

SKRIPSI

OPTIMASI PENENTUAN LETAK PEMBANGKIT TERSEBAR
(*DISTRIBUTED GENERATION*) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL
DENGAN MEMPERHATIKAN ADANYA KAPASITOR
MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA

Disusun dan diajukan oleh

SITI ANNISA SYALSABILA

D041 18 1507



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

OPTIMASI PENENTUAN LETAK PEMBANGKIT TERSEBAR (*DISTRIBUTED GENERATION*) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DENGAN MEMPERHATIKAN ADANYA KAPASITOR MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA

Disusun dan diajukan oleh:

SITI ANNISA SYALSABILA

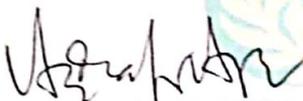
D041 18 1507

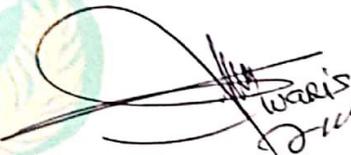
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 16 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Ir. Ardiaty Arief, S.T., MTM., Ph.D.
NIP. 19780424 200112 2 001


Ir. Tajuddin Waris, M.T.
NIP. 19650424 199203 1 003

Ketua Departemen Teknik Elektro,


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

LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

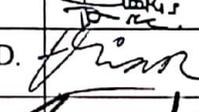
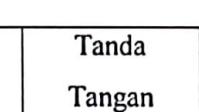
OPTIMASI PENENTUAN LETAK PEMBANGKIT TERSEBAR (*DISTRIBUTED GENERATION*) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DENGAN MEMPERHATIKAN ADANYA KAPASITOR MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA

Oleh:

SITI ANNISA SYALSABILA D041 18 1507

Skripsi ini telah dipertahankan pada Ujian Akhir Sarjana pada tanggal 16 November 2022 Telah dilakukan perbaikan penulisan dan isi skripsi berdasarkan usulan dari penguji dan pembimbing skripsi.

Persetujuan perbaikan oleh tim penguji:

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	Ir. Ardiaty Arief, S.T., MTM, Ph.D.	
Sekretaris	Ir. Tajuddin Waris, M.T.	
Anggota	Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, S.T., M.Phil., Ph.D.	
	Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.	

Persetujuan perbaikan oleh tim pembimbing:

Pembimbing	Nama	Tanda Tangan
I	Ir. Ardiaty Arief, S.T., MTM, Ph.D.	
II	Ir. Tajuddin Waris, M.T.	

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Siti Annisa Syalsabila
NIM : D041181507
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

OPTIMASI PENENTUAN LETAK PEMBANGKIT TERSEBAR
(*DISTRIBUTED GENERATION*) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL
DENGAN MEMPERHATIKAN ADANYA KAPASITOR MENGGUNAKAN
METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA

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.

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.

Makassar, 12 Desember 2022

Yang Menyatakan



(Siti Annisa Syalsabila)

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Tuhan atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan Skripsi ini dengan judul “OPTIMASI PENENTUAN LETAK PEMBANGKIT TERSEBAR (*DISTRIBUTED GENERATION*) PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DENGAN MEMPERHATIKAN ADANYA KAPASITOR MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan Skripsi ini mengalami beberapa kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Tuhan sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Mama Haniba dan almarhum Bapak Mulyadi Kasim serta keluarga tercinta yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menggapai cita-cita.
2. Dosen Pembimbing I yaitu Ibu Ardiaty Arief, ST. MTM. Ph.D dan Dosen Pembimbing II yaitu Bapak Ir. Tajuddin Waris, MT yang telah membantu penulis berupa arahan, bimbingan, masukan, ilmu, dan motivasi kepada penulis selama berjalannya pengerjaan Skripsi ini.
3. Dosen Penguji yaitu Bapak Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, ST, M.Phil., Ph.D. dan Ibu Dr. Hasniaty A., S.T., M.T. yang telah memberikan saran-saran untuk penulisan Skripsi ini.
4. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, staf, dan keluarga besar Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

5. Rekan seperjuangan, mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2018 dengan bantuan, doa, *support*, dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat kekurangan, untuk itu diharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih.

Gowa, 21 Oktober 2022

Penulis

ABSTRAK

SITI ANNISA SYALSABILA. *Optimasi Penentuan Letak Pembangkit Tersebar (Distributed Generation) pada Sistem Distribusi Radial dengan Memperhatikan Adanya Kapasitor Menggunakan Metode Algoritma Penyerbukan Bunga (dibimbing oleh Ardiaty Arief dan Tajuddin Waris)*

Pembangkit Tersebar (*Distributed Generation*) yang selanjutnya disebut DG adalah pembangkit skala kecil dan menengah yang dikoneksikan langsung pada jaringan distribusi atau dekat dengan pusat beban. Pemasangan DG bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan. Dalam Skripsi ini menampilkan sebuah metodologi untuk menentukan optimasi penentuan letak *Distributed Generation* (DG) pada Sistem Distribusi Radial (SDR) dengan memperhatikan adanya kapasitor menggunakan metode algoritma penyerbukan bunga (*Flower Pollination Algorithm*) disingkat FPA untuk mengurangi rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan. Metode FPA adalah metode optimasi dengan meniru fenomena penyerbukan (polinasi) bunga di alam, tentu saja bunga yang terpolinasi merupakan bunga dengan penampilan terbaik. Hasil analisis dari penelitian ini diperoleh aliran daya SDR 69 bus sebelum pemasangan DG masih terdapat beberapa bus yang *under voltage* dengan nilai tegangan terendahnya adalah 0,94 pu, dan memiliki rugi daya aktif sebesar 144,48 kW. Setelah dilakukan pemasangan *single* DG terjadi peningkatan profil tegangan menjadi 0,98 pu dan penurunan rugi daya aktif menjadi 18,15 kW. Sedangkan nilai rugi-rugi daya setelah pemasangan *multi* DG jauh lebih menurun hingga mencapai 96 % dari 144,48 kW menjadi 6,02 kW dan dapat memperbaiki profil tegangan dari 0,94 pu menjadi 0,99 pu. Dari hasil optimasi dapat disimpulkan bahwa pemasangan *multi* DG dan dengan ukuran kapasitor yang lebih besar di SDR 33 dan 69 bus lebih optimal dalam meminimalkan rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan.

Kata Kunci: *Distributed Generation*, Sistem Distribusi Radial, Algoritma Penyerbukan Bunga, Rugi-Rugi Daya, Profil Tegangan.

ABSTRACT

SITI ANNISA SYALSABILA. *Optimal Allocation of Distributed Generation in Radial Distribution Network Considering of Capacitors Using the Flower Pollination Algorithm Method (supervised by Ardiaty Arief and Tajuddin Waris).*

Distributed generation, hereinafter referred to as DG, is a small and medium scale generators connected directly to the distribution network or close to the load center. Installation of DG aims to reduce power losses and improve the voltage profile. This thesis presents a methodology for determining the optimization of the Distributed Generation (DG) layout in a Radial Distribution System (RDS) by taking into account the explanation using the Flower Pollination Algorithm (FPA) to reduce power losses and increase the voltage profile. The FPA method is an optimization method by imitating the phenomenon of pollination of flowers in nature, of course pollinated flowers are the flowers with the best appearance. The results of the analysis of this study show that RDS 69 buses before installing DG there were still several buses that were under voltage with the lowest voltage value being 0.94 pu, and having an active power loss of 144.48 kW. After a single DG installation, the voltage profile increased to 0.98 pu and the active power loss decreased to 18.15 kW. While the value of power losses after the installation of multi-DG is much lower, reaching 96 % from 144.48 kW to 6.02 kW and can improve the voltage profile from 0.94 pu to 0.99 pu. From the optimization results it can be interpreted that the installation of multiple DGs and with a larger rated size on the SDR 33 and 69 buses is more optimal in minimizing power losses and improving the voltage profile.

Keywords: *Distributed Generation, Radial Distribution System, Flower Pollination Algorithm, Power Losses, Voltage Profile.*

DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Metode Penelitian	7
1.7 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Penelitian Terdahulu.....	10
2.2 Tinjauan Teori	11
2.2.1 Sistem Distribusi.....	11

2.2.2 Kapasitor	15
2.2.3 Pembangkit Tersebar (<i>Distributed Generation</i>)	16
2.2.4 Persamaan Aliran Daya	18
2.2.5 Fungsi Optimisasi	22
2.2.6 Algoritma Penyerbukan Bunga (<i>Flower Pollination Algorithm</i>)	23
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Rancangan Penelitian	30
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	30
3.3 Bahan dan Alat	30
3.4 Teknik Pengumpulan Data	31
3.5 Pengolahan dan Analisis Data	38
3.6 Diagram Alir Tugas Akhir.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4. 1 Skenario 1	44
4. 1. 1 Basis Sistem Distribusi Radial 33 Bus	44
4. 1. 2 Kasus 1	47
4. 1. 3 Kasus 2.....	49
4. 2 Skenario 2.....	51
4. 2. 1 Pemasangan <i>Single</i> DG.....	51
4. 2. 2 Pemasangan <i>Multi</i> DG	56
4. 3 Skenario 3	61
4. 3. 1 Pemasangan <i>Single</i> DG.....	62
4. 3. 2 Pemasangan <i>Multi</i> DG	66

4. 4 Skenario 4.....	72
4. 4. 1 Basis Sistem Distribusi Radial 69 Bus	72
4. 4. 2 Kasus 3.....	75
4. 4. 3 Kasus 4.....	77
4. 5 Skenario 5.....	79
4. 5. 1 Pemasangan <i>Single</i> DG.....	79
4. 5. 2 Pemasangan <i>Multi</i> DG	84
4. 6 Skenario 6.....	90
4. 6. 1 Pemasangan <i>Single</i> DG.....	90
4. 6. 2 Pemasangan <i>Multi</i> DG	95
4. 7 Perbandingan Hasil Simulasi.....	101
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	105
5. 1 Kesimpulan.....	105
5. 2 Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN.....	110

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan.....	18
Tabel 2.2 Istilah dalam metode FPA.....	25
Tabel 3.1 Data bus dan data saluran sistem distribusi radial IEEE 33 bus	34
Tabel 3.2 Data bus dan data saluran sistem distribusi radial IEEE 69 bus	35
Tabel 4.1 Perbandingan rugi daya aktif setelah optimasi injeksi <i>single</i> DG dengan beberapa metode optimasi yang berbeda untuk 69 bus.....	43
Tabel 4.2 Perbandingan rugi daya aktif setelah optimasi injeksi <i>single</i> DG dengan beberapa metode optimasi yang berbeda untuk 33 bus.....	43
Tabel 4.3 Hasil aliran daya pada skenario 1 basis sistem	44
Tabel 4.4 Optimasi pemasangan <i>multi</i> DG pada SDR 33 bus	46
Tabel 4.5 Hasil aliran daya pada skenario 1 kasus 1.....	47
Tabel 4.6 Hasil aliran daya pada skenario 1 kasus 2.....	49
Tabel 4.7 Solusi pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 1	52
Tabel 4.8 Solusi pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 1 dengan kenaikan beban... 54	
Tabel 4.9 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>single</i> DG optimal kasus 1	54
Tabel 4.10 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 1	56
Tabel 4.11 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 1 dengan kenaikan beban 20% dan 30%.....	58
Tabel 4.12 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>multi</i> DG optimal kasus 1.....	59
Tabel 4.13 Perbandingan skenario 1 (kasus 1) terhadap skenario 2	61
Tabel 4.14 Solusi pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 2	62
Tabel 4.15 Solusi pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 2 dengan kenaikan beban 20% dan 30%.....	64

Tabel 4.16 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>single</i> DG optimal kasus 2	65
Tabel 4.17 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 2	67
Tabel 4.18 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 2 dengan kenaikan beban 20% dan 30%	69
Tabel 4.19 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>multi</i> DG optimal kasus 2.....	69
Tabel 4.20 Perbandingan skenario 1 (kasus 2) terhadap skenario 3	72
Tabel 4.21 Hasil Aliran daya pada skenario 4 basis sistem	73
Tabel 4.22 Optimasi pemasangan <i>multi</i> DG pada SDR 69 bus	74
Tabel 4.23 Hasil aliran daya pada skenario 4 kasus 3.....	75
Tabel 4.24 Hasil aliran daya pada skenario 4 kasus 4.....	77
Tabel 4.25 Solusi pemasangan <i>single</i> dg pada kasus 3	80
Tabel 4.26 Solusi pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 3 dengan kenaikan beban 20% dan 30%	82
Tabel 4.27 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>single</i> DG optimal kasus 3	83
Tabel 4.28 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 3	85
Tabel 4.29 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 3 dengan kenaikan beban 20% dan 30%	87
Tabel 4.30 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>multi</i> DG optimal kasus 3.....	87
Tabel 4.31 Perbandingan skenario 4 (kasus 3) terhadap skenario 5	90
Tabel 4.32 Solusi pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 4	91
Tabel 4.33 Solusi pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 4 dengan kenaikan beban 20% dan 30%	93
Tabel 4.34 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>single</i> DG optimal kasus 4	94
Tabel 4.35 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 4	96
Tabel 4.36 Solusi pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 4 dengan kenaikan beban 20% dan 30%	98

Tabel 4.37 Hasil simulasi aliran daya dengan <i>multi</i> DG optimal kasus 4.....	98
Tabel 4.38 Perbandingan skenario 4 (kasus 4) terhadap skenario 6	101
Tabel 4.39 Hasil simulasi kasus 1 dan 2 pada SDR 33 bus	102
Tabel 4.40 Hasil simulasi kasus 3 dan 4 pada SDR 69 bus	103
Tabel 4.41 Hasil simulasi penentuan letak DG.....	104

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Sistem distribusi	12
Gambar 2.2 Sistem distribusi radial	13
Gambar 2.3 Kapasitor bank yang terhubung dengan bus	16
Gambar 2.4 Pemasangan DG pada sistem distribusi	17
Gambar 2.5 Diagram alir metode penyelesaian aliran daya dengan BFS	21
Gambar 2.6 Proses penyerbukan bunga	23
Gambar 2.7 Diagram alir optimasi penentuan letak DG pada SDR dengan memperhatikan adanya kapasitor menggunakan metode FPA	28
Gambar 3.1 <i>Single line diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 33 bus	32
Gambar 3.2 <i>Single line diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 69 bus	33
Gambar 3.3 Diagram alir tugas akhir	40
Gambar 4.1 Rugi daya pada skenario 1 basis SDR 33 bus	45
Gambar 4.2 Profil tegangan pada skenario 1 basis SDR 33 bus	45
Gambar 4.3 Rugi daya pada skenario 1 kasus 1	48
Gambar 4.4 Profil tegangan pada skenario 1 kasus 1	49
Gambar 4.5 Rugi daya pada skenario 1 kasus 2	50
Gambar 4.6 Profil tegangan pada skenario 1 kasus 2	51
Gambar 4.7 Perbandingan rugi daya sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 1, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif	53
Gambar 4.8 Profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 1	53
Gambar 4.9 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 33 bus kasus 1 setelah pemasangan <i>single</i> DG	55

Gambar 4.10 Perbandingan rugi daya sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 1, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif.....	57
Gambar 4.11 Perbandingan profil tegangan sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 1	58
Gambar 4.12 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 33 bus kasus 1 setelah pemasangan <i>multi</i> DG.....	60
Gambar 4.13 Perbandingan rugi daya sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 2, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif	63
Gambar 4.14 Profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 2.....	63
Gambar 4.15 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 33 bus kasus 2 setelah pemasangan <i>single</i> DG	66
Gambar 4.16 Perbandingan rugi daya sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 2, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif.....	68
Gambar 4.17 Perbandingan profil tegangan sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 2	68
Gambar 4.18 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 33 bus kasus 2 setelah pemasangan <i>multi</i> DG.....	71
Gambar 4.19 Rugi daya pada skenario 4 basis sistem	73
Gambar 4.20 Profil tegangan pada skenario 4 basis sistem.....	74
Gambar 4.21 Rugi daya pada skenario 4 kasus 3.....	76
Gambar 4.22 Profil tegangan pada skenario 4 kasus 3	77
Gambar 4.23 Rugi daya pada skenario 4 kasus 4.....	78
Gambar 4.24 Profil tegangan pada skenario 4 kasus 4	79
Gambar 4.25 Perbandingan rugi daya sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 3, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif	81
Gambar 4.26 Profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 3.....	82

Gambar 4.27 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 69 bus kasus 3 setelah pemasangan <i>single</i> DG	84
Gambar 4.28 Perbandingan rugi daya sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 3, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif.....	86
Gambar 4.29 Perbandingan profil tegangan sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 3	86
Gambar 4.30 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 69 bus kasus 3 setelah pemasangan <i>multi</i> DG.....	89
Gambar 4.31 Perbandingan rugi daya sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 4, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif.....	92
Gambar 4.32 Profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan <i>single</i> DG pada kasus 4.....	93
Gambar 4.33 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 69 bus kasus 4 setelah pemasangan <i>single</i> DG	95
Gambar 4.34 Perbandingan rugi daya sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 4, (a) Rugi daya aktif dan (b) Rugi daya reaktif.....	97
Gambar 4.35 Perbandingan profil tegangan sebelum pemasangan DG, setelah pemasangan <i>single</i> DG dan setelah pemasangan <i>multi</i> DG pada kasus 4	97
Gambar 4.36 <i>Single line diagram</i> SDR IEEE 69 bus kasus 4 setelah pemasangan <i>multi</i> DG.....	100

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan suatu energi yang sangat berguna bagi kehidupan sehari-hari hingga saat ini. Listrik bahkan telah menjadi kebutuhan pokok bagi kelangsungan hidup manusia. Sebagian besar produktifitas baik pada rumah tangga maupun industri membutuhkan energi listrik mulai dari penerangan, alat komunikasi maupun mesin penggerak.

