

**SKRIPSI**

**PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL DENGAN  
METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA  
MEMPERTIMBANGKAN KENAIKAN BEBAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**MEYKE RUPANG**

**D041 18 1033**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**Makassar**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL DENGAN  
METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA MEMPERTIMBANGKAN  
KENAIKAN BEBAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**MEYKE RUPANG**

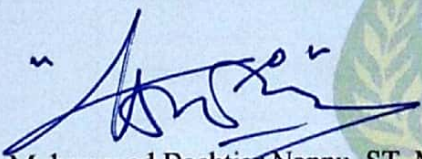
**D041 18 1033**

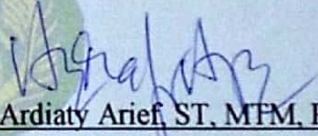
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 14 September 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing I,

Pembimbing II,

  
Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, ST, M.Phil., Ph.D.  
NIP. 19760406.200312 1 002

  
Ir. Ardiaty Arief, ST, MFM, Ph.D.  
NIP. 19780424 200112 2 001

Ketua Departemen Teknik Elektro,



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

## LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI

### PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL DENGAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA MEMPERTIMBANGKAN KENAIKAN BEBAN

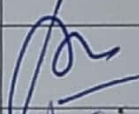
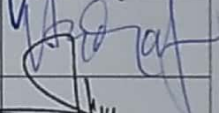
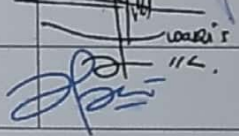
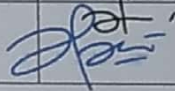
Oleh:

MEYKE RUPANG

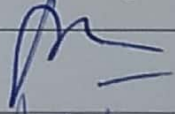
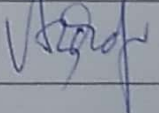
D041 18 1033

Skripsi ini telah dipertahankan pada Ujian Akhir Sarjana pada tanggal 14 September 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. Muhammad Bachtiar Nappu, ST, M.Phil., Ph.D.	
Sekretaris	Ir. Ardiaty Arief, ST, MTM, Ph.D	
Anggota	Ir. Tajuddin Waris, MT	
	Dr. Hasniaty A., S.T., M.T.	

Persetujuan perbaikan oleh tim pembimbing:

Pembimbing	Nama	Tanda Tangan
I	Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, ST, M.Phil., Ph.D.	
II	Ir. Ardiaty Arief, ST, MTM, Ph.D	

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Meyke Rupang  
NIM : D041181033  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL DENGAN  
METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA  
MEMPERTIMBANGKAN KENAIKAN BEBAN

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, 20 September 2022

Yang Menyatakan



(Meyke Rupang)

## ABSTRAK

**MEYKE RUPANG.** *Penempatan Distributed Generation (DG) Optimal Dengan Metode Algoritma Penyerbukan Bunga Mempertimbangkan Kenaikan Beban* (dibimbing oleh Bachtiar Nappu dan Ardiaