{i+1} \angle (\delta_{i+1} - \delta_i) = (P_i - jQ_i)(r_j + jx_j) \quad (8)$$

Dari persamaan (9) dan (10) maka didapatkan persamaan (13)

$$V_{i+1} = \left[V_i^2 - 2(P_i r_j + Q_i x_j) + (r_j^2 + x_j^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Dan sudut tegangan, δ_{i+1} dapat diturunkan pada persamaan (8) diatas menjadi:

$$\tan(\delta_{i+1} - \delta_i) = \frac{Q_i r_j - P_i x_j}{[V_i^2 - (P_i r_j + Q_i x_j)]} \quad (10)$$

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \tan^{-1} \frac{Q_i r_j - P_i x_j}{[V_i^2 - (P_i r_j + Q_i x_j)]} \quad (11)$$

Persamaan magnitude dan sudut fasa digunakan secara berulang pada metode *forward* untuk menghitung nilai tegangan dan sudut fasa pada semua bus dalam sistem distribusi radial.

Rugi-rugi daya pada cabang ' J ' dapat dihitung dengan persamaan (12) dan (13) berikut.

$$P_{loss}(j) = r_j \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (12)$$

$$Q_{loss}(j) = x_j \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (13)$$



Total rugi-rugi daya nyata dan daya reaktif dapat dihitung dengan persamaan (14) dan (15) berikut.

$$P_{loss_{tot}} = \sum_{j=1}^n r_j \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} \quad (14)$$

$$P_{loss_{tot}} = \sum_{j=1}^n x_j \frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} \quad (15)$$

Pada setiap bus, profil tegangan diasumsikan bernilai 1 pu. Daya pada cabang dihitung secara berulang dengan nilai tegangan yang baru untuk setiap bus. Keadaan konvergen dicapai saat perbedaan tegangan magnitude pada cabang bernilai 0,0001 (Augusta, 2018).

2.7 Fungsi Objektif dan Fungsi Kendala

Terdapat dua fungsi tujuan dalam melakukan optimasi, yaitu fungsi objektif dan fungsi kendala. Fungsi objektif merupakan ukuran pasti untuk mendapatkan solusi dengan tidak melanggar fungsi kendala atau batasan yang telah ditetapkan (Rahman, 2018).

2.7.1 Fungsi Objektif

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

$$f(x) = \min(\sum_{i=1}^N P_{li}) \quad (16)$$

dengan N sebagai jumlah saluran dan i adalah saluran.

Pendekatan pertama dilakukan dengan pendekatan analitik. Dengan total rugi-rugi daya aktif pada sistem tenaga listrik dapat diwakili dengan persamaan (16) atau yang biasa disebut “*exact loss formula*”. Kemudian yang digunakan untuk mencari rugi-rugi daya pada saluran sebagai berikut:

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)] \quad (17)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (18)$$



$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (19)$$

Dengan $V_i < \delta_i$ adalah tegangan kompleks pada bus ke- i $r_{ij} + jx_{ij} = Z_{ij}$ adalah elemen ke- ij dari matriks impedansi P_i dan P_j adalah injeksi daya aktif pada feeder ij , Q_i dan Q_j adalah injeksi daya reaktif pada feeder ij , dan N adalah jumlah feeder.

Dengan asumsi $\alpha = (\text{sign}) \tan(\cos^{-1}(PF_{DG}))$, maka keluaran daya reaktif DG dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Q_{DGi} = \alpha P_{DGi} \quad (20)$$

Dengan $\text{sign} = +1$ jika DG menginjeksi daya reaktif, $\text{sign} = -1$ jika DG mengambil daya reaktif dan PF_{DG} adalah faktor daya dari DG.

Daya aktif dan daya reaktif yang diinjeksikan pada bus i , dimana DG terletak yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di} \quad (21)$$

$$Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di} = \alpha P_{DGi} - Q_{Di} \quad (22)$$

Dari persamaan (17), (18), dan (19), rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{ \alpha_{ij} [(P_{DGi} - P_{Di})P_j + (\alpha P_{DGi} - Q_{Di})Q_j] + \beta_{ij} [(\alpha P_{DGi} - Q_{Di})P_j - (P_{DGi} - P_{Di})Q_j] \} \quad (23)$$

Total rugi-rugi daya aktif pada sistem akan minimum jika turunan parsial dari persamaan (23) terhadap injeksi daya aktif dari DG ke bus i menjadi 0. Setelah disederhanakan dan penyusunan ulang. Persamaan (23) dapat dinyatakan sebagai berikut;

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{DGi}} = 2 \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij} (P_j + \alpha Q_j) + \beta_{ij} (\alpha P_j - Q_j)] = 0 \quad (24)$$

in (22) dapat dituliskan sebagai berikut:



$$\alpha_{ii}(P_j + \alpha Q_j) + \beta_{ij}(\alpha P_j - Q_j) + \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} P_j - \beta_{ij} Q_j) + \alpha \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} Q_j - \beta_{ij} P_j) = 0 \quad (25)$$

$$\text{set } \begin{cases} X_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} P_j - \beta_{ij} Q_j) \\ Y_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} Q_j - \beta_{ij} P_j) \end{cases} \quad (26)$$

Dari persamaan (21), (22), (25), dan (26) dapat dikembangkan persamaan (27).

$$\alpha_{ii}(P_{DGi} - P_{Di} + \alpha^2 P_{DGi}) + \beta_{ij}(Q_{Di} - \alpha P_{Di}) + X_i + \alpha X_i = 0 \quad (27)$$

Dari Persamaan (27), nilai kapasitas DG optimal di setiap bus i untuk meminimalkan rugi daya aktif dapat dinyatakan sebagai berikut: (Santoso, 2020)

$$P_{DGi} = \frac{\alpha_{ii}(P_{Di} + \alpha Q_{Di}) + \beta_{ij}(Q_{Di} - \alpha P_{Di}) - X_i - \alpha X_i}{\alpha^2 \alpha_{ii} + \alpha_{ii}} \quad (28)$$

2.7.2 Fungsi Kendala

Fungsi kendala merupakan fungsi yang menyatakan batasan-batasan yang harus dipenuhi dalam mencapai solusi optimal. Dimana pada penelitian ini digunakan batasan (*constraints*) berupa pembatasan letak DG dan kapasitas DG sesuai persamaan (29) dan (30) berikut:

$$2 \leq x_{bus} \leq 33 \quad (29)$$

$$1 \leq x_{kapasitas} \leq 5000 \quad (30)$$

Dimana:

X_{bus} = Solusi posisi bus

$X_{kapasitas}$ = Solusi kapasitas DG

Nilai 2 pada persamaan (29) adalah batas bawah untuk letak DG pada bus sedangkan 33 adalah batas atas letak DG pada bus sistem. Nilai 1 pada (30) adalah batas minimal kapasitas DG yaitu 1 kW, sedangkan 5000 adalah batas maksimal DG yaitu 5000 kW.



2.8 Flower Pollination Algorithm (FPA)

Flower Pollination Algorithm (FPA) adalah algoritma *metaheuristik* yang terinspirasi dari proses penyerbukan bunga dalam alam. Algoritma ini dikembangkan oleh Xin-She Yang pada tahun 2012. FPA bekerja dengan cara mensimulasikan proses penyerbukan bunga di alam, di mana bunga yang lebih menarik serangga penyerbuk akan memiliki peluang yang lebih tinggi untuk menyebarkan serbuk sari dan berkembang biak. FPA memiliki kemampuan untuk menyelesaikan masalah optimasi kompleks dengan melakukan pencarian global dan lokal secara seimbang. Algoritma ini menggunakan konsep *global pollination* untuk menjelajahi ruang pencarian secara luas dan konsep *local pollination* untuk melakukan eksplorasi mendalam pada area-area yang menjanjikan. Dengan pendekatan ini, FPA mampu menemukan solusi optimal dengan upaya komputasi yang relatif rendah (Lalljith et al., 2022).

Keunggulan FPA dibandingkan dengan algoritma metaheuristik lainnya adalah kemampuannya dalam menyelesaikan masalah optimasi dengan konvergensi yang baik dan efisiensi yang tinggi. FPA telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi di berbagai bidang ilmu dan teknik, termasuk dalam sistem tenaga listrik, distribusi energi, dan optimasi sistem. Dengan karakteristiknya yang unik dan kemampuannya yang terbukti dalam menyelesaikan masalah optimasi kompleks (Lalljith et al., 2022).

Terdapat empat kaidah dari penyerbukan yang kemudian disusun sebagai dasar dari FPA.

1. Penyerbukan silang terjadi apabila serbuk sari jatuh dari bunga yang berasal dari tanaman yang berbeda. Penyerbukan ini mengikuti aturan dari *Levy distribution* dengan melompat atau terbang dengan jarak yang jauh. Hal ini dikenal dengan proses penyerbukan *global*.
2. Penyerbukan sendiri terjadi apabila serbuk sari yang jatuh berasal dari bunga yang sama atau bunga yang lain dari tanaman yang sama. Proses ini dinamakan penyerbukan *local*.



Levy constancy adalah kumpulan penyerbuk dan tipe bunga. Hal ini merupakan suatu peningkatan dari proses penyerbukan bunga.

4. Penyerbukan lokal dan penyerbukan global dikontrol oleh suatu nilai antara 0 sampai 1 yang disebut *switch probability*.

Pada FPA, untuk penyederhanaannya, diasumsikan setiap tumbuhan hanya memiliki satu buah bunga dan setiap bunga tersebut hanya memproduksi satu buah gamet serbuk sari. Penyederhanaan ini berarti satu buah solusi x_i ekuivalen dengan satu bunga dan/atau satu gamet serbuk sari. Dua langkah kunci pada algoritma ini yaitu polinasi global dan polinasi lokal. Pada langkah polinasi global, serbuk sari dibawa oleh polinator dan dapat berpindah dengan jarak yang jauh. Hal ini memastikan polinasi dan reproduksi yang paling optimal (nilai *fitness* terbaik) dan nilai *fitness* tersebut direpresentasikan sebagai g^* . Aturan pertama sekaligus hubungan spesifik bunga dapat direpresentasikan secara matematis dengan persamaan (35) sebagai berikut:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(x_i^t - g^*) \quad (31)$$

dengan x_i^{t+1} adalah serbuk sari i atau vektor solusi x_i pada iterasi ke- t dan g^* adalah solusi terbaik terbaru dari semua solusi pada generasi atau iterasi terbaru. Parameter L adalah kekuatan polinasi yang secara esensial adalah ukuran langkah. Karena serangga sebagai polinator mungkin bergerak pada jarak yang jauh dengan berbagai ukuran langkah. Gerak *levy* digunakan untuk merepresentasikan karakteristik ini. Persamaan (36) berikut merupakan persamaan $L > 0$ diambil dari distribusi *levy* sebagai berikut:

$$L = Z \frac{R \left(\frac{r(1+\beta) \sin(\frac{\pi\beta}{2})}{r(\frac{1+\beta}{2}) \beta^{\frac{1-\beta}{2}}} \right)}{|R|^{\frac{1}{\beta}}} \quad (32)$$

dengan $r(\lambda)$ adalah fungsi gamma standar, R adalah bilangan acak normal, β adalah faktor penyekala langkah *levy*, dan Z adalah konstanta langkah *levy*. Pada polinasi lokal atau aturan kedua, hubungan spesifik bunga direpresentasikan pada persamaan (37) sebagai berikut:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon(x_j^t - x_k^t) \quad (33)$$

dimana x_k^t dan x_j^t adalah serbuk sari dari bunga yang lain pada jenis yang sama.

Matematis, jika x_k^t dan x_j^t datang dari jenis yang sama atau dipilih dari jenis yang sama, akan menjadi langkah acak lokal jika nilai ϵ merupakan



distribusi seragam dari 0 hingga 1. Kebanyakan aktivitas penyerbukan bunga dapat terjadi pada skala lokal maupun global (Santoso, 2020).

Tabel 1 Istilah dalam Metode FPA

Istilah	Metode FPA
Fenomena Penyerbukan	Permasalahan Optimasi
Populasi Bunga	Data Bus dan Saluran
Tingkat Kecocokan Bunga	Fungsi Objektif DG
Usaha penyerbukan	Iterasi
Polinator	Solusi yang dilakukan pada setiap iterasi
Kemungkinan terjadinya Polinasi Global atau Lokal	Probability Switch
Banyaknya Solusi yang ingin Didapat	Dimensi

Sumber : (Augusta, 2018)

Adapun penjelasan dari variabel diatas adalah sebagai berikut (Augusta, 2018):

1. Fenomena penyerbukan bunga didefinisi sebagai permasalahan optimasi, dimana pada penelitian ini merupakan permasalahan optimasi penempatan lokasi bus dan kapasitas DG.
2. Populasi bunga didefinisikan sebagai data beban pada setiap bus dan juga impedansi saluran antar bus.
3. Tingkat kecocokan bunga didefinisi sebagai fungsi objektif DG, fungsi objektif DG yang digunakan pada penelitian ini adalah fungsi aliran daya BFS yang ditambahkan variabel untuk memasukkan lokasi bus dan nilai kapasitas injeksi daya aktif sebagai variabel untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial.
4. Usaha penyerbukan didefinisi sebagai iterasi program optimasi, pada percobaan ini iterasi yang diijinkan sebanyak 5000 kali untuk mendapatkan nilai yang konvergen.



Polinator atau variabel yang melakukan penyerbukan didefinisi sebagai solusi yang diusahakan program untuk mendapatkan nilai fungsi objektif yang sesuai dengan kekangan yang diberikan.

6. *Probability swtich* disini adalah kemungkinan terjadinya polinasi lokal atau global. Polinasi global adalah proses dimana variabel yang akan diuji pada 22 fungsi objektif akan ditambahkan variabel fungsi Levy untuk mendapatkan solusi yang lebih baik.
7. Banyaknya solusi yang ingin didapatkan didefinisi sebagai dimensi. Pada percobaan ini dimensi yang ingin didapatkan sebanyak 6 buah, yaitu 3 posisi bus optimal penempatan DG dan 3 kapasitas optimal masing-masing DG.



2.9 State Of The Art Penelitian

State of the art dapat diartikan sebagai panduan penulis untuk penelitian yang akan dilakukan, yang kemudian akan menjadi acuan dan perbandingan dalam melakukan penelitian ini.

Tabel 2 State of the art

No	Penulis	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hasil yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan
1	Yoga Alif Augusta dan Wahyudi Budi Pramono (2018)	Optimasi Penempatan DG Pada Sistem Distribusi dengan Metode <i>Flower Polination Algorithm</i>	Flower Pollination Algorithm (FPA)	pada penelitian ini hal yang dicapai yaitu untuk mengurangi rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan	pada penelitian ini data yang digunakan adalah hanya data sistem distribusi IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan data sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 yang menyuplai daya Aktif, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 4 yang menyediakan daya aktif ke sistem tetapi menyerap daya reaktif.
	Muhammad Alief ullah, seno ang, Ni ani (2015)	Studi Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG) untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya pada Sistem Jaringan Distribusi Radial menggunakan Metode K-means Clustering	K-means Clustering	Pada penelitian ini hal yang dicapai adalah untuk aliran daya aktif pada kasus IEEE 34 bus memiliki perbaikan nilai losses saluran.	pada penelitian ini data yang digunakan adalah data sistem distribusi IEEE 33 bus Modifikasi, 34 bus modifikasi, dan 69 bus modifikasi sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan data sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus



No	Penulis	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hasil yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan
3	Rizky Pratama Putra, Ontoseno Penangsang, Adi Soeprijanto (2012)	Analisa Penempatan <i>Distributed Generation</i> pada Jaringan Distribusi 20 kV	Menggunakan aplikasi ETAP dengan metode Newton Raphson	Pada penelitian ini hal yang dicapai yaitu ingin mengetahui bagaimana DG dapat mempengaruhi faktor daya dan gangguan apa saja yang terjadi	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>K-means Clustering</i> , sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Polination Algorithm</i>).
					Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 yang menyuplai daya Aktif, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 4 yang menyediakan daya aktif ke sistem tetapi menyerap daya reaktif.
					pada penelitian ini data yang digunakan adalah data real GI Wonorejo, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan data sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus
4	Muhammad Santoso, edi Prima (2018)	<i>Optimal Sizing and Placement of Wind Based Distributed Generation to Minimize Losses Using Flower Pollination Algorithm</i>	<i>Flower Pollination Algorithm (FPA)</i>	untuk menentukan lokasi dan kapasitas <i>wind-based</i> DG yang optimal dengan <i>single</i> DG dan <i>multi</i> DG untuk meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem IEEE 33 bus dan meningkatkan profil tegangan	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>K-means Clustering</i> , sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Polination Algorithm</i>)
					Pada penelitian ini data yang digunakan adalah hanya data sistem distribusi IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan data sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus.