Seiring bergulirnya zaman dengan peningkatan penduduk di dunia memengaruhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, namun hal ini berlawanan dengan menurunnya persediaan bahan bakar fosil di alam yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar dalam pembangkit. Sehingga dapat diperkirakan bahwa pembangkit listrik yang terkait bahan bakar fosil akan semakin terancam dengan kendala kapasitas daya yang semakin turun akibat kelangkaan bahan bakar fosil (Twaha & Ramli, 2018). Tindakan antisipasi atas menurunnya ketersediaan bahan bakar fosil sejatinya dapat dijawab dengan hadirnya berbagai macam *renewable energy* (energi terbarukan) sebagai pembangkit untuk memenuhi dan menopang menurunnya kapasitas daya dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

Perubahan iklim telah menjadi sebuah fenomena yang banyak dibicarakan di beberapa dekade terakhir khususnya Indonesia yang menandatangani *Paris Agreement* pada tanggal 22 April 2016. Indonesia berkomitmen untuk berupaya menurunkan emisi gas rumah kaca dan bergerak aktif menahan agar perubahan iklim tidak terjadi (Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, 2016). Gas rumah kaca merupakan gas-gas yang dikatakan menjadi penyebab dari perubahan iklim ini salah satunya adalah emisi CO₂. Emisi CO₂ dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar batubara. Indonesia juga sebagai *Presidensi Group of Twenty*

(G20) menetapkan tiga pilar isu utamanya, salah satunya adalah transisi energi. PLN dan pemangku kepentingan terkait menandatangani empat kerjasama strategis menuju karbon netral 2060 pada sidang hari pertama *Energy Transitions Working Group (ETWG)* Presidensi G20 Indonesia di Yogyakarta, 24 Maret 2022. Direktur Utama PLN Darmawan Prasodjo mengatakan bahwa kesepakatan kerja sama strategis untuk meminimalisir emisi global merupakan simbol bahwa pengembangan energi terbarukan saat ini menjadi fokus utama PLN. Selain itu, energi terbarukan diharapkan dapat membantu mempercepat tercapainya target bauran EBT 23% di 2025 (Portal Informasi Indonesia, 2022).

Pada umumnya, energi terbarukan disertai dengan sistem pembangkit berbasis *hybrid system*, *off grid system* dan *on grid system*. *Hybrid system* adalah penggunaan dua sistem atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. *Off grid system* adalah penggunaan pembangkit listrik yang dihubungkan langsung ke beban tanpa melalui jaringan listrik utama seperti jaringan distribusi dari PLN. *Hybrid system* dan *off grid system* merupakan salah satu alternatif pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti PLN. Sedangkan *on grid system* adalah jaringan pembangkit yang dihubungkan ke beban melalui jaringan utama listrik. Pada sistem *on grid*, pembangkit listrik energi terbarukan umumnya diletakan di jaringan distribusi (Twaha & Ramli, 2018). Hal ini disebabkan kapasitas dayanya yang cenderung lebih kecil dibandingkan pembangkit listrik konvensional, serta lokasi penempatan pembangkit yang terbatas cenderung hanya bisa diletakan di daerah tertentu saja dimana terdapat potensi sumber energi terbarukan tersebut. Ciri-ciri tersebut merupakan salah satu solusi yaitu pemasangan *Distributed Generation (DG)* dengan potensi teknologi energi terbarukan dalam permasalahan jaringan tenaga listrik (Ackermann, et al., 2001).

Melihat pangsa perkembangan DG perlahan-lahan meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Desentralisasi pembangkitan tenaga listrik (DG) juga diperkirakan akan menjadi tren di masa yang akan datang di Indonesia berdasarkan kajian bersama para ahli distribusi kelistrikan di Indonesia dengan tema

“Distributed Generation” dalam gelaran Seminar Nasional yang diinisiasi oleh PLN bersama *Conference on electricity distribution (CIRED)* yang berlangsung pada 31 Juli 2018 di Jakarta (Doan, 2018). Berdasarkan RUPTL PLN 2021-2030 dalam perencanaan implementasi *smart grid* secara khusus mendukung pengembangan dan operasi sistem DG yang akan memberikan kecukupan pasokan daya tenaga listrik (Republik Indonesia, 2021).

Sistem Distribusi Radial (SDR) merupakan sistem yang paling sering digunakan karena memiliki konfigurasi paling sederhana. Sistem tersebut dikatakan radial karena salurannya ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dan dicabang-cabangkan ke titik beban. Sistem ini memiliki kekurangan dalam segi kualitas pelayanan daya yang relatif buruk. Hal itu disebabkan oleh rugi daya yang cukup besar, adanya kondisi *undervoltage* serta besar nilai impedansi pada tiap saluran (Bouhekara, et al., 2019). DG memengaruhi aliran daya dan tegangan bus pada sistem distribusi. Keberadaan DG pada jaringan distribusi bertujuan untuk memperbaiki profil tegangan, meningkatkan cadangan kapasitas daya utama, dan meminimalkan rugi-rugi daya (*losses*) dalam aliran listrik. Pemasangan DG pada jaringan distribusi membutuhkan pertimbangan mengenai kapasitas dan lokasi. Jika lokasi penempatan DG tidak optimal sementara kapasitas optimal ataupun berlaku sebaliknya, maka dapat meningkatkan kerugian sistem dan dengan demikian membuat profil tegangan lebih rendah dari batas yang diperbolehkan. Jadi hal ini justru akan berlawanan dari keuntungan DG yang diharapkan (Oda, et al., 2017). Oleh karena itu dibutuhkan penempatan dan alokasi kapasitas daya yang optimal untuk memperoleh rugi-rugi daya saluran yang minimal tanpa mengurangi kebutuhan pelanggan.

Dengan adanya pengembangan dari sistem distribusi, peningkatan permintaan dan beban, keterbatasan sumber daya pembangkit (reaktif dan aktif), ukuran pembangkit yang terbatas, sehingga pembangkit tidak dapat digunakan secara meluas. Dengan demikian, perlu menggunakan elemen lain seperti kapasitor bank untuk mengkompensasi penurunan tegangan dan kerugian dalam

sistem terdistribusi. Kapasitor bank akan meningkatkan parameter kualitas daya dengan menyuntikkan daya reaktif ke sistem distribusi. Daya pada sistem distribusi dapat berupa daya reaktif kapasitif maupun daya reaktif induktif. Peningkatan daya reaktif induktif menyebabkan faktor daya menurun, rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Peningkatan daya reaktif induktif menyebabkan arus jaringan yang lebih tinggi dengan penurunan tegangan yang tidak diizinkan (Herawati & E.P., 2019). Kondisi ini dapat menyebabkan kerugian pada saluran listrik karena daya yang tersalurkan tidak maksimal. Salah satu cara mengatasi jatuh tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya yaitu penempatan kapasitor.

Penentuan letak DG dengan mempertimbangkan adanya kapasitor pada sistem distribusi radial dibuat dalam bentuk masalah optimasi. Jika tidak, pengoperasian sistem tenaga tidak akan optimal. Metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu algoritma penyerbukan bunga atau *Flower Pollination Algorithm* (FPA). FPA merupakan metode optimasi sistem yang terinspirasi oleh proses penyerbukan (polinasi) pada bunga yang disebabkan oleh polinator di alam, dimana bunga yang terpolinasi merupakan bunga dengan penampilan terbaik. Metode FPA digunakan karena lebih efisien dalam jumlah iterasi dan kecepatan untuk mencapai konvergensi serta error yang dihasilkan dibandingkan dengan metode PSO dan GA (Yang, 2012). Metode FPA juga lebih efisien dalam meminimalkan rugi-rugi daya yang signifikan dan peningkatan profil tegangan dengan waktu konvergensi yang kecil dibandingkan dengan metode Artificial Bee Colony (ABC) dan Clonal Selection Algorithm (CSA) (Oda, et al., 2017).

Pada jurnal yang telah dipublikasi baik itu jurnal nasional maupun jurnal internasional hanya sedikit peneliti yang telah meneliti penentuan letak DG pada sistem distribusi dengan memperhatikan adanya kapasitor menggunakan metode FPA. Berdasarkan hal tersebut, maka pada tugas akhir ini diangkat judul penelitian yaitu optimasi penentuan letak pembangkit tersebar (*distributed generation*) pada sistem distribusi radial dengan memperhatikan adanya kapasitor menggunakan metode algoritma penyerbukan bunga.

1.2 Rumusan Masalah

Hal yang menjadi permasalahan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan letak DG yang optimal dengan memperhatikan adanya kapasitor pada sistem distribusi radial 33 bus dan 69 bus menggunakan metode FPA?
2. Bagaimana perbandingan nilai rugi-rugi daya dan profil tegangan pada sistem distribusi radial sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya kapasitor pada sistem distribusi radial?
3. Bagaimana pengaruh lokasi dan kapasitas dari kapasitor terhadap lokasi dan kapasitas DG yang optimal pada sistem distribusi radial?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Memperoleh letak DG yang optimal dengan memperhatikan adanya kapasitor pada sistem distribusi radial 33 bus dan 69 bus menggunakan metode FPA.
2. Memperoleh perbandingan nilai rugi-rugi daya dan profil tegangan pada sistem distribusi radial sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya kapasitor pada sistem distribusi radial.
3. Mengetahui dampak atau pengaruh dengan adanya kapasitor terhadap solusi pemasangan DG pada sistem distribusi radial.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat ruang lingkup yang luas dalam menyelesaikan permasalahan tugas akhir ini, maka diperlukan pembatasan masalah yaitu:

1. Sistem distribusi yang digunakan dalam penelitian adalah sistem distribusi radial dari standar IEEE 33 bus dan 69 bus.
2. Diasumsikan analisa dilakukan dalam keadaan seimbang dan mantap.
3. Studi aliran daya dan teori penggunaan perangkat lunak tidak dijelaskan secara detail.
4. Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab R2019.
5. Tujuan optimasi adalah meminimalkan rugi-rugi daya aktif dan memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi radial.
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. DG yang disimulasikan adalah DG tipe 1 dan faktor daya ideal (100%) yang hanya menginjeksi daya aktif dengan skala *small DG* (DG kecil).
9. Diasumsikan DG terkoneksi langsung pada bus, impedansi bus diabaikan.
10. Profil tegangan yang dikehendaki setelah pemasangan DG adalah 0,95 sampai dengan 1,05 pu sesuai dengan standar IEEE.
11. Diasumsikan pada sistem distribusi radial terdapat kapasitor dengan kapasitas dan lokasi yang berbeda yang kemudian dikelompokkan menjadi beberapa kasus dalam proses optimasi.
12. Kapasitor tidak dibahas secara detail, demikian juga lokasi dan kapasitasnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan konsep penentuan letak DG yang optimal pada sistem distribusi radial dengan memperhatikan adanya kapasitor menggunakan metode FPA.
2. Membuktikan bahwa penambahan DG pada sistem distribusi radial yang dilengkapi dengan kapasitor bank dapat mengoptimalkan kualitas daya dan profil tegangan pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus.
3. Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pihak pengembang sistem distribusi radial untuk mengadopsi metode yang diusulkan dan digunakan baik dalam perencanaan maupun pengembangan sistem distribusi radial ke depannya.
4. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan DG.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur merupakan metode cara yang dipakai untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan berdasarkan referensi-referensi yang terdapat dalam buku, jurnal, internet dan sumber bahan pustaka lain yang dapat menunjang penelitian ini.

2. Pengambilan data

Pengambilan data merupakan proses yang dilakukan oleh peneliti untuk mengumpulkan data terkait dengan permasalahan dari penelitian ini. Dalam proses penulisan penelitian ini, data yang digunakan adalah data kuantitatif.

Berdasarkan sumber pengambilan data, penelitian ini menggunakan data sekunder.

3. Pengolahan data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan *editing* data yang bertujuan menyunting data mentah yang sudah dikumpulkan. Tahap selanjutnya, yaitu melakukan pengkodean data yang bertujuan memberikan petunjuk atau identitas pada suatu informasi atau data yang akan dianalisis dengan menggunakan rumus-rumus tertentu.

4. Analisa hasil pengolahan dan perbandingan data.

Analisa hasil pengolahan dilakukan untuk menentukan besarnya pengaruh secara kuantitatif dari suatu (beberapa) kejadian terhadap suatu (beberapa) kejadian lainnya, serta memperkirakan kejadian lainnya. Dari suatu (beberapa) kejadian tersebut selanjutnya dilakukan perbandingan sehingga menghasilkan informasi yang berguna sebagai pedoman dalam penarikan kesimpulan dalam penelitian ini.

5. Simpulan

Simpulan pada penelitian dilakukan ketika data yang sudah dianalisis dan dibandingkan kemudian akan disajikan dalam kesimpulan menyeluruh dari hasil serta saran-saran untuk perbaikan atau aspek lain yang perlu dikaji lebih lanjut.

1.7 Sistematika Penulisan

Penelitian ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, relevansi, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini membahas beberapa kajian teori tentang materi yang berkaitan dengan penelitian ini dari berbagai sumber referensi yang ilmiah.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab metode penelitian ini membahas tentang tempat dan waktu penelitian, metode pengumpulan data, dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab hasil dan pembahasan ini membahas analisa hasil pengolahan data dan perbandingan data.

BAB V SARAN DAN KESIMPULAN

Bab saran dan kesimpulan ini membahas tentang kesimpulan menyeluruh dari hasil serta saran-saran untuk perbaikan atau aspek lain yang perlu dikaji lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian optimasi penempatan dan kapasitas DG, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Prakash dan Lakshminarayana (Prakash & C.Lakshminarayana, 2016). Mereka melakukan optimasi pada 1 sampai 3 DG dengan menggunakan metode optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada sistem distribusi radial 33 dan 69 bus. Hasilnya membuktikan bahwa pemasangan *multi* DG sebanyak 3 unit adalah solusi terbaik untuk meminimalkan nilai rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial. Total kapasitas DG antara sistem distribusi radial 33 dan 69 bus dapat berbeda karena adanya pengaruh dari perbedaan total beban tercatu pada sistem distribusi tersebut.

Kemudian pada penelitian Yang (Yang, 2012). diperoleh metode optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode optimasi yang sering digunakan pada umumnya antara lain PSO dan *Genetic Algorithm* (GA) yaitu metode optimasi FPA. Metode FPA merupakan metode yang terinspirasi oleh proses seleksi penyerbukan (polinasi) bunga di alam. Metode FPA berproses dari polinator akan memilih bunga dengan penampilan terbaik untuk terpolinasi.

Dalam penelitiannya, Yang membuktikan metode FPA lebih efisien dibandingkan dengan PSO dan GA. Beberapa percobaan dilakukan dan didapatkan hasil bahwa metode optimasi FPA lebih efisien dalam jumlah iterasi dan kecepatan untuk mencapai konvergensi serta error yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian ini metode optimasi FPA terbukti lebih baik dibandingkan dengan metode PSO dan GA (Yang, 2012).

Pada penelitian Eyad (Oda, et al., 2017), membandingkan hasil optimasi dari metode optimasi FPA, *Artificial Bee Colony* (ABC) dan *Clonal Selection Algorithm* (CSA) pada sistem distribusi radial 33 bus, 69 bus. Hasil yang diperoleh dari penelitiannya disebutkan bahwa Metode FPA juga lebih efisien dalam meminimalkan rugi-rugi daya yang signifikan dan peningkatan profil tegangan dengan waktu konvergensi yang kecil dibandingkan dengan metode tersebut di atas. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan optimasi penentuan letak DG pada sistem distribusi dengan memperhatikan adanya kapasitor menggunakan metode optimasi FPA.

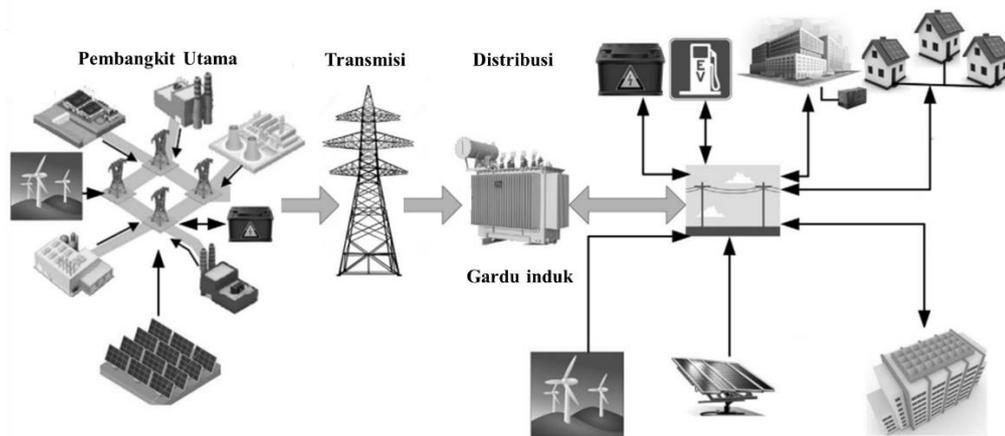
2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi

Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat, baik untuk keperluan rumah tangga maupun industri. Tingginya tingkat kebutuhan masyarakat akan energi listrik mengharuskan pusat pembangkit energi listrik dibangun.

Bermula dari pusat pembangkit ini energi listrik disalurkan konsumen untuk dimanfaatkan sesuai kebutuhan. Umumnya pusat pembangkit energi listrik berlokasi jauh dari konsumen, seperti di tepi laut, di pegunungan dan tempat lainnya dimana terdapat sumber energi primer yang dibutuhkan oleh pembangkit. Maka dari itu, dibutuhkanlah suatu proses distribusi untuk dapat menyalurkan energi listrik menuju ke konsumen.

Pada Gambar 2.1 diperlihatkan bahwa tahap awal dalam proses distribusi energi listrik ialah energi yang dihasilkan oleh pembangkit disalurkan melalui saluran transmisi, lalu menuju ke saluran distribusi dan akhirnya sampai ke konsumen. Pada saluran distribusi ini, energi listrik didistribusikan sesuai dengan kebutuhan konsumen.



Gambar 2.1 Sistem distribusi
 Sumber: (Singh, 2014)

Pada praktiknya, berdasarkan letak sistem distribusi dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yakni:

1. Sistem distribusi primer

Energi listrik yang disalurkan pada tegangan tingkat menengah (1– 35 kV, di indonesia umumnya 20 kV) disebut sistem distribusi primer. Sistem tersebut terletak sebelum trafo distribusi yang menghubungkan antara sisi sekunder trafo gardu induk dengan sisi primer trafo distribusi.

