

SKRIPSI

**STUDI OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN PEMBANGKIT
DG TIPE GENERATOR SINKRON PADA SISTEM
DISTRIBUSI DENGAN METODE *FLOWER POLLINATION*
ALGORITHM (FPA)**

Disusun dan diajukan oleh:

**AYU INDRYANI
D041 19 1093**



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



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN PEMBANGKIT
DG TIPE GENERATOR SINKRON PADA SISTEM
DISTRIBUSI DENGAN METODE *FLOWER POLLINATION*
ALGORITHM (FPA)

Disusun dan diajukan oleh

Ayu Indryani

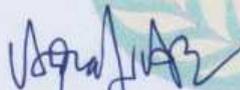
D041191093

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 13 Maret 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Ir. Ardiaty Arief, ST., M.T.M., Ph.D
NIP 19780424 200112 2 001


Ir. Tajuddin Waris, MT.
NIP 19650424 199203 1 003

Ketua Program Studi,


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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ayu Indryani
NIM : D041191093
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI OPTIMASI LOKASI PENEMPATAN PEMBANGKIT DG TIPE GENERATOR SINKRON PADA SISTEM DISTRIBUSI DENGAN METODE *FLOWER POLLINATION ALGORITHM* (FPA)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan 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, 13 Maret 2024

Yang Menyatakan



Ayu Indryani



KATA PENGANTAR

Skripsi ini berjudul “Studi Optimasi Lokasi Penempatan Pembangkit DG Tipe Generator Sinkron Pada Sistem Distribusi dengan Metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)”.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tugas akhir ini banyak kendala yang dihadapi. Namun, berkat penyertaan dan pertolongan Tuhan Yesus Kristus serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan dan doa dalam penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Alm. Bapak Paulus Pane dan Ibu Debora Kadi, penulis ucapkan terima kasih tak terhingga untuk Ibu yang selalu memberi dukungan dan cinta. Di sini, saya juga ingin mengenang Alm. Ayah, sosok yang semangatnya terus memotivasi meski tak lagi bersama dengan penulis.
2. Kakak penulis yaitu, Yefendi Pane dan Adriel Tri Sandi Pane, penulis sangat berterima kasih atas kehadiran kedua kakak penulis yang selalu siap menyediakan kebutuhan penulis dari sejak kecil, selalu mendukung serta mendoakan setiap keputusan penulis. Tak lupa penulis juga berterimakasih kepada seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa dan dukungan dalam bentuk apapun sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Ibu Prof. Ir. Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, MT. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan motivasi, serta berbagi ilmu selama penelitian dan pengerjaan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Hasniaty A, ST., MT., Ph.D dan Bapak Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan itik, saran, dan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.



5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. dan Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh dosen dan staf pegawai di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengajar, mendidik, dan memberi saran selama masa kuliah.
7. Cewek Strong yaitu Zilpani Rorren dan Sinta Kristiani , telah menjadi penyemangat, dan tempat penulis berbagi bercerita, tempat berbagi ilmu dan drama kuliah maupun di KMKO serta selalu ada saat penulis memerlukan bantuan. Saudara Juan G. Ruswandy yang selalu mendukung dan menemani penulis dari Sudiang ke Gowa serta memberikan kritik dan saran dalam hal apapun.
8. Cute yaitu Cherin Majesty Romero, Mentari Kadang, Soro Franar Bija yang saling mendukung dan berbagi kisah hidup walaupun sangat sulit untuk bertemu serta tak hentinya menyemangati dalam proses perkuliahan.
9. Sahabat kost Nindi yaitu Arnadha Finishtry, Welianty Ratte Karua , dan Novelya Pratiwi selaku sahabat penulis yang senantiasa memberikan tempat tinggal yang nyaman serta berbagi makanan saat lahir bulan dan juga memberikan motivasi dan mendengarkan keluh kesah selama ini.
10. Kelompok belajar, yaitu Pati Rezkyanti , Nurul Iffah, Ade Nur Fatimah, Hidayah Tria, Arjun, Nur Aulia Ashar, dan Nur Isnun yang selalu belajar bersama dan berbagi cerita selama proses perkuliahan.
11. GOLCC menjadi keluarga yang senantiasa memberikan doa-doa dan semangat positif yang telah membantu mengatasi setiap rintangan dan memberikan kepercayaan diri untuk menyelesaikan penelitian ini..
12. Keluarga “MIZKA FAMILY”, Sinta, Zilpa, Riskal, Gabriel, Juan, Jefri, Briel, Dennis, Jendri, Fitman, Richard, Edo, dkk yang telah menjadi tempat penulis untuk terus bertumbuh bersama di dalam Tuhan Yesus, berbagi suka dan duka, serta mengajarkan penulis bahwa keluarga bukanlah tentang keturunan, akan tetapi tentang rasa cinta dan perhatian yang tumbuh antara sesama.



13. Keluarga CYNOSURE , GROUND'21, CORNERSTONE`21 yang telah memberikan pengalaman, cerita, dan doa selama penulis berada di Kampus Teknik Universitas Hasanuddin.
14. Teman-teman di Laboratorium *Power Energy System* dan *Electrical market and power systems* yaitu Arjun, Aul, Didin, Rahmat, dan Yusril yang bersama-sama dengan penulis dalam mengerjakan skripsi hingga selesai. Terkhusus penulis ucapkan terimakasih kepada saudara Rahmat yang sudah membantu dalam mengerjakan revisi penulis.
15. Keluarga Energi yang telah bersama menjalani mata kuliah konsentrasi energi, khususnya saat menjalani Praktikum Teknik Tenaga Listrik atas dukungan, bantuan, pengalaman, dan motivasinya.
16. Saudara TR19GER yang telah menjadi teman seperjuangan, memberi banyak kisah, cerita, motivasi, dan waktunya selama menempuh perkuliahan.
17. Semua pihak yang telah memberi bantuan, dukungan, serta doa yang tidak dapat disebutkan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak guna dijadikan bahan evaluasi untuk meningkatkan kualitas kedepannya. Skripsi ini adalah kolaborasi dalam eksplorasi ilmu dan kreativitas. Setiap tokoh yang terlibat berperan penting dalam melengkapi setiap lembaran skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini membawa inspirasi bagi para pembaca, untuk mencapai batas-batas yang lebih.

Makassar, 13 Maret 2024

Ayu Indryni



ABSTRAK

AYU INDRYANI. Studi Optimasi Lokasi Penempatan DG Tipe Generator Sinkron pada Sistem Distribusi dengan Metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA) (dibimbing oleh Ardiaty Arief dan Tajuddin Waris)

Dalam sistem tenaga listrik, peningkatan permintaan energi listrik oleh konsumen telah melebihi kapasitas generator yang terhubung ke jaringan yang berakibat negatif terhadap keandalan sistem dan kualitas arus listrik yang diterima oleh konsumen. Salah satu solusi yang diusulkan untuk mengatasi tantangan ini adalah melalui penggunaan pembangkit terdistribusi (DG). Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan penempatan DG guna meningkatkan efisiensi distribusi daya. Salah satu metode kecerdasan buatan yang menunjukkan potensi adalah algoritma penyerbukan bunga (FPA). Selain itu, penerapan DG tipe 3 yang memiliki kemampuan untuk menginjeksikan daya aktif dan reaktif ke dalam sistem, telah terbukti berhasil dalam mengurangi rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan. Hasil analisis dari penelitian ini mengindikasikan bahwa penempatan *single* atau *multi* DG tipe 3 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus menghasilkan penurunan rugi-rugi daya aktif sebesar 64,73% hingga 92,86%, dan penurunan daya reaktif berkisar antara 59,58% hingga 91,3%, dengan mencapai tegangan minimum pada 0,9636 pu. Di skenario yang serupa pada sistem distribusi IEEE 69 bus, penempatan *single* maupun *multi* DG tipe 3 menghasilkan pengurangan kerugian daya aktif sekitar 52,845% hingga 84,98%, serta pengurangan rugi-rugi daya reaktif antara 47,88% hingga 75,33%, dengan tegangan minimum mencapai 0,9668 pu. Penelitian ini menegaskan bahwa penempatan DG tipe 3 secara efektif dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif dan reaktif, sambil meningkatkan profil tegangan dalam sistem distribusi.

Kata kunci : *Distributed Generation* tipe 3 , *Flower Pollination Algorithm* , rugi daya aktif, rugi daya reaktif, profil tegangan.



ABSTRACT

AYU INDRYANI. Optimization Study of DG Placement Location of Synchronous Generator Type in Distribution System with Flower Pollination Algorithm (FPA) Method (supervised by Ardiaty Arief and Tajuddin Waris).

In power systems, the increase in demand for electrical energy by consumers has exceeded the capacity of grid-connected generators which negatively affects system reliability and the quality of electricity received by consumers. One proposed solution to address this challenge is through the use of distributed generation (DG). Many studies have been conducted to optimize DG placement to improve power distribution efficiency. One artificial intelligence method that shows potential is the flower pollination algorithm (FPA). In addition, the application of type 3 DGs, which have the ability to inject active and reactive power into the system, has proven successful in reducing power losses and improving voltage profiles. The analytical results of this study indicate that the placement of *single* or *multiple* type 3 DGs on an IEEE 33 bus radial distribution system results in a reduction in active power losses of 64.73% to 92.86%, and a reduction in reactive power ranging from 59.58% to 91.3%, while achieving a minimum voltage at 0.9636 pu. In a similar scenario in the IEEE 69 bus distribution system, the placement of *single* and *multi* DG type 3 resulted in a reduction in active power losses of approximately 52.845% to 84.98%, and a reduction in reactive power losses ranging from 47.88% to 75.33%, with the minimum voltage reaching 0.9668 pu. This study explains that the placement of type 3 DGs can effectively reduce active and reactive power losses, while improving the voltage profile in the distribution system.

Keywords: Distributed Generation type 3, Flower Pollination Algorithm, active power loss, reactive power loss, voltage profile.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sistem Distribusi	6
2.1.1 Pengertian Sistem Distribusi	6
2.1.2 Sistem Distribusi Radial	8
2.2 Analisis Aliran Daya	8
2.3 Analisis Aliran Daya Pada Sistem Distribusi Radial	10
2.2.1 Pendahuluan.....	10
2.2.2 <i>Backward and Forward Sweep (BFS)</i>	10
2.4 FPA (<i>Flower pollination algorithm</i>).....	13
2.5 ABC (<i>Artificial Bee Colony</i>).....	17
2.6 DG (<i>Distributed Generation</i>).....	19
2.5.1 Pengertian DG (<i>Distributed Generation</i>)	19
2.5.2 Klasifikasi <i>Distributed Generation</i>	21
Keuntungan dari <i>Distributed Generation</i>	22
Generator Sinkron	23
Fungsi objektif dan fungsi kendala	25



2.6.1	Fungsi Objektif.....	25
2.6.2	Fungsi Kendala.....	26
2.8	<i>State of the art</i>	28
BAB III METODE PENELITIAN.....		34
3.1	Judul Penelitian.....	34
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	34
3.3	Alat dan Bahan.....	34
3.4	Teknik Pengambilan data.....	34
3.5	Alur penelitian.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		45
4.1	Optimasi Penempatan <i>Single</i> DG Tipe 3 (generator sinkron) Pada Sistem Distribusi IEEE 33 Bus.....	45
4.2	Optimasi Penempatan <i>Multi</i> DG Tipe 3 (generator sinkron) Pada Sistem Distribusi IEEE 33 Bus.....	54
4.3	Optimasi Penempatan <i>Single</i> DG Tipe 3 (generator sinkron) Pada Sistem Distribusi IEEE 69 Bus.....	64
4.4	Optimasi Penempatan <i>Multi</i> DG Tipe 3 (generator sinkron) Pada Sistem Distribusi IEEE 69 Bus.....	73
4.5	Validasi Hasil Optimasi.....	85
4.5.1	Validasi Metode FPA dan ABC pada Optimasi Penempatan DG tipe 3 atau Generator Sinkron Sistem Distribusi IEEE 33 Bus.....	85
4.5.2	Validasi Metode FPA dan ABC pada Optimasi Penempatan DG tipe 3 atau Generator Sinkron Sistem Distribusi IEEE 69 Bus.....	96
4.5.3	Validasi metode <i>Backward-Forward Sweep</i> sebagai metode analisa aliran daya.....	107
4.6	Rekapitulasi Hasil Optimasi.....	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		112
5.1	Kesimpulan.....	112
5.2	Saran.....	113
DAFTAR PUSTAKA.....		113



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Proses penyaluran daya listrik.....	6
Gambar 2	Jaringan distribusi radial	7
Gambar 3	Contoh hubungan 2 bus pada sistem distribusi	11
Gambar 4	Single line diagram sistem distribusi radial IEEE 33 bus	35
Gambar 5	Single line diagram sistem distribusi radial IEEE 69 bus	37
Gambar 6	Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 7	Diagram alir simulasi program matlab.....	42
Gambar 8	Diagram alir metode FPA	43
Gambar 9	Diagram alir metode ABC	44
Gambar 10	Profil tegangan minimum pada kondisi awal dan setelah optimasi penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus	48
Gambar 11	Perbandingan rugi daya aktif pada kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus	49
Gambar 12	Perbandingan rugi daya reaktif pada kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus	49
Gambar 13	Grafik profil tegangan setiap bus kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus	52
Gambar 14	Profil tegangan minimum pada kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus	58
Gambar 15	Perbandingan rugi daya aktif pada kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus	58
Gambar 16	Perbandingan rugi daya reaktif pada kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus	59
Gambar 17	Grafik profil tegangan setiap bus pada kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus	62
Gambar 18	Profil tegangan minimum kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus	67
	19 Perbandingan rugi daya aktif kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus	68
	20 Perbandingan rugi daya aktif kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus	68



- Gambar 21 Grafik profil tegangan setiap bus kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus.72
- Gambar 22 Profil tegangan minimum kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus78
- Gambar 23 Perbandingan rugi daya aktif kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus79
- Gambar 24 Perbandingan rugi daya reaktif kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus79
- Gambar 25 Grafik profil tegangan setiap bus kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus83



DAFTAR TABEL

Table 1	Istilah dalam metode FPA.....	15
Table 2	Representasi algoritma ABC untuk optimasi DG	19
Table 3	Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan	21
Table 4	Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan.....	21
Table 5	State of the art	28
Table 6	Bus data IEEE 33 bus.....	35
Table 7	Line data IEEE 33 bus.....	36
Table 8	Bus data IEEE 69 bus.....	37
Table 9	Line data IEEE 69 bus.....	39
Table 10	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,95 pada penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan metode FPA	46
Table 11	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,95 pada penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan metode FPA	46
Table 12	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,85 pada penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan metode FPA	47
Table 13	Data Optimasi penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan menggunakan metode ABC.....	48
Table 14	Profil tegangan setiap bus pada kondisi awal dan optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus.....	50
Table 15	Data hasil optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus.....	53
Table 16	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,95 dengan penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 Bus dengan metode FPA	54
Table 17	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,90 dengan penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 Bus dengan metode FPA	55
Table 18	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,85 dengan penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan metode FPA	56
	Data Optimasi penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan menggunakan metode ABC.....	57



Table 20	Profil tegangan setiap bus pada kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus60
Table 21	Data hasil optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus63
Table 22	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,95 dengan penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 69 bus dengan metode FPA64
Table 23	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,90 dengan penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 69 bus dengan metode FPA65
Table 24	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,85 dengan penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 69 bus dengan metode FPA65
Table 25	Data Optimasi penempatan single DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 69 bus dengan menggunakan metode ABC.....66
Table 26	Profil tegangan setiap bus kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus69
Table 27	Data hasil optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus.....73
Table 28	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,95 pada penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 33 bus74
Table 29	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,90 pada penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 69 bus75
Table 30	Data hasil optimasi dengan faktor daya 0,90 pada penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 69 bus76
Table 31	Data Optimasi penempatan multi DG tipe 3 pada sistem distribusi IEEE 69 bus dengan menggunakan metode ABC.....77
Table 32	Profil tegangan setiap bus kondisi awal dan sesudah optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus80
Table 33	Data hasil optimasi penempatan multi DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus84
Table 34	Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 3 dengan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....85
Table 35	Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 3 dengan metode ABC pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....87
Table 36	Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 3 dengan penukaran kapasitas serta lokasi DG pada kedua metode.....89
	Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 3 dengan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....89
	Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 3 dengan metode ABC pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....92



Table 39	Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 3 dengan penukaran kapasitas serta lokasi DG pada kedua metode.....	95
Table 40	Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 3 dengan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	96
Table 41	Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 3 dengan metode ABC pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	98
Table 42	Validasi hasil optimasi pada penempatan single DG tipe 3 dengan penukaran kapasitas serta lokasi DG pada kedua metode.....	100
Table 43	Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 3 dengan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	100
Table 44	Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 3 dengan metode FPA pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	103
Table 45	Validasi hasil optimasi pada penempatan multi DG tipe 3 dengan penukaran kapasitas serta lokasi DG pada kedua metode.....	106
Table 46	Validasi metode BFS.....	107
Table 47	Rekapitulasi hasil optimasi penempatan DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dan 69 bus	109





Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat, meningkatnya kebutuhan konsumen listrik pada sistem tenaga listrik dan kurangnya kemampuan generator yang terhubung pada jaringan berdampak terhadap keandalan sistem, dan kualitas daya yang disalurkan pada konsumen.

Salah satu solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan menambah kapasitas generator pada sistem, peningkatan kapasitas ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menambah kapasitas pembangkit utama atau dengan penambahan generator baru yang terdistribusi di sistem. Pada umumnya biaya investasi yang digunakan cukup besar serta jarak antara pembangkit utama dengan beban terbilang sangat jauh maka untuk penambahan kapasitas pada pembangkit utama dinilai kurang efektif karena dapat meningkatkan rugi-rugi daya oleh hambatan pada penghantar.

Penambahan generator baru atau pembangkit yang terdistribusi termasuk salah satu cara yang terbaik. DG (*Distributed Generation*) merupakan pembangkit dengan kapasitas yang terbilang kecil terletak pada sistem distribusi tenaga listrik yang lebih dekat dengan konsumen. Pemasangan DG pada saluran distribusi dapat meningkatkan keandalan sistem serta kualitas daya yang ada pada sistem juga akan semakin membaik (Luthfi dan Handoko, 2013).

Banyak penelitian terkait optimasi penempatan DG dengan tujuan mengoptimalkan penyaluran daya yang akan diterima oleh konsumen nantinya. Namun kebanyakan dari penelitian terkait dalam pengaplikasiannya menggunakan DG dengan keluaran daya aktif saja. Untuk DG dengan keluaran daya aktif dan daya reaktif oleh Chandra Lima dkk. terkait dengan penelitian yang

udah lakukan dengan judul "*Studi Optimasi Penentuan Penempatan ed Generator pada Sistem Distribusi Tiga Fasa dengan Metode Binary rogramming (BLP)*", didapatkan hasil dapat mengurangi jatuh tegangan



serta menaikkan tegangan di tiap bus. Namun pada penelitian ini ada dua tipe DG yang digunakan DG tipe Pembangkit listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Empat jenis injeksi atau keluaran daya pada *distributed generation* (DG) sebagai berikut: tipe pertama yaitu tipe 1 dengan injeksi daya nyata contohnya seperti yang terjadi pada sumber fotovoltaik. Selanjutnya tipe 2 adalah DG yang memberikan injeksi daya reaktif seperti halnya kapasitor dan kompensator. Kemudian tipe 3 dengan injeksi daya aktif dan juga daya reaktif, DG ini dikaitkan dengan generator sinkron atau pembangkit-pembangkit listrik termal sebagai salah satu contohnya. Dan yang terakhir ialah DG tipe 4 dengan injeksi daya aktif yang bersamaan dengan konsumsi daya reaktif, seperti generator induksi (Chang dan Saha, 2011).

Pada tugas akhir ini, dibuat metode optimalisasi penempatan *distributed generation* (DG) tipe 3 atau generator sinkron dengan hanya menggunakan satu tipe DG untuk menentukan lokasi penempatan yang tepat agar keandalan sistem serta kualitas daya yang disalurkan dapat meningkat. Penelitian kali ini menggunakan model distribusi radial IEEE 33, 69 bus dan untuk sistem real digunakan sistem distribusi di sistem Sulbagsel. Metode optimalisasi daya yang digunakan adalah *Flower Pollination Algorithm* (FPA).

Flower Pollination Algorithm (FPA) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk penyelesaian permasalahan *real* yang terinspirasi dari proses penyerbukan bunga. Lebih optimal jika dibandingkan dengan metode metaheuristic seperti *Genetic Algorithm* (GA) and *Particle Swarm Optimization* (PSO), dari segi keluaran yang lebih baik, kecepatan konvergen yang lebih tinggi serta tingkat keberhasilan yang lebih optimal dibanding dengan kedua metode ini (Santoso, 2020).



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara penentuan posisi dan kapasitas optimal DG tipe generator sinkron pada sistem radial dengan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)?
2. Bagaimana pengaruh penempatan DG tipe generator sinkron pada sistem distribusi radial dengan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)?
3. Bagaimana efektivitas metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA) dalam menentukan lokasi dan kapasitas optimal *Distributed Generation* (DG) tipe 3 atau generator sinkron, dan bagaimana perbandingan hasilnya dengan metode pembanding *Artificial Bee Colony* (ABC)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sesuai dengan rumusan masalah yang ada yaitu dapat mengetahui:

1. Menentukan posisi dan kapasitas optimal DG tipe 3 atau generator sinkron pada sistem radial dengan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
2. Mengetahui pengaruh penempatan DG tipe 3 atau generator sinkron pada sistem distribusi radial dengan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
3. Menguji efektivitas metode FPA dalam menentukan lokasi dan kapasitas optimal DG tipe 3 atau generator sinkron dan membandingkan hasilnya dengan metode pembanding ABC (*Artificial Bee Colony*).



rumusan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah. Agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang digunakan adalah sistem distribusi radial IEEE 33 bus, 69 bus.
2. DG yang disimulasikan adalah DG tipe 3 atau generator sinkron yang menginjeksikan daya aktif dan reaktif.
3. Profil tegangan yang diizinkan setelah pemasangan DG adalah 0,95 – 1,05 pu sesuai standar IEEE.
4. Tujuan penelitian adalah meminimalkan rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan.
5. Simulasi dilakukan menggunakan software MATLAB R2021a.
6. Metode aliran daya yang digunakan pada penelitian ini adalah *backward and forward Sweep* (BFS).
7. Metode optimasi yang digunakan adalah *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
8. Optimasi tidak memperhitungkan biaya ekonomis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini:

1. Memberikan informasi mengenai penempatan DG pada sistem guna mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan.
2. Memberikan informasi mengenai metode *Flower Pollination Algorithm* dalam optimasi penempatan DG pada sistem distribusi.



3. Memberikan informasi mengenai kondisi rugi-rugi daya dan profil tegangan pada sistem distribusi kondisi awal dan sesudah melakukan optimasi penempatan DG dengan metode *Flower Pollination Algorithm*.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan usulan proposal penelitian ini sistematika penulisan yang digunakan agar pembahasan dapat terstruktur dengan baik adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas terkait materi-materi yang berhubungan dengan penelitian, materi tersebut diambil dari berbagai referensi.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta tahapan dalam melakukan penelitian.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang data penelitian, hasil simulasi penelitian, serta perbandingan penelitian dengan metode lain.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.



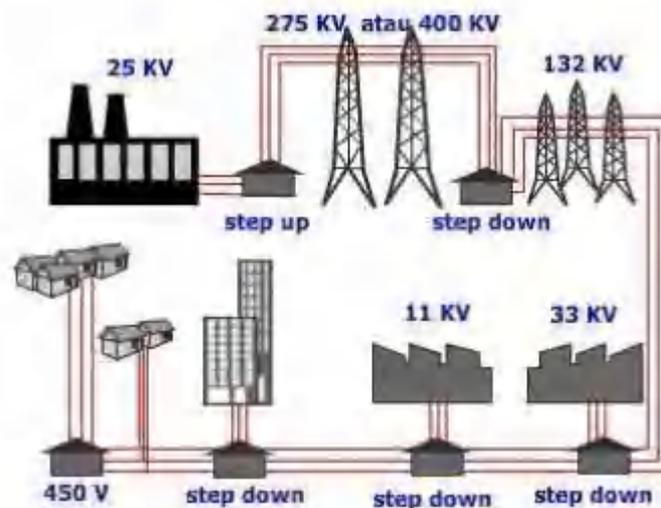
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi

2.1.1 Pengertian Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan sistem penyalur daya listrik yang langsung terhubung dengan konsumen atau beban. Menyalurkan daya listrik dari gardu induk transmisi menuju ke titik-titik beban. Prosesnya dimulai dari pembangkit utama yaitu generator yang bertegangan 11 kV – 20 kV. Kemudian tegangan dari keluaran generator ini dinaikkan melalui trafo *step up* menjadi 70 kV-500 kV. Hal ini bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya yang ada pada saluran transmisi yang disebabkan besarnya hambatan kabel serta besarnya arus yang mengalir di saluran. Setelah melalui sistem transmisi tegangan akan kembali diturunkan oleh trafo *step down* pada gardu distribusi dengan tegangan 20 kV, gardu ini dijuluki gardu induk distribusi primer. Kemudian sebelum disalurkan langsung pada konsumen tegangan diturunkan sekali lagi menjadi 220/380 V, saluran ini disebut saluran distribusi sekunder (Ariyanto 2017). Proses penyaluran daya listrik dari pembangkit sampai konsumen lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses penyaluran daya listrik
Sumber: (Satria, 2015)



Ditinjau dari segi konfigurasi jaringan primernya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu :

1 Sistem jaringan radial

Struktur dari sistem ini merupakan jaringan yang tergolong paling sederhana, dari metodenya juga mudah serta langsung terhubung dari titik pembangkit ke konsumen.