No	Penulis	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hasil yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan
					Pada penelitian ini factor daya generator induksi yang akan disimulasikan berbeda-beda mulai 0,95; 0,9 dan 0,8 (pf lagging).
5	Yustika Umi Farihah (2015)	<i>Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation using Differential Evolution Method for Minimalize Power Losses</i>	<i>Differential Evolution</i>	Hal yang dicapai yaitu untuk menentukan optimal penempatan dan penentuan kapasitas dari DG	pada penelitian ini data yang digunakan adalah hanya data sistem distribusi IEEE 33 bus, sedangkan pada peneitian yang diajukan menggunakan data sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Differential Evolution</i> , sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Polination Algoritm</i>)
6	Pranava gopu, Shayeera naaz and Khansa Aiman (21)	<i>Optimal Placement of distributed Generation Using Genetic Algorithm</i>	<i>Genetic Algorithm (GA)</i>	Hal yang dicapai yaitu untuk menentukan lokasi optimal penempatan dan penentuan kapasitas dari DG	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Genetic Algorithm (GA)</i> , sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Polination Algoritm</i>)



No	Penulis	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hasil yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan
					Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 yang menyuplai daya Aktif, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 4 yang menyediakan daya aktif ke sistem tetapi menyerap daya reaktif.
7	Muhammad Hasan Basri Paleba, Lesnanto Multa Putranto, dan Sasongko Pramono Hadi (2020)	<i>Optimal Placement and Sizing Distributed Wind Generation Using Particle Swarm Optimization in Distribution System</i>	<i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	Hal yang dicapai yaitu untuk menentukan lokasi optimal penempatan dan penentuan kapasitas dari DG	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Polination Algoritim</i>) Jenis DG yang digunakan sama, namun pada penelitian ini memperhatikan perubahan angin setiap waktunya Data yang digunakan hanya menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus
8	Bobby Harold (2016)	Analisis Penempatan <i>Capacitor Bank</i> Untuk Meningkatkan Faktor Daya Akibat Penempatan <i>Distributed Generation (DG)</i> Pada Jaringan Distribusi Radial menggunakan metode <i>Genetic Algorithm (GA)</i>	<i>Genetic Algorithm (GA)</i>	Setelah dilakukan penempatan kapasitor bank secara optimal didapatkan penurunan rugi daya aktif dan daya reaktif serta memenuhi batasan untuk tegangan dan faktor daya pada sistem distribusi radial	Data yang digunakan hanya menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Genetic Algorithm (GA)</i>, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Polination Algoritim</i>)



No	Penulis	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hasil yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan
9	Indra Sasmita, AgungBudi Muljono, I Made Ari Nnatha (2016)	Penentuan Lokasi <i>Distributed Generation</i> (DG) Berdasarkan Faktor Sensivitas Rugi-Rugi dan Kapasitas Optimal Menggunakan Metode <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	<i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	Pada penelitian ini hal yang ingin dicapai yaitu didapatkan hasil optimasi kapasitas DG dapat mengurangi rugi daya pada saluran dan meningkatkan profil tegangan	Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 yang hanya menyuplai daya reaktif dan dikombinasikan penempatan <i>capacitor bank</i> , sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 4 yang menyediakan daya aktif ke sistem tetapi menyerap daya reaktif dikombinasikan penempatan <i>capacitor bank</i> .
					Data yang digunakan hanya menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus
					Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 yang hanya menyuplai daya Aktif, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 4 yang menyediakan daya aktif ke sistem tetapi menyerap daya reaktif.
10	Asran, Misbahul, Adi (2020)	Simulasi dan Analisa Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) <i>Fuel Cell</i> dan pengaruhnya terhadap interkoneksi sistem tenaga listrik	Merangkai oneline diagram IEEE 34 bus pada software ETAP 12.6	Pada penelitian ini hal yang dicapai yaitu mengetahui pengaruh setelah penempatan <i>distributed generation fuel cell</i> terhadap profil tegangan serta rugi-rugi daya pada sistem distribusi	Metode yang digunakan dalam penelitian ini <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC), sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Polination Algoritm</i>)
					Data yang digunakan hanya menggunakan sistem distribusi radial IEEE 34 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus



No	Penulis	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hasil yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan
					Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu melakukan simulasi dengan merangkai <i>online</i> diagram IEEE 34 bus pada software ETAP 12.6, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (Flower Polination Algoritm) dengan software Matlab Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 yang hanya menyuplai daya Aktif, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 4 yang menyediakan daya aktif ke sistem tetapi menyerap daya reaktif.