2. Sistem distribusi sekunder

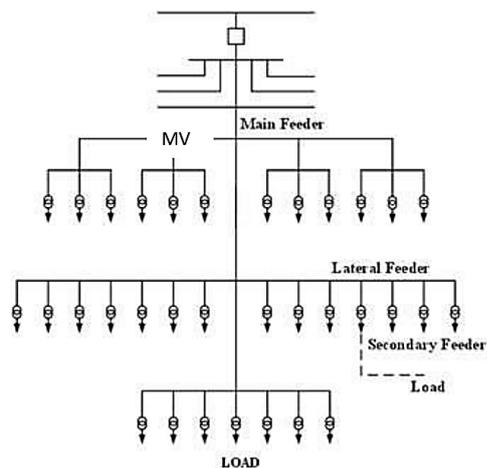
Energi listrik yang disalurkan pada tegangan tingkat rendah (0,1 – 1 kV, di indonesia umumnya 220V/380V) disebut sistem distribusi sekunder. Sistem tersebut terletak setelah trafo distribusi. Sistem distribusi sekunder menghubungkan sisi sekunder trafo distribusi dengan sisi konsumen.

Berdasarkan konfigurasinya, sistem distribusi dibagi menjadi tiga bagian, yakni: sistem distribusi radial, sistem distribusi *ring* dan sistem distribusi *spindle*. Pada tugas akhir ini, sistem yang digunakan adalah sistem distribusi dengan konfigurasi radial.

2.2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem Distribusi Radial (SDR) merupakan sistem yang paling sering digunakan karena memiliki konfigurasi paling sederhana. Sistem tersebut dikatakan

radial karena salurannya ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dan dicabang-cabangkan ke titik beban. Sehingga bentuk jaringan radial ini tampak seperti cabang pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil yakni menuju beban seperti yang tunjukan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem distribusi radial
Sumber: (Santosa, et al., 2016)

Karena hanya ada satu sumber yang menyuplai sistem dan adanya percabangan ke titik beban yang dilayani, maka arus yang mengalir menuju ke beban di sepanjang saluran menjadi tidak sama. Sehingga, luas penampang konduktor pada SDR ini ukurannya tidak sama. Sebab arus yang paling besar ialah yang paling dekat letaknya terhadap gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk memiliki ukuran penampang yang relatif lebih besar dibanding saluran lainnya. Semakin ke ujung maka arus yang menuju ke beban semakin kecil. Mengakibatkan luas penampang konduktornya lebih kecil sesuai besar arus yang mengalirinya. Sistem ini memiliki kekurangan dalam segi kualitas pelayanan daya yang relatif buruk. Hal itu disebabkan oleh rugi daya yang cukup besar, adanya *drop* tegangan serta besar nilai impedansi pada tiap saluran. Penyaluran tenaga listrik dari penyulang berada pada kondisi satu arah. Akibatnya apabila terjadi gangguan pada salah satu titik pada rangkaian akan menyebabkan keseluruhan jaringan akan terkena dampaknya. Dengan demikian kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada jaringan dengan struktur seperti ini sangat buruk.

Karena apabila terjadi perbaikan pada salah satu titik akan menyebabkan seluruh jaringan harus dipadamkan (Boucekara, et al., 2019).

2.2.1.2 Rugi Daya

Rugi daya adalah besarnya daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik yang dikirim oleh sumber daya listrik utama ke suatu beban. Rugi daya pada jaringan distribusi diakibatkan oleh rugi-rugi teknis pada jaringan, dimana rugi-rugi teknis ini dipengaruhi oleh besarnya resistansi dan reaktansi penghantar dalam bentuk rugi daya aktif dan rugi daya reaktif. Rugi daya aktif yang timbul akibat besarnya arus dan nilai resistansi penghantar akan terdisipasi dalam bentuk energi panas. Sedangkan rugi daya reaktif yang timbul akibat besarnya arus dan nilai reaktansi akan terdisipasi dalam bentuk medan magnetik. Rugi daya teknis tidak dapat dihilangkan tetapi dapat diperkecil dengan berbagai usaha seperti perbaikan penambahan kapasitor bank dan penggantian penghantar tetapi usaha ini membutuhkan perencanaan yang cukup besar sehingga diperlukan lagi usaha yang strategis dan sistematis serta skala prioritas. Sedangkan rugi daya non teknis pada umumnya adalah pemakaian listrik secara ilegal, kesalahan pencatatan alat ukur transaksi energi listrik, akurasi peralatan ukur dan kelemahan sistem administrasi sehingga upaya-upaya penurunannya relatif lebih mudah dan tidak memerlukan perencanaan yang besar.

Energi listrik yang disalurkan pada sistem distribusi dari gardu induk/trafo distribusi menuju konsumen mengalami kerugian atau biasa disebut rugi daya. Hal ini disebabkan, karena saluran pada sistem distribusi memiliki impedansi dan beban yang ditanggungnya. Dengan demikian, dapat dihitung dengan Persamaan (2.1):

$$P_{Loss} = \sum_{j=1}^n I_j^2 \times R_j \quad (2.1)$$

Dimana I_j merupakan arus listrik dalam Ampere, R_j merupakan resistansi pada cabang j dalam Ohm dan n merupakan jumlah bus. Dampak injeksi DG dapat ditunjukkan dengan Reduksi Rugi Daya (RRD) pada Persamaan (2.2).

$$RRD\% = \frac{P_{Loss} - P_{Loss}^{DG}}{P_{Loss}} \times 100 \quad (2.2)$$

Dimana P_{loss} merupakan rugi daya sebelum injeksi DG dan P_{loss}^{DG} merupakan rugi daya setelah injeksi DG pada SDR. Adapun cara yang umum dipakai untuk mengatasi rugi daya pada saluran sistem distribusi ialah dengan pemasangan *capacitor bank* dan pemasangan unit *distributed generation* (Cahyo, 2008).

2.2.1.3 Perbaikan Profil Tegangan

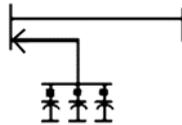
Perbaikan profil tegangan merupakan upaya yang dilakukan untuk mengurangi jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi. Tegangan pada bagian-bagian jaringan distribusi memiliki nilai yang berbeda-beda dalam setiap bagiannya. Oleh karenanya perbaikan profil tegangan tidak dapat dilakukan pada satu bagian saja, melainkan harus merata pada bagian-bagian dalam sistem yang mengalami penurunan. Perbaikan profil tegangan dapat dilakukan dengan cara pemasangan kapasitor bank dan memperbesar ukuran penghantar konduktor (Cahyo, 2008).

2.2.2 Kapasitor

Berdasarkan jurnal (Tamilselvan, et al., 2018) salah satu cara untuk mengatur tegangan dan meningkatkan kualitas tegangan bus yaitu kapasitor yang dipasang paralel pada bus-bus distribusi sepanjang saluran atau pada gardu induk dan beban. Pada dasarnya kapasitor merupakan peralatan untuk menghasilkan daya reaktif pada titik dimana kapasitor tersebut dipasang. Dengan demikian, kapasitor mengurangi arus saluran yang mengalir menuju beban dan mengurangi jatuh tegangan pada saluran.

Umumnya beban yang terdapat pada jaringan distribusi bersifat resistif induktif sehingga terdapat arus resistif dan arus induktif yang mengalir pada beban. Pemasangan kapasitor akan mengalirkan arus kapasitif sehingga besar arus induktif pada beban induktif akan terkompensasi oleh arus kapasitif dari kapasitor bank. Jadi pada beban induktif setelah pemasangan kapasitor bank, arus total yang mengalir akan semakin kecil atau bisa dikatakan hanya terdapat arus resistif pada jaringan.

Semakin kecilnya arus yang mengalir akan berdampak terhadap perbaikan profil tegangan dan rugi daya. Semakin kecil arus yang mengalir pada jaringan distribusi maka jatuh tegangan dan rugi daya akan semakin kecil. Dengan kecilnya jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi maka tegangan di sisi penerima beban akan semakin besar dan suplai daya akan semakin besar pula. Selain meminimalkan arus yang mengalir, memasang kapasitor bank juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Sebab dengan memasang kapasitor bank akan mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban.



Gambar 2.3 Kapasitor bank yang terhubung dengan bus
Sumber: (Cahyo, 2008)

Pada Gambar 2.3 dengan pemasangan kapasitor bank, nilai daya reaktif yang mengalir ke beban akan berkurang. Sebab beban mendapatkan suplai daya reaktif dari komponen kapasitor bank.

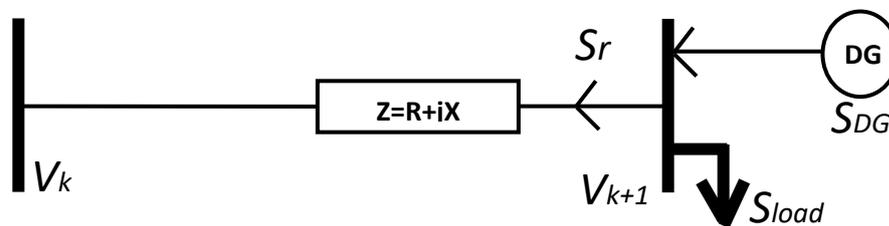
2.2.3 Pembangkit Tersebar (*Distributed Generation*)

Distributed Generation atau disingkat DG seringkali disebut sebagai *on-site generation*, *dispersed generation*, *embedded generation*, *decentralized generation*, atau *distributed energy*. Secara mendasar, DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi (Ratuhaji, et al., 2019).