2 Sistem jaringan loop

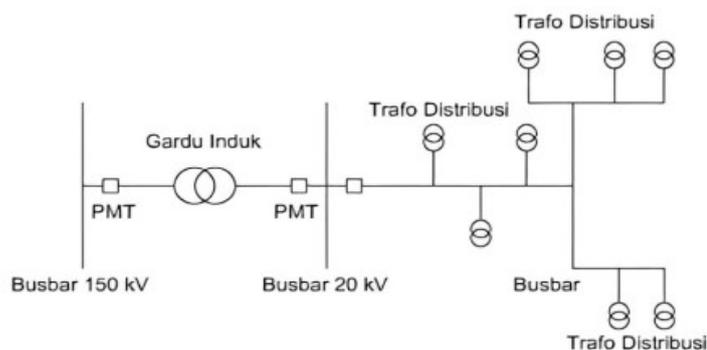
Struktur dari sistem ini terdapat dua sumber dengan satu sumbernya menjadi cadangan, sehingga keandalan yang didapat cukup tinggi, untuk sistem ini banyak digunakan pada jaringan umum serta industri (Satria, 2015)

3 Sistem jaringan *spindel*

Struktur sistem ini adalah perpaduan pola jaringan antara radial dan loop, yang terdiri dari penyulang aktif dan penyulang cadangan atau *express feeder*.

4 Sistem jaringan gugus atau cluster

Sering digunakan pada kota besar dengan kerapatan beban yang tinggi. Terdapat suatu saklar pemutus pada beban dan juga penyulang atau *feeder* cadangan yang berfungsi saat terjadi gangguan pada salah satu *feeder* konsumen, maka *feeder* cadangan akan berfungsi. Bedanya dengan *spindle* untuk pola gugus operasinya lebih mudah, Panjang jaringannya bisa lebih pendek pada kawasan yang sama serta tidak memerlukan gardu hubung dalam satu tempat (Yolnasdi dkk , 2020).



Gambar 2 Jaringan distribusi radial
Sumber: (Ariyanto, 2017)



2.1.2 Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial adalah salah satu bentuk jaringan yang paling sederhana serta paling sering digunakan dan tergolong ekonomis. Kata radial digunakan karena salurannya ditarik secara radial dari suatu titik sebagai sumber dari sistem yang kemudian di cabang-cabangkan ke beberapa titik konsumen atau beban yang dilayani (Ariyanto, 2017). Bentuk sistem radial ini jika diperhatikan bentuknya seperti pohon dengan jalur utama yang terhubung pada jalur yang lebih kecil yang langsung menuju konsumen (Amanullah dkk., 2016).

Beberapa spesifikasi dari pola jaringan radial yaitu (Ariyanto, 2017):

- a. Untuk pola jaringan sederhana.
- b. Memiliki biaya investasi yang terbilang murah.
- c. Untuk rugi tegangan dan rugi dayanya relatif besar jadi kualitas pelayanannya juga relatif jelek.
- d. Antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran jadi ketika terjadi gangguan maka lokasi sesudah atau di bagian belakang dari titik gangguan akan mengalami pemadaman total selama gangguan yang terjadi belum dibereskan.

Adapun kerugian yang didapatkan pada pola jaringan radial ini ialah mutu tegangan yang ada pada gardu distribusi ujung saluran dari satu sistem kurang baik, hal ini disebabkan karena ujung saluran memiliki jatuh tegangan yang paling besar. Semakin besar jumlah beban yang ada pada tiap bus maka tegangan jatuh yang ada juga ikut semakin besar (Ariyanto, 2017).

2.2 Analisis Aliran Daya

Analisa aliran daya adalah suatu analisis mengenai sistem tenaga listrik, baik itu dalam perencanaan sistem yang baru ataupun sistem yang sedang beroperasi. Pada intinya yang menjadi titik fokus pada analisis aliran daya adalah menentukan besar sudut fasa tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem dengan data tersebut maka untuk daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sudah ditung berapa besarnya. Ketika pada suatu bus daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sudah diketahui maka aliran daya sudah dapat dianalisis serta rugi-rugi



daya saluran penghubungnya juga dapat diketahui (Hizbullah, Robandi, dan Anam, 2012).

Hal dasar yang didapatkan dalam studi aliran daya adalah magnitude dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, serta aliran daya aktif (P) dan aliran daya reaktif (Q) pada setiap saluran, Ketika semuanya tidak diketahui maka data yang diperlukan ialah matriks Y_{bus} atau matriks Z_{bus} dari sistem yang ingin dianalisis (Hizbullah dkk., 2012).

Pada umumnya tujuan analisis aliran daya terbagi atas tiga yaitu:

1. Untuk memastikan tegangan serta sudut fasa pada masing-masing bus
2. Untuk memastikan kemampuan semua peralatan yang terdapat pada sistem apakah mampu untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk mendapatkan kondisi awal perancangan selanjutnya, seperti studi hubung singkat, studi rugi-rugi transmisi dan studi stabilitas (Sulaiman, 2015).

Kemudian data jenis-jenis bus, semua sudah termasuk ke dalam jenis *load* bus (bus beban) dan bus generator. Namun pada bus generator yang memiliki kapasitas daya paling besar pada sistem disebut *swing* bus. *Swing* bus atau dikenal juga dengan bus referensi atau *slack* bus adalah bus dengan besaran dan sudut fasa yang selalu tetap yang telah diberikan sebelumnya, bus ini bertujuan untuk mencari rugi-rugi, serta kekurangan daya yang ada pada sistem, posisi *swing* bus sangatlah penting dikarenakan kekurangan daya bisa saja terjadi pada sistem oleh sebab itu diperlukan bus yang memiliki daya yang tergolong besar agar dapat mengimbangi rugi-rugi. Sedangkan bus generator atau bus pembangkit tegangan dan daya aktifnya (P) ditentukan, sedangkan daya reaktif (Q) dan sudut fasa tegangan didapat dari hasil perhitungan. Untuk bus beban, daya aktif (P) dan daya reaktifnya (Q) yang diketahui sedangkan dua lainnya didapat dari hasil perhitungan (Sulaiman, 2015).



2.3 Analisis Aliran Daya Pada Sistem Distribusi Radial

2.2.1 Pendahuluan

Pada sistem distribusi untuk analisis aliran dayanya tidak jauh beda dengan analisis aliran daya yang ada pada sistem transmisi. Keduanya sama-sama mencari atau menghitung seberapa besar daya yang ada pada setiap saluran, baik itu daya aktif (P) ataupun daya reaktif (Q) serta arusnya. Namun jika perhitungan analisis aliran daya yang ada pada sistem transmisi diterapkan pada sistem distribusi maka perhitungan analisis aliran dayanya akan kesulitan untuk mencapai konvergen. Hal ini dikarenakan pada sistem distribusi memiliki banyak cabang serta beban yang terpasang juga terbilang banyak menyebabkan rasio R/X tinggi. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu teknik iterasi yang tepat agar perhitungan pada analisis aliran daya pada sistem distribusi radial lebih mudah untuk konvergen (Amanullah dkk. 2016).

2.2.2 *Backward and Forward Sweep (BFS)*

Pada studi aliran daya untuk mendapatkan nilai arus, daya yang mengalir pada sistem, dan tegangan pada setiap bus. Adapun beberapa metode aliran daya yang digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis suatu sistem.