Conseil International des Grands Reseaux Electriques (CIGRE) telah mendefinisikan DG sebagai semua unit pembangkit dengan kapasitas maksimal berkisar sampai 50 MW dan dipasangkan ke jaringan distribusi. *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) mendefinisikan DG sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir

pada setiap titik sistem tenaga listrik. *International Energy Agency* (IEA) mendefinisikan DG sebagai unit-unit yang menghasilkan energi pada sisi konsumen atau dalam jaringan distribusi lokal. Semua definisi di atas menunjukkan bahwa pembangkitan dengan skala kecil yang dihubungkan ke jaringan distribusi dapat dianggap sebagai bagian dari DG. Selain itu, pembangkitan yang dipasangkan dekat dengan sisi beban atau konsumen juga dapat dikatakan sebagai DG (Satria, 2015).

DG merupakan pembangkit energi listrik yang berdiri sendiri di luar pembangkit utama pada jaringan. DG terkoneksi dengan sistem distribusi untuk memenuhi kebutuhan konsumen dan memiliki kapasitas pembangkitan lebih kecil daripada pembangkit energi listrik utama. Pada sistem distribusi, DG umumnya dipasang untuk mengurangi atau menghilangkan rugi daya pada saluran distribusi. Keberadaan DG dapat mengurangi permintaan daya aktif dari gardu distribusi selaku sumber, sehingga daya yang masih tersedia dapat di alokasikan ke beban lain atau beban baru (Santosa, et al., 2016). Gambar 2.4 menampilkan contoh dari pengaplikasian DG pada suatu sistem.



Gambar 2.4 Pemasangan DG pada sistem distribusi

Berdasarkan Gambar 2.4, rugi daya yang terjadi ketika DG ditempatkan pada suatu lokasi dalam sistem distribusi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S_r = S_{load} - S_{DG} \quad (2.3)$$

Dimana, S_{load} dan S_{DG} merupakan daya yang dikonsumsi beban dan daya yang dihasilkan oleh DG sehingga untuk mendapatkan besarnya kerugian daya setelah pemasangan DG maka daya yang dikonsumsi beban tersebut dikurangi dengan daya yang dihasilkan DG.

DG dapat dibedakan berdasarkan karakteristiknya, DG tipe 1 adalah DG yang hanya menginjeksikan daya aktif saja. Pembangkit listrik yang termasuk DG tipe 1 adalah *photovoltaic* dan *fuel cells*. DG tipe 2 adalah DG yang hanya menginjeksikan daya reaktif. DG tipe 3 adalah DG yang menginjeksikan daya aktif dan reaktif. DG tipe 4 adalah DG yang menginjeksikan daya aktif tapi mengonsumsi daya reaktif (Reddy, et al., 2016).

Beberapa permasalahan teknis yang berhubungan dengan DG dapat memberikan beberapa variasi yang signifikan terhadap kapasitas pembangkitan dari DG itu sendiri. Oleh karena itu, perlu diperkenalkan pengkategorian yang tepat untuk mengklasifikasikan DG berdasarkan kapasitas pembangkitan yang dimilikinya. Terdapat empat jenis DG berdasarkan klasifikasi ini pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
<i>Micro</i> DG (DG Mikro)	1 kW – 5 kW
<i>Small</i> DG (DG Kecil)	5 kW – 5 MW
<i>Medium</i> DG (DG Sedang)	5 MW – 50 MW
<i>Large</i> DG (DG Besar)	50 MW – 300 MW

Sumber: (Augusta & Pramono, 2018)

Pada penelitian ini DG yang digunakan adalah DG tipe 1 skala kecil yang hanya menginjeksi daya aktif dan berkapasitas maksimal 5 MW. Diasumsikan DG terkoneksi langsung pada bus, impedansi bus diabaikan.

2.2.4 Persamaan Aliran Daya

Studi aliran daya adalah suatu cara untuk mendapatkan nilai dari beberapa variabel yang memengaruhi kualitas suatu jaringan, antara lain (Pabla, 1994):

1. Aliran daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang di jaringan.

2. Tegangan dan sudut fase di masing-masing bus.
3. Rugi-rugi daya di setiap saluran.

Terdapat beberapa metode dalam penyelesaian studi aliran daya, seperti metode iteratif Gauss, Gauss-Seidel, dan Newton-Raphson (NR). Tetapi metode-metode tersebut kurang handal dan efektif untuk perhitungan pada SDR. Aliran daya pada SDR lebih kompleks, disebabkan oleh perbedaan karakteristik dari jaringan distribusi. Seperti struktur radial, nilai node yang besar dan nilai rasio R/X yang tinggi. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan metode *Backward and Forward Sweep* (BFS). Metode BFS memiliki komputasi yang efektif di setiap iterasi, serta solusi dan perhitungan numeriknya tepat (Jesus, 2020).

Dalam penelitian ini untuk menganalisa aliran daya dengan menggunakan metode BFS jaringan distribusi radial direpresentasikan seperti pohon dengan bus pertama adalah sebagai akar atau *slack bus* dan bus yang lain sebagai cabangnya atau bus beban. Metode aliran BFS ini dibagi menjadi dua tahap perhitungan yaitu tahap *backward sweep* dan *forward sweep*. Pada tahap *backward sweep* yang dilakukan adalah mencari arus pada setiap saluran dimulai dari bus terakhir menuju ke bus sumber atau *slack bus* sedangkan untuk *forward sweep* adalah mencari tegangan pada setiap bus dimulai dari *slack bus* menuju ke bus terakhir.

Prosedur dari penyelesaian aliran daya dengan metode BFS dimulai dengan *backward sweep*. Pada iterasi pertama, tegangan dari semua titik diasumsikan sama dengan tegangan pada sumber utama. Jika ada beberapa sumber pada jaringan, arus injeksi kompensasi pada sumber tersebut bernilai nol pada iterasi pertama. Di sisi lain, tegangan pada masing-masing titik dan arus injeksi kompensasi dihitung pada iterasi sebelumnya. Ketika tegangan pada masing-masing titik dan arus injeksi kompensasi sudah diketahui, arus beban dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$I_{ldi} = \left[\frac{P_i + jQ_i}{V_i} \right]^* \quad (2.4)$$

Selanjutnya *forward sweep*, dimulai dari titik sumber utama dimana nilai tegangannya diketahui, impedansi dan arus yang mengalir pada masing-masing saluran sudah diketahui, semua tegangan titik diperbarui mengabaikan sumber lainnya jika ada.

$$V_i = V_{vi} - Z_i I_{Li} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.5)$$

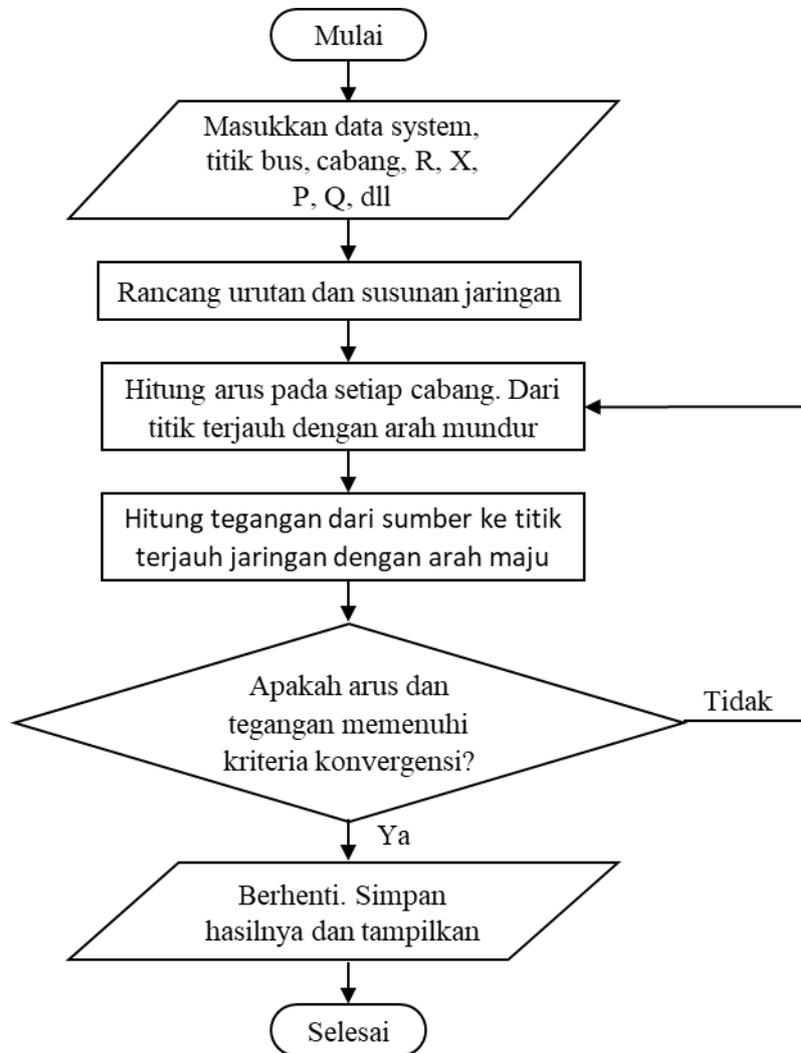
V_i = Tegangan pada titik i

V_{vi} = Tegangan pada atas dari titik i

Z_i = Impedansi saluran i

I_{Li} = Arus yang mengalir pada saluran i

Langkah-langkah penyelesaian aliran daya dijelaskan pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Diagram alir metode penyelesaian aliran daya dengan BFS
Sumber: (Augusta & Pramono, 2018)

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 ketika perbedaan tegangan yang dihasilkan pada cabang bernilai nilai 0,0001.