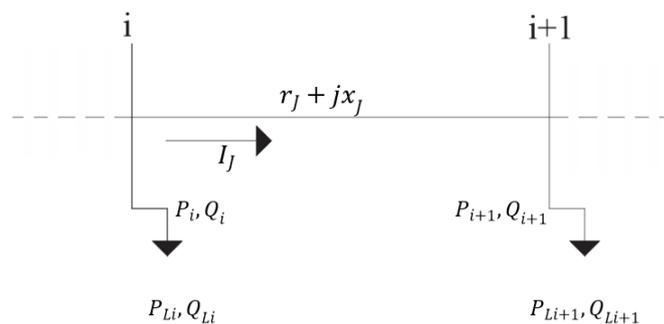
- a. Metode Gauss Seidel
- b. Metode Newton Raphson
- c. Metode Fast Decoupled

Selain ketiga metode diatas, dalam menganalisis aliran daya ditemukan satu metode lain yaitu *backward – forward sweep* jaringan distribusi radial diibaratkan seperti pohon dengan bus pertama adalah *slack* bus atau akar pada pohonnya. Kemudian bus lain sebagai bus beban atau cabang dari pohon tersebut (Novialifiah dkk., 2014) . Kelebihan dari metode ini adalah perhitungan tidak terlalu banyak serta lebih efisien pada setiap iterasinya.



menggunakan hukum Kirchoff sebagai prinsip utama dalam perhitungan metode *backward-forward sweep* dimulai dengan *backward sweep* yaitu dengan aliran arus beban yang ada pada bus paling ujung atau bus terakhir

dalam sistem kemudian menuju ke titik sumber. Kemudian *forward sweep* dengan mengalihkan arus yang telah didapat dari langkah *backward* dengan impedansi pada setiap saluran sehingga didapatkan nilai drop tegangan pada setiap bus (Ariyanto, 2017). Pada intinya untuk mengetahui aliran daya pada metode *backward forward sweep* dimulai dengan menghitung aliran arus beban pada bus terakhir menuju ke titik sumber (*backward*), kemudian akan dihitung berapa tegangan magnitude dan juga sudut fasa pada setiap bus yang dimulai dari titik sumber ke bus yang terakhir (*forward*). Dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan hubungan antara 2 bus serta perhitungan *backward* untuk mendapatkan nilai P_i dan Q_i yang melewati bus 'j' dari 'i' ditunjukkan pada Persamaan (1) dan (2).



Gambar 3 Contoh hubungan 2 bus pada sistem distribusi
Sumber: (Ariyanto, 2017)

Keterangan :

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'

$$P_i = P_{i+1} + r_j \left(\frac{(P_{i+1})^2 + (Q_{i+1})^2}{|V_{i+1}|^2} \right) \quad (1)$$

$$= Q_{i+1} + x_j \left(\frac{(P_{i+1})^2 + (Q_{i+1})^2}{|V_{i+1}|^2} \right) \quad (2)$$



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

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

Untuk nilai tegangan magnitude serta sudut fasa pada suatu bus dibutuhkan dalam perhitungan *forward*. Perhitungan dengan metode *forward* termasuk $V_i < \delta_i$ pada bus 'i' serta V_{i+1} pada bus 'i+1' untuk Gambar 3 dinyatakan dalam Persamaan (5)

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

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

Dari kedua Persamaan (5) dan (6) dapat dinyatakan:

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

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

Dari Persamaan (5) dan (6) maka didapatkan Persamaan (9)

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

Untuk sudut tegangan δ_{i+1} dapat diturunkan di Persamaan (8) menjadi:

$$\tan \tan (\delta_{i+1} - \delta_i) = \left(\frac{Q_i r_j + P_i x_j}{((V_i)^2 - P_i r_j + Q_i x_j)} \right)$$

(10)

$$\delta_{i+1} = \delta_i - \arctan \left(\frac{Q_i r_j + P_i x_j}{((V_i)^2 - P_i r_j + Q_i x_j)} \right) \quad (11)$$



Pada metode *forward* untuk persamaan magnitude serta sudut fase secara berulang untuk menghitung berapa jumlah tegangan dan sudut seluruh bus yang ada dalam sistem distribusi radial.

Rugi-rugi pada bus 'J' dapat dihitung menggunakan Persamaan (12) serta (13)

$$P_{loss(J)} = R_j \left(\frac{(P_A^2 + jQ_A^2)}{|V_A|^2} \right) \quad (12)$$

$$Q_{loss(J)} = X_j \left(\frac{(P_A^2 + jQ_A^2)}{|V_A|^2} \right) \quad (13)$$

Total rugi-rugi daya nyata dan daya reaktif dapat diketahui lewat perhitungan menggunakan Persamaan (14) dan (15)

$$TPL = \sum_{j=1}^{br} P_{loss(J)} \quad (14)$$

$$TQL = \sum_{j=1}^{br} Q_{loss(J)} \quad (15)$$

Untuk setiap bus, profil tegangan dianggap 1 pu. Kemudian daya yang ada pada cabang dihitung secara berulang dengan nilai tegangan yang baru pada setiap bus yang ada. Terakhir untuk keadaan konvergen dapat dicapai saat perbedaan tegangan magnitude pada cabang bernilai 0.0001.

2.4 FPA (*Flower pollination algorithm*)

Flower pollination algorithm (FPA), merupakan salah satu metode optimasi dengan konsep penyerbukan bunga atau polinasi. Secara umum, setiap tanaman memiliki bunga, kemudian bunga-bunga yang ada akan melepaskan sangat banyak serbuk sari (Lastomo, 2016). Pada intinya untuk metode ini serbuk sari jatuh ke kepala putik, proses jatuhnya benang sari ke atas kepala putik memiliki banyak cara, contohnya tertiuip oleh angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Pelaku penyerbukan dalam hal ini disebut polinator. Dalam proses polinasi tentu bunga yang dihinggapi oleh polinator ialah bunga dengan penampilan yang terbaik dengan kata lain penampilannya menarik hal inilah yang menjadi acuan dijalankannya metode FPA (Santoso, 2020).

Metode optimasi FPA dapat diterapkan pada masalah optimasi mungkin dan juga meminimumkan. Adapun idealisasi yang dilakukan karakteristik dari fenomena penyerbukan bunga:



1. Penyerbukan silang serta penyerbukan biotik diasumsikan sebagai penyerbukan skala global dengan polinator pembawa serbuk sari yang melakukan *Levy Flights*.
2. Penyerbukan sendiri serta penyerbukan abiotik diasumsikan sebagai penyerbukan lokal.
3. Peluang reproduksi proporsional dengan similaritas yang berasal dari dua bunga yang terlibat disebut *flower constancy*.
4. Penyerbukan global serta penyerbukan lokal dirancangkan oleh peluang peluang perpindahan.

Pada algoritma ini terdapat dua langkah kunci, yaitu penyerbukan global serta penyerbukan lokal. Penyerbukan global dengan langkah awal serbuk sari dari suatu bunga dibawa oleh polinator seperti serangga atau burung, selanjutnya serbuk sari ini dapat melakukan perjalanan jarak jauh karena sebagaimana kita tahu bahwa serangga dan burung dapat berpindah tempat dengan jarak yang lumayan jauh. Hal ini dapat menghasilkan solusi yang dipresentasikan pada aturan pertama (Djalal dkk., 2017).

Polinasi global serbuk sari, dapat dengan jauh dibawa oleh polinator. Hal ini untuk memastikan suatu solusi dengan keluaran hasil yang terbaik (*fitness*) yang dipresentasikan dengan g^* . Hubungan ini dapat dinyatakan dengan Persamaan (16).

Dimana:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(g * -x_i^t) \quad (16)$$

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

L = persamaan dari jarak terbang serangga (polinator)

L pada Persamaan (16) memiliki sebutan lain yaitu fungsi *Levy*. Parameter l ialah pada penyerbukan. Fungsi *Levy* dinyatakan dengan Persamaan (17).



$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin \sin \left(\frac{\pi \lambda}{2} \right)}{\pi} \cdot \frac{1}{x^{1+\lambda}}, (\delta \gg \delta_0 > 0)$$

(17)

$\Gamma(\lambda)$ adalah fungsi gamma, dan Persamaan (17) bernilai valid saat $\delta > 0$, pada teorinya nilai $\delta_0 = 0,1$.

Penyederhanaan yang dilakukan bahwa setiap tumbuhan hanya memiliki satu bunga serta bunga hanya dapat memproduksi satu serbuk sari disimpulkan sebagai solusi x_i sebanding dengan jumlah bunga. Istilah-istilah dalam metode optimasi FPA terlampir pada Tabel 1 (Augusta, 2018).

Table 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	<i>Probability Switch</i>
Banyak Solusi yang ingin Didapatkan	Dimensi

Sumber: (Augusta, 2018)

Berikut penjelasan dari variabel yang ada diatas:

1. Fenomena penyerbukan bunga diartikan sebagai permasalahan optimasi, untuk penelitian ini permasalahan optimasi penempatan lokasi bus serta kapasitas dari DG.



Populasi bunga diartikan sebagai impedansi pada setiap saluran antar bus serta data beban pada setiap bus.

3. Tingkat kecocokan bunga diartikan sebagai fungsi objektif DG, fungsi yang digunakan pada penelitian ini adalah fungsi aliran daya *backward forward sweep* yang ditambahkan variabel untuk memasukkan lokasi bus dan nilai kapasitas injeksi daya aktif dan reaktif sebagai variabel untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial.
4. Usaha penyerbukan diartikan sebagai iterasi program optimasi, pada percobaan ini iterasi yang ditentukan sebanyak 5000 kali untuk memperoleh nilai yang konvergen.
5. Polinator atau variabel yang bertugas melakukan penyerbukan diartikan sebagai solusi yang diusahakan program untuk mendapat nilai fungsi objektif sesuai dengan batasan yang diberikan.
6. Probability *switch* disini ialah kemungkinan terjadinya polinasi lokal maupun global. Polinasi global adalah suatu proses dimana variabel yang akan diuji pada fungsi objektif akan ditambahkan variabel fungsi Levy guna mendapatkan solusi yang terbaik.
7. Banyaknya solusi yang ingin didapatkan diartikan sebagai dimensi. Percobaan ini memiliki dimensi yang ingin didapatkan sebanyak 6 buah, yaitu 3 posisi bus optimal pemasangan DG dan 3 kapasitas optimal masing-masing DG.

Metode FPA pada penelitian ini ditujukan dalam pengoptimasian posisi bus dan kapasitas DG sesuai Persamaan (17) dengan Batasan (*constraints*) terlampir pada Persamaan (18) serta (19) untuk sistem IEEE 33 bus.

$$2 \leq x_{bus} \leq 33 \quad (18)$$

$$1 \leq x_{kapasitas} \leq 5000 \quad (19)$$



dan:

x_{bus} = solusi posisi bus

$$x_{kapasitas} = \text{solusi kapasitas DG}$$

Nilai 2 pada Persamaan (18) merupakan batas posisi bus DG yang akan dipasang nantinya pada sistem, sedangkan untuk 33 merupakan batas atas posisi dari bus. Untuk Persamaan (19) merupakan batas minimal dari kapasitas DG yaitu 1 kW, sedangkan 5000 ialah 5000 kW merupakan batas maksimal DG yang digunakan.

Berkaitan dengan Persamaan (9) untuk mencari berapa profil tegangan yang ada pada sistem distribusi 33 bus, diberikan Batasan pada Persamaan (20) agar solusi dari x_{bus} dan $x_{kapasitas}$ memenuhi tujuan optimasi yaitu mengurangi rugi-rugi daya dan juga meningkatkan profil tegangan yang ada pada sistem.

$$V_{\min} \geq V_{bus} \geq V_{maks} \quad (20)$$

Keterangan:

$$V_{\min} = 0,95 \text{ pu}$$

$$V_{maks} = 1,05 \text{ pu}$$

Setelah optimasi dilakukan aliran daya harus memenuhi beberapa Batasan diatas agar mendapatkan solusi x_{bus} dan $x_{kapasitas}$ pada metode optimasi FPA (Augusta, 2018).

2.5 ABC (*Artificial Bee Colony*)

Merupakan salah satu metode yang digunakan dalam mencari nilai optimal yang merujuk pada tingkah laku koloni lebah dalam mencari makanannya. Ada tiga kelompok koloni lebah yaitu, lebah pekerja, lebah *onlooker* (penonton) dan lebah *scout* (pramuka) (sulistyono, 2010). *Onlooker* adalah lebah yang akan menunggu di dance area atau di sarang dan ketika ada lebah lain yang datang membawa makanan, lebah *onlooker* yang akan membuat pilihan terhadap makanan atau tersebut, dan untuk lebah yang pergi ke sumber makanan yang memangnya dikunjungi sebelumnya disebut lebah pekerja, dan yang terakhir



adalah lebah *scout*, lebah yang melakukan pencarian secara acak disebut *scout* (Karaboga, 2005).

Adapun langkah-langkah utama dalam proses algoritma ABC sebagai berikut:

1. Menentukan posisi dari *nectar* atau sumber makanan.
2. Menggerakkan lebah pekerja ke lokasi sumber makanan dan menentukan jumlah *nectar*.

Untuk setiap lebah pekerja yang ada, sumber makanan yang baru dihasilkan dapat dirumuskan

$$V_{ij} = X_{ij} + \varphi_{ij} (X_{ij} - X_{kj}) \quad (21)$$

3. gerakkan lebah pengamat atau *onlooker* ke sumber-sumber makanan dan hitung jumlah *nectar*-nya. Pada tahap ini, lebah pengamat memilih satu sumber makanan dengan menggunakan perhitungan probabilitas dan mendapatkan sumber makanan baru di dalam area makanan yang telah dipilih menggunakan rumusan:

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{SN} fit_i} \quad (22)$$

4. Identifikasi sumber makanan yang perlu ditinggalkan dan pilih lebah pekerja sebagai penjelajah atau *scout* untuk mencari sumber makanan baru melalui pencarian acak dengan menggunakan rumus:

$$X_i^j = X_{min}^j + rand [0,1] (X_{max}^j - X_{min}^j) \quad (23)$$

5. Catat sumber makanan terbaik yang sudah ditemukan sampai saat ini.
6. Lanjutkan langkah 2-5 secara berulang sampai kriteria yang diinginkan terpenuhi.



Algoritma ABC untuk penempatan kapasitas DG. Pada beberapa langkah yang diperhatikan dalam melakukan optimasi penempatan serta penentuan lokasi dari DG, yang pertama ialah dengan mempresentasikan bagaimana parameter-parameter yang dibutuhkan dalam penentuan lokasi DG menjadi

parameter algoritma ABC sehingga nantinya untuk bagian pencarian secara acak oleh lebah nantinya dapat dilakukan (Hizbullah,dkk., 2012).

Table 2 Representasi algoritma ABC untuk optimasi DG

Algoritma ABC	Optimasi Pemasangan DG
Posisi Sumber Makanan	Kandidat Kapasitas DG yang akan dipasang
Jumlah Sumber Makanan atau Jumlah Lebah	Jumlah bus yang menjadi kandidat tempat pemasangan DG
Fungsi Objektif= <i>Fitness</i>	Min ΣP_{loss}

Sumber: (Hizbullah,dkk., 2012)

Dalam proses optimasi, kelompok lebah akan menentukan bus dimana DG akan dipasang dan kapasitas dari DG yang terpasang, dengan tujuan untuk mendapatkan nilai *fitness* yang mencerminkan tingkat kerugian dalam jaringan distribusi.

Kelompok lebah akan tersebar dan secara acak mencari sumber makanan. Setelah menemukan sumber makanan baru, lebah akan menghitung jumlah nektar dari setiap sumber makanan yang ditemukan. Hasil perhitungan dari sumber makanan yang ditemukan akan dipilih dan diingat oleh lebah, sehingga dapat diperoleh sumber makanan terbaik.

Hasil terbaik adalah nilai minimum dari kerugian daya aktif total yang dihasilkan melalui proses seleksi dari berbagai solusi yang terbentuk saat pemasangan DG.

2.6 DG (*Distributed Generation*)

2.5.1 Pengertian DG (*Distributed Generation*)

Distributed Generation (DG) adalah generator-generator yang tersebar atau terdistribusi di dalam sistem tenaga listrik yang terpasang berfungsi untuk menginjeksikan daya aktif (P) serta daya (Q) bertujuan untuk memperbaiki profil tegangan, meningkatkan keandalan sistem. DG memiliki ukuran kapasitas yang kecil dibandingkan dengan pembangkit utama serta jarak peletakan DG dekat dengan beban atau konsumen dengan kata lain berada pada jaringan (Silalahi, dkk., 2017). Banyak literatur yang mengatakan bahwa DG



merupakan pembangkit skala kecil yang tersebar atau terdistribusi pada sistem, namun diantara para ahli masih belum ada persamaan persepsi perihal batasan ukuran serta lokasi penempatan dari DG. Istilah DG hanya digunakan oleh Eropa dan sebagian Asia saja, negara-negara Anglo-Amerika menggunakan istilah *Embedded Generation*, Amerika Utara menggunakan istilah *Dispersed generation*. Hal ini berarti bahwa istilah DG pun masih bermacam-macam (Farihah, 2015).

Selain dari beberapa pengertian yang berbeda, kapasitas DG juga masih memiliki perbedaan dari beberapa lembaga dan institut tertentu. Kapasitas DG sangat penting karena sangat berpengaruh terhadap daya inpuatan yang digunakan untuk dalam menganalisis aliran daya. Beberapa definisi kapasitas DG dari beberapa lembaga riset (Farihah, 2015).