2.2.5 Fungsi Optimisasi

2.2.5.1 Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Fungsi objektif adalah fungsi tujuan dari suatu optimasi atau hasil optimasi yang dicari nilai optimumnya. Pada tugas akhir ini memiliki fungsi objektif untuk meminimalkan rugi-rugi daya aktif pada saluran dengan persamaan utama sebagai berikut:

$$f(x) = \min (\sum_{i=1}^N P_{Li}) \quad (2.6)$$

dengan N adalah jumlah saluran dan i adalah saluran.

2.2.5.2 Fungsi Kendala

Fungsi kendala adalah batasan-batasan yang harus dipenuhi oleh variabel yang terdapat dalam fungsi objektif. Pada penelitian ini metode FPA digunakan untuk mengoptimasi posisi bus dan *output* DG dengan batasan-batasan pada Persamaan (2.7), Persamaan (2.8) dan Persamaan (2.9)

$$2 \leq x_{bus \text{ pada SDR } 33 \text{ bus}} \leq 33 \text{ untuk } 33 \text{ bus} \quad (2.7)$$

$$2 \leq x_{bus \text{ pada SDR } 69 \text{ bus}} \leq 69 \text{ untuk } 69 \text{ bus} \quad (2.8)$$

$$5 \leq x_{output} \leq 5.000 \quad (2.9)$$

Dimana:

$x_{bus \text{ pada SDR } 33 \text{ bus}}$ = solusi posisi bus pada SDR 33 bus

$x_{bus \text{ pada SDR } 69 \text{ bus}}$ = solusi posisi bus pada SDR 69 bus

$x_{kapasitas}$ = solusi *output* DG (kW)

Diberikan batasan agar memenuhi tujuan optimasi dengan fungsi kendala seperti pada Persamaan (2.10).

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad (2.10)$$

Dimana:

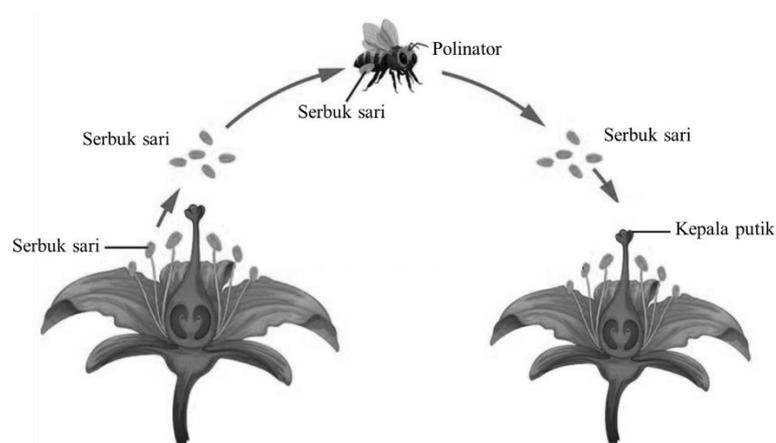
V_{min} = 0,95 pu

V_{maks} = 1,05 pu

V_i = tegangan pada bus i (pu)

2.2.6 Algoritma Penyerbukan Bunga (*Flower Pollination Algorithm*)

Penyerbukan adalah peristiwa jatuhnya serbuk sari kemudian menempel pada kepala putik sehingga terjadi proses pembuahan pada bunga. Inti dari proses penyerbukan bunga adalah bagaimana serbuk sari jatuh ke kepala putik. Jatuhnya serbuk sari ke kepala putik tentu dengan berbagai alasan seperti tertiuip angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Subjek yang membantu proses penyerbukan, disebut polinator. Proses penyerbukan bunga dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses penyerbukan bunga

Sumber: (Ekawati, 2017)

Metode optimasi FPA merupakan metode dengan konsep penyerbukan (polinasi) pada bunga. Pada metode ini tentu saja bunga yang terpilih untuk dihindangi polinator merupakan bunga dengan penampilan terbaik, atas dasar tersebut metode FPA dijalankan (Pabla, 1994). Pada metode FPA terdapat dua langkah kunci yaitu polinasi lokal dan polinasi global. Polinasi lokal adalah

saat serbuk sari suatu bunga jatuh pada putik bunga itu sendiri yang disebabkan oleh komponen abiotik (angin dan hujan). Polinasi global adalah polinasi yang dilakukan oleh polinator biotik seperti serangga yang melakukan gerakan unik serangga (*levy flights*) dimana serbuk sari dapat jatuh pada putik di bunga lain (Djalal, et al., 2017).

FPA dapat diterapkan di masalah optimisasi memaksimalkan maupun meminimumkan. Dilakukan idealisasi dari karakteristik fenomena penyerbukan bunga, fenomena *flower constancy*, dan kelakuan organisme penyerbuk dengan aturan-aturan sebagai berikut (Lastomo, 2016):

1. Penyerbukan biotik dan penyerbukan silang dipandang sebagai penyerbukan global dengan organisme penyerbuk pembawa serbuk sari yang melakukan gerakan *levy flights*.
2. Penyerbukan abiotik dan penyerbukan sendiri dipandang sebagai penyerbukan lokal.
3. *Flower constancy* dipandang sebagai peluang reproduksi yang proporsional dengan similaritas dari dua bunga yang terlibat.
4. Penyerbukan lokal dan global diatur oleh peluang berpindah (*probability switch*).

Pada kenyataannya, setiap tanaman dapat memiliki bunga, dan setiap bunga dapat melepaskan jutaan bahkan milyaran serbuk sari. Untuk alasan penyederhanaan, kita juga mengasumsikan bahwa setiap tanaman hanya memiliki satu bunga, dan setiap bunga hanya memproduksi satu gamet serbuk sari. Karena itu, kita tidak perlu membedakan antara sebuah gamet serbuk sari, sebuah bunga, sebuah tanaman berbunga, dan sebuah solusi dari sebuah masalah. Penyederhanaan ini berarti bahwa setiap solusi ekuivalen dengan sebuah bunga atau sebuah gamet serbuk sari (Lastomo, 2016).

Pada polinasi global serbuk sari dapat dengan jauh dibawa oleh polinator, hal tersebut untuk memastikan suatu solusi dengan hasil terbaik, solusi terbaik

(*fitness*) di representasikan dengan g_* . Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.11).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L (g_* - x_i^t) \quad (2.11)$$

Dimana:

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

L = persamaan jarak terbang serangga (polinator)

g_* = solusi terbaik di antara semua solusi pada iterasi ke- t

L pada Persamaan (2.11) biasa disebut dengan fungsi *levy*. Parameter L merupakan kekuatan dari penyerbukan. Fungsi *Levy* dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.12).

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^{1+\lambda}}, (\delta \gg \delta_0 > 0) \quad (2.12)$$

$\Gamma(\lambda)$ merupakan fungsi gamma, dan pada Persamaan (2.12) bernilai valid saat $\delta > 0$, pada teorinya nilai $\delta_0 = 0,1$.

Untuk penyederhanaan, diasumsikan setiap tumbuhan hanya memiliki satu bunga dan bunga tersebut hanya memproduksi satu serbuk sari, dapat disimpulkan sebuah solusi x_i sebanding dengan jumlah bunga. Pada Tabel 2.2 terlampir istilah dalam metode optimasi FPA (Augusta & Pramono, 2018).

Tabel 2.2 Istilah dalam metode FPA

Istilah Metode FPA	
Fenomena penyerbukan	Permasalahan optimasi
Populasi bunga	Data bus, data saluran, dan data kapasitor
Tingkat kecocokan bunga	Fungsi optimisasi
Usaha penyerbukan	Iterasi
Polinator	Solusi yang dilakukan pada setiap iterasi
Kemungkinan terjadinya polinasi global atau lokal	<i>Probability switch</i>
Banyaknya solusi yang ingin didapatkan	Dimensi

Sumber: (Augusta & Pramono, 2018)

Adapun penjelasan dari variabel di atas adalah sebagai berikut:

1. Fenomena penyerbukan bunga didefinisikan sebagai permasalahan optimasi, dimana pada penelitian ini merupakan permasalahan optimasi penentuan lokasi DG pada bus dan *output* DG.
2. Populasi bunga didefinisikan sebagai data beban pada setiap bus, data impedansi saluran antar bus dan data lokasi dan kapasitas kapasitor.
3. Tingkat kecocokan bunga didefinisikan sebagai fungsi optimisasi.
4. Usaha penyerbukan didefinisikan sebagai iterasi dari program optimasi, pada penelitian ini iterasi yang ditentukan paling banyak 5.000 kali untuk mendapatkan nilai yang konvergen.
5. Polinator atau variabel yang melakukan penyerbukan didefinisikan sebagai solusi yang diusahakan program untuk mendapatkan nilai fungsi optimisasi yang diberikan.
6. *Probability switch* adalah kemungkinan terjadinya polinasi lokal atau global. Polinasi global adalah proses dimana variabel yang akan diuji pada fungsi objektif akan ditambahkan variabel fungsi *Levy* untuk mendapatkan solusi yang lebih baik.
7. Dimensi merupakan banyaknya solusi optimal yang diinginkan. Pada percobaan *single* DG dimensi yang ingin didapatkan sebanyak 2 buah, yaitu 1 lokasi optimal DG dan 1 *output* optimal DG. Sedangkan pada percobaan *multi* DG dimensi yang ingin didapatkan sebanyak 6 buah, yaitu 3 lokasi optimal DG dan 3 *output* optimal masing-masing DG.

Pada penelitian ini metode FPA digunakan untuk mengoptimasi posisi bus dan *output* DG sesuai Persamaan (2.11) dengan batasan terlampir pada Persamaan (2.13) dan (2.14).

$$2 \leq x_{bus \text{ pada SDR } 33 \text{ bus}} \leq 33 \text{ dan } 2 \leq x_{bus \text{ pada SDR } 69 \text{ bus}} \leq 69 \quad (2.13)$$

$$5 \leq x_{kapasitas} \leq 5.000 \quad (2.14)$$

Dimana:

x_{bus} pada SDR 33 bus = solusi posisi bus pada SDR 33 bus

x_{bus} pada SDR 69 bus = solusi posisi bus pada SDR 69 bus

$x_{kapasitas}$ = solusi *output* DG

Nilai 2 pada Persamaan (2.13) adalah batas bawah untuk posisi bus DG yang akan dipasang pada sistem, sedangkan 33 dan 69 adalah batas atas posisi bus. Nilai 5 pada persamaan (2.14) adalah batas minimal *output* DG yaitu 5 kW, sedangkan 5.000 adalah batas maksimal DG yaitu 5.000 kW.

Diberikan batasan pada Persamaan (2.15) agar solusi x_{bus} dan $x_{kapasitas}$ memenuhi tujuan optimasi yaitu meminimalkan *losses* dan memperbaiki profil tegangan pada sistem (Augusta & Pramono, 2018).

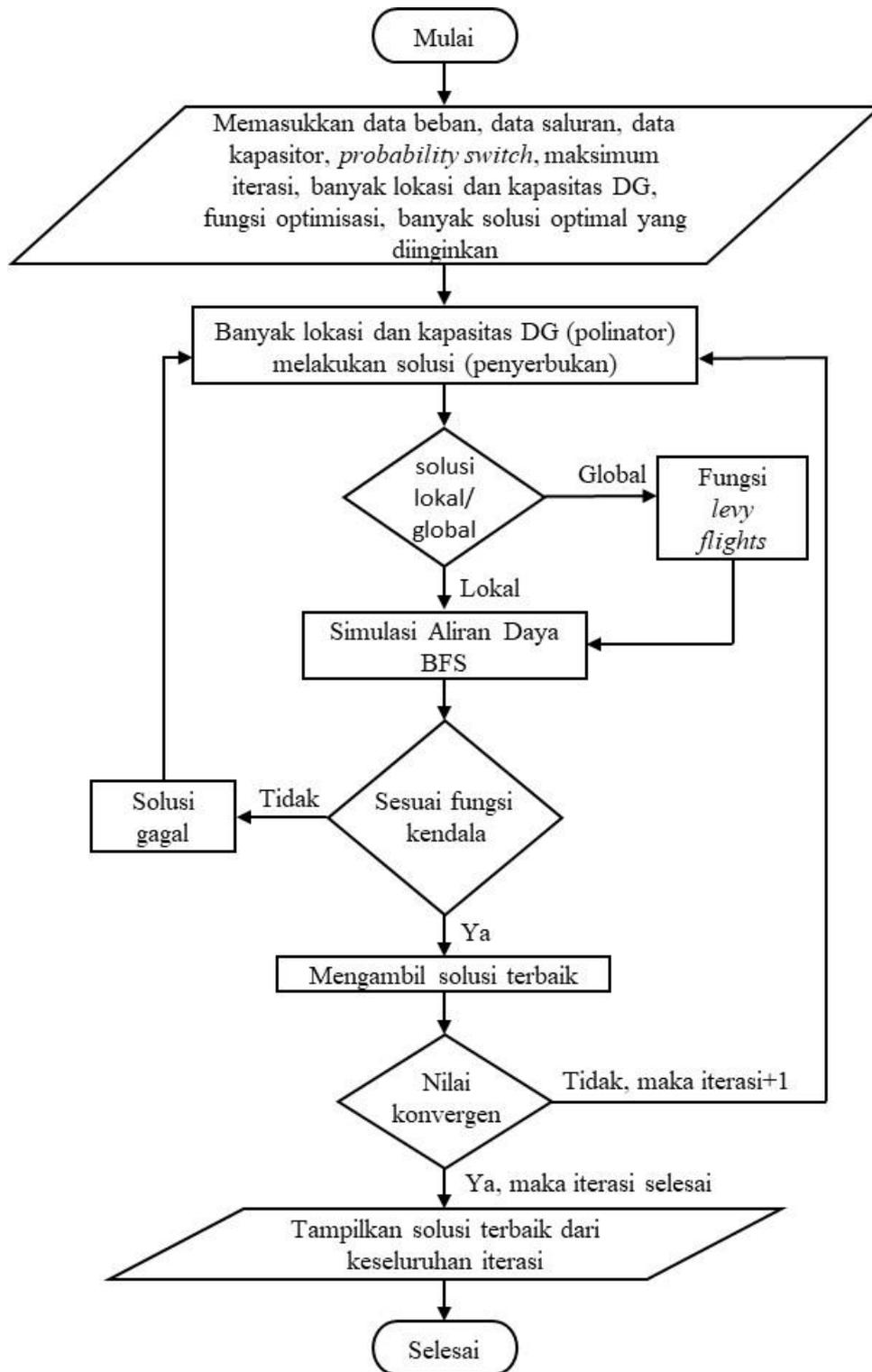
$$V_{\min} \leq V_{\text{bus}} \leq V_{\text{maks}} \quad (2.15)$$

Dimana:

V_{\min} = 0,95 pu

V_{maks} = 1,05 pu

Aliran daya setelah optimasi haruslah memenuhi beberapa batasan di atas untuk mendapatkan solusi x_{bus} dan $x_{kapasitas}$ pada metode optimasi FPA. Optimasi FPA dapat dijelaskan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram alir optimasi penentuan letak DG pada SDR dengan memperhatikan adanya kapasitor menggunakan metode FPA
 Sumber: (Augusta & Pramono, 2018)

Berikut adalah penjelasan diagram alir optimasi FPA pada Gambar 2.7:

1. Memasukkan parameter metode FPA seperti banyak lokasi dan *output* DG yang diusahakan program sesuai fungsi objektif sebagai serbuk sari yang dibawa oleh polinator; data beban, data saluran, data kapasitor sebagai populasi bunga; fungsi optimisasi sebagai tingkat kecocokan bunga; kemungkinan terjadinya solusi global atau lokal sebagai *probability switch*; maksimum iterasi sebagai usaha penyerbukan; banyak solusi optimal yang diinginkan sebagai dimensi.
2. Banyak lokasi dan *output* DG yang diusahakan program sesuai fungsi objektif disebut polinator yang kemudian melakukan penyerbukan untuk mendapatkan solusi. Banyak lokasi dan *output* DG adalah nilai untuk mendapatkan solusi posisi bus dan kapasitas DG.
3. Kemudian dilakukan seleksi apakah penyerbukan yang dilakukan polinator adalah solusi (penyerbukan) lokal atau global. Apabila terjadi penyerbukan global maka akan dimasukkan parameter fungsi *Ievy flight* ke dalam parameter pencarian solusi dalam fungsi objektif.
4. Simulasi aliran daya BFS dilakukan untuk mendapatkan tegangan tiap bus, rugi-rugi daya tiap bus, dan total rugi-rugi daya.
5. Setelah mendapatkan beberapa solusi sementara yaitu nilai posisi bus dan juga *output* DG dari iterasi saat ini, selanjutnya akan dilakukan seleksi apakah solusi-solusi yang didapatkan sesuai dengan fungsi kendala. Jika solusi sesuai dengan fungsi kendala maka akan ditampung, jika tidak sesuai maka solusi akan diproses ulang agar sesuai dengan fungsi kendala. Setelah semua solusi sesuai dengan fungsi kendala selanjutnya akan dipilih nilai solusi terbaik saat ini.
6. Selanjutnya akan dilakukan seleksi apakah nilai iterasi telah mencapai nilai yang konvergen, jika tidak maka akan dilakukan pengulangan ke proses simulasi aliran daya hingga iterasi selesai.
7. Jika iterasi sudah tercapai maka akan diambil nilai solusi terbaik dari keseluruhan iterasi metode FPA, hasil akhir dari program optimasi ini adalah nilai posisi bus optimal dimana DG dipasang dan juga kapasitas masing-masing DG yang akan dipasang.