1. *The Electric Power Research Institute* mengartikan DG sebagai pembangkit yang berkapasitas beberapa kilowatt sampai 50 MW.
2. *Gas Research Institute* mengartikan DG sebagai pembangkit yang berkapasitas 25 kW sampai 25 MW.
3. Preston dan Rastler mengartikan DG sebagai pembangkit yang berkapasitas beberapa kilowatt hingga lebih dari 1000 MW.
4. *Cardell* mengartikan DG sebagai pembangkit yang berkapasitas antara 500 kW sampai 1 MW.
5. *International Conference on Large High Voltage Electric System (CIGRE)* mengartikan DG sebagai pembangkit yang berkapasitas antara 50 hingga 100 MW.
6. Karena sangat banyaknya definisi yang berbeda-beda maka klasifikasi DG dibedakan berdasarkan tujuan, kapasitas DG, lokasi penempatan, area pengiriman daya listrik, teknologi, dampak lingkungan mode operasi, kepemilikan dan penetrasi DG ke dalam sistem kelistrikan.

Permasalahan teknis yang berhubungan dengan DG memberikan variasi yang signifikan pada kapasitas pembangkit dari DG. Ha ini menyebabkan



perlu nya pengenalan kategori yang tepat dalam mengklasifikasikan DG berdasarkan kapasitasnya.

2.5.2 Klasifikasi *Distributed Generation*

Ada empat jenis DG yang diklasifikasikan (Fariah, 2015).

Table 3 Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan

Jenis DG	Kapasitas Pembangkit
<i>Micro</i> DG (DG mikro)	1 Watt – 5 kW
<i>Small</i> DG (DG kecil)	5kW – 5MW
<i>Medium</i> DG (DG sedang)	5MW – 50MW
<i>Large</i> DG (DG besar)	50MW – 300MW

Sumber: (Fariah, 2015)

Micro-hydro, panel surya, turbin angin, mesin diesel, sel bahan bakar, serta baterai yang terdiri dari beberapa modul kecil yang biasa dirakit tersendiri oleh pabrik penggunaanya menjadi teknologi DG yang paling sering digunakan agar mempermudah konstruksi serta implementasi pada lokasi DG.

Modul DG tersebut akan cepat beroperasi ketika telah dipasang pada lokasi penempatannya. Masing-masing pada modul bersifat independen, jadi pada saat modul mengalami kerusakan, maka modul yang lain akan tetap beroperasi seperti biasanya. Hal ini yang menjadi kelebihan DG dibanding pembangkit sentral umumnya. Berdasarkan teknologi pembangkitan yang digunakan, DG diklasifikasikan sebagai berikut:

Table 4 Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
Fossil fuel	
<i>Combined cycle gas turbine</i>	35 MW – 400 MW
<i>Internal Combustion Engines</i>	5 kW – 10 MW
<i>Gas Turbine</i>	1 – 250 MW
<i>Hydro turbines</i>	35 kW-1 MW
Renewable Resources	



<i>Small Hydro</i>	1 MW – 100 MW
<i>Micro Hydro</i>	25 kW – 1 MW
<i>Wind Turbine</i>	200 Watt – 3 MW
<i>Photovoltaic Arrays</i>	20 Watt – 1000 kW
<i>Solar Terminal, Central</i>	1 MW – 10 MW
<i>Solar Terminal, Lutz System</i>	10 MW – 80 MW
<i>Biomass, E.G. Based On</i>	100 kW – 20 MW
<i>10kW – 20MW</i>	200 kW – 2MW
<i>Fuel Cells, Solid Exide</i>	50 kW – 2 MW
<i>Geothermal</i>	5 MW – 100 MW
<i>Ocean Energy</i>	100 kW – 1 MW
<i>Stirling Engine</i>	2 kW – 10 kW
<i>Battery Storage</i>	500 kW -5 MW

Sumber: (Ariyanto, 2017)

Selain kapasitas serta teknologi pembangkitan, DG dapat dikelompokkan berdasarkan kemampuan dalam mengirimkan daya aktif (P) serta daya reaktif (Q) (Awansah, dkk., 2018).

1. Tipe 1: merupakan DG yang dapat menginjeksikan daya aktif saja. Contoh dari DG tipe 1 seperti sel surya, mikro turbin serta sel bahan bakar.
2. Tipe 2 : merupakan DG yang dapat menginjeksikan daya reaktif saja. Contoh dari DG tipe 2 seperti kompensator sinkron gas turbin.
3. Tipe 3 : merupakan DG yang mampu menginjeksikan baik daya aktif maupun daya reaktif. Contoh dari DG tipe 3 seperti generator sinkron untuk coingeneration.
4. Tipe 4 : merupakan DG yang mampu menginjeksikan daya aktif namun membutuhkan daya reaktif. Contoh dari DG tipe 4 seperti generator induksi.



untungan dari *Distributed Generation*

Jika dibandingkan dengan pembangkit konvensional, efisiensi yang ada pada *distributed generator* lebih besar. Hal ini dikarenakan *distributed generation* menggunakan teknologi yang masih baru buktinya masih sangat banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensinya. Berikut beberapa keuntungan lain yang dapat diperoleh dari penggunaan *Distributed Generation* antara lain (Ariyanto, 2017).

1. Dari aspek pengguna, memberikan keuntungan karena mempunyai pembangkit cadangan yang dapat meningkatkan keandalan, bukan hanya itu pengguna juga mendapatkan kompensasi dikarenakan pengguna dapat memberikan energi yang mereka bangkitkan sendiri ke sistem tenaga listrik.
2. Dari aspek pengelola jaringan distribusi, DG memungkinkan penambahan kapasitas jaringan transmisi dan juga distribusi yang telah terpasang, bukan hanya itu DG juga berperan dalam melindungi jaringan dari kenaikan beban yang tidak pasti.
3. Dari aspek produksi energi komersial, produsen energi bisa membeli kapasitas yang tersedia pada beberapa unit DG.
4. Dari aspek teknisnya, integrasi DG disistem pada lokasi yang tepat dapat mengurangi rugi-rugi daya, menaikkan profil tegangan, meningkatkan kualitas daya yang disalurkan, serta meningkatkan kendala dan juga kemampuan sistem.
5. Dari aspek ekonomi, integrasi DG dapat menurunkan biaya pengoperasian karena teknologi DG seperti PV, dan turbin angin misalnya memiliki perawatan yang terjangkau dan nilai operasi yang murah.
6. Dari aspek lingkungan, teknologi DG lebih ramah lingkungan karena tidak menimbulkan banyak polusi seperti pembangkit konvensional yang menggunakan fosil sebagai bahan bakar pengoperasiannya.



erator Sinkron

Generator sinkron atau biasa disebut dengan *alternator* ialah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan keluaran berupa tegangan bolak balik. Berubahnya energi tersebut timbul karena adanya gerakan relatif yakni timbulnya transformasi medan magnet yang ada di kumparan jangkar (area timbulnya tegangan pada alternator) akibat adanya gerakan medan magnet terhadap kumparan jangkar.

Tergolong dalam DG tipe 3 yang menghasilkan daya aktif (P) dan juga daya reaktif (Q). Generator memiliki 2 jenis arus yaitu searah dan juga bolak-balik. Arus searah atau arus DC terdapat di kumparan penguat pada bagian generator sedangkan untuk arus AC berada pada kumparan jangkar pada generator. Kedua kumparan ini dapat diletakkan pada bagian rotor maupun stator generator. Untuk generator dengan skala yang lumayan besar kumparan jangkar selalu diletakkan pada stator dengan tujuan menghindari masalah yang mungkin saja muncul pada slip ring generator tersebut.

Pergerakan mula yang terjadi pada generator menghasilkan daya reaktif selanjutnya kumparan penguat yang akan menghasilkan daya reaktif. Daya reaktif yang dihasilkan oleh generator sinkron dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan atau dibutuhkan, caranya dengan mengatur arus yang ada pada kumparan penguat. Namun daya reaktif ini disarankan tidak terlalu besar dikarenakan akan memperbesar *losses*, menurunkan faktor kerja, serta mempengaruhi kapasitas daya yang dihasilkan (Shintawaty, 2013).

Selain Generator Sinkron, Genset dan juga Pembangkit Mikrohidro juga termasuk dalam DG tipe 3 dengan keluaran atau injeksi daya aktif serta daya reaktif.

Genset (Generator Set) adalah suatu perangkat yang menggabungkan pembangkit listrik seperti Generator serta mesin penggerak yang digabungkan dalam satu set unit guna menghasilkan keluaran energi listrik. Pada umumnya ialah sebuah mesin pembakaran dalam motor atau mesin diesel yang akan bahan bakar solar atau bensin. Maka dari itu Genset tergolong dalam pembangkit Listrik Tenaga Diesel) dengan skala yang kecil (Tumilar dkk.,



Kemudian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan energi air sebagai penggerakannya. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai dan air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator akan menghasilkan listrik. Besar daya yang dibangkitkan tergantung dari besar debit sungai dan tinggi terjun air (Adiasa dkk., 2019).

2.7 Fungsi objektif dan fungsi kendala

Fungsi objektif dan fungsi kendala adalah dua konsep penting dalam pemrograman matematika dan optimisasi. Mereka digunakan untuk merumuskan masalah optimisasi dengan cara yang lebih terstruktur.

2.6.1 Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah suatu fungsi matematika yang harus dioptimalkan dalam suatu masalah. Tujuan utama dalam masalah optimisasi adalah mencari nilai input yang meminimalkan atau memaksimalkan nilai fungsi objektif ini, tergantung pada jenis masalah yang dihadapi. Dalam konteks optimasi, fungsi objektif mewakili tujuan yang ingin dicapai.

Strategi yang umumnya digunakan dalam penelitian sebelumnya untuk menemukan nilai optimal dari ukuran dan lokasi DG adalah dengan tujuan meminimalkan kerugian daya dalam sistem. Salah satu indikator pengurangan kerugian daya yang sering digunakan adalah *Real Power Loss Reduction Index* (PLRI), yang didefinisikan dalam persamaan berikut (Rahman, 2018):

$$f_1 = PLRI = \frac{PL_{(base)} - PL_{(DG)}}{PL_{(base)}} \quad (24)$$

Dimana,

PL_{base} adalah rugi daya aktif sebelum pemasangan DG

PL_{DG} adalah rugi daya aktif setelah pemasangan DG



$$PL = \sum_{k=1}^{N_{br}} [I_k]^2 + R_k \quad (25)$$

Dimana,

I_k adalah arus saluran

R_k adalah nilai resistansi dari saluran

Untuk mengidentifikasi dampak DG pada pengurangan kerugian daya reaktif, tolak ukur yang dipergunakan merujuk *Reactive Power Loss Reduksi Factor Index* (QLRI), yang dijelaskan sebagai berikut:

$$f_2 = QLRI = \frac{QL_{(base)} - QL_{(DG)}}{QL_{(base)}} \quad (26)$$

QL_{base} adalah rugi daya reaktif sebelum pemasangan DG

PQL_{DG} adalah rugi daya reaktif setelah pemasangan DG

$$QL = \sum_{k=1}^{N_{br}} [I_k]^2 + X_k \quad (27)$$

I_k adalah arus saluran

X_k adalah nilai resistansi dari saluran

2.6.2 Fungsi Kendala

Fungsi kendala adalah batasan-batasan yang harus dipenuhi dalam pemecahan masalah optimisasi. Dalam banyak masalah, terdapat pembatasan atau kendala yang mengatur ruang lingkup solusi yang diperbolehkan. Solusi optimal harus memenuhi semua kendala yang ada.

Dalam formulasi matematis, fungsi objektif umumnya diekspresikan sebagai suatu



ng harus dioptimalkan (diminimalkan atau dimaksimalkan), sedangkan kendala umumnya terdiri dari sejumlah persamaan atau ketidaksetaraan is dipenuhi oleh solusi optimal.

Untuk memastikan bahwa solusi optimasi tetap mematuhi batasan parameter yang diizinkan, diperlukan penggunaan fungsi kendala dalam proses optimasi. Terdapat empat jenis fungsi kendala yang biasanya digunakan:

1. Kendala operasi DG (variabel kontinyu):

Unit DG harus beroperasi dalam nilai toleransi dimana P_{DGmin} dan P_{DGmax} batas maksimum dan minimum daya dari unit DG.

2. Kendala tegangan bus

Tegangan pada semua bus dalam jaringan harus dalam batasan nilai toleransi pada bus n .

3. Kendala total injeksi daya

Jumlah daya output dari semua unit DG dalam sebuah sistem harus lebih sedikit dibandingkan jumlah total total beban dan total rugi daya sehingga arah balik aliran daya dapat dicegah.

4. Tingkat penetrasi DG

Batas penetrasi maksimum dihitung berdasarkan total permintaan beban dalam sistem distribusi.

5. Jumlah DG

Jumlah maksimum lokasi penempatan DG didefinisikan sebagai batasan lokasi DG yang diijinkan terkoneksi. Hal ini dipengaruhi oleh faktor posisi geografis, ketersediaan sumber daya alam lokal dan tingkat penetrasi DG (Rahman, 2018).

Pada akhirnya, baik fungsi objektif maupun fungsi kendala sangat penting dalam merumuskan dan memecahkan masalah optimisasi, memungkinkan kita untuk mencapai solusi terbaik dalam batasan-batasan yang diberikan .



2.8 State of the art

Berikut ini merupakan penelitian-penelitian yang terkait dengan penelitian ini:

Table 5 *State of the art*

Referensi	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hal yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang diajukan
(Augusta, 2018)	Optimasi Penempatan DG Pada Sistem Distribusi dengan Metode <i>Flower Pollination Algorithm</i>	<i>Flower Pollination</i> (<i>Algorithm</i> (FPA))	Pada penelitian ini didapatkan pengurangan rugi-rugi daya aktif dan juga adanya peningkatan pada profil tegangan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada penelitian ini jumlah bus yang digunakan hanya IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan IEEE 33 dan 69 bus 2. Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 yang menginjeksikan daya Aktif, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 3 yang menginjeksikan daya aktif dan juga reaktif.



Lanjut tabel 5

Referensi	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hal yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang diajukan
(Hizbullah, Robandi, dan Anam, 2012).	Penempatan Dan Penentuan Kapasitas Optimal <i>Distributed Generator</i> (DG) Menggunakan <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	<i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	Pemasangan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dapat mengurangi kerugian daya aktif sistem yang sangat signifikan sekaligus meningkatkan level tegangan pada tiap bus sehingga mencapai batas toleransi.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada penelitian ini jumlah bus yang digunakan hanya IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan IEEE 33 dan 69 bus. 2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC), sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Pollination Algorithm</i>) 3. Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 3 yang menginjeksikan daya aktif dan juga reaktif.



Lanjut tabel 5

Referensi	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hal yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang diajukan
(Amanullah dkk., 2016)	Studi Penentuan Lokasi <i>Distributed Generation</i> (DG) untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya pada Sistem Jaringan Distribusi Radial menggunakan Metode <i>K-means Clustering</i>	<i>K-means Clustering</i>	Hasil pengujian menggunakan metode ini adalah untuk aliran daya aktif pada kasus IEEE 34 bus memiliki perbaikan nilai <i>losses</i> saluran.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada penelitian ini jumlah bus yang digunakan hanya IEEE 34 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan IEEE 33 dan 69 bus 2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>K-means Clustering</i>, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Pollination Algorithm</i>) 3. Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1 sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 3 yang menginjeksikan daya aktif dan juga reaktif.



Lanjut tabel 5

Referensi	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hal yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang diajukan
(Satria, 2015)	Optimasi Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode <i>Genetic Algorithm</i> (GA) (Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember)	<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	Penelitian ini membuktikan dengan adanya DG dan juga kapasitor dapat memperbaiki Daya aktif dan juga reaktif dan untuk profil tegangan yang ada mengalami perbaikan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada penelitian ini jumlah bus yang digunakan hanya IEEE 75 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan IEEE 33 dan 69 bus 2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Genetic Algorithm</i> (GA), sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Pollination Algorithm</i>) 3. Menggunakan DG tipe 1 sebagai penginjeksi daya aktif dan kapasitor sebagai penginjeksi daya reaktif, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 3 yang menginjeksikan daya aktif dan juga reaktif.



Lanjut tabel 5

Referensi	Judul penelitian	Metode yang digunakan	Hal yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang diajukan
(Luthfi dan Handoko, 2013).	Optimasi penempatan <i>Distributed Generation</i> Pada IEEE 30 Bus Sistem Menggunakan <i>Bee Colony Algorithm</i>	<i>Bee Colony Algorithm</i> (BCA)	Hasil setiap pengujian menggunakan metode BCA dapat menghasilkan profil tegangan dan rugi daya yang minimum dengan menempatkan DG pada lokasi yang optimal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pada penelitian ini jumlah bus yang digunakan hanya IEEE 30 bus, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan IEEE 33 dan 69 bus 2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah BCA (<i>Bee Colony Algorithm</i>) sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan metode FPA (<i>Flower Pollination Algorithm</i>) 3. Jenis DG yang digunakan dalam penelitian ini adalah DG tipe 1, sedangkan pada penelitian yang diajukan menggunakan DG tipe 3.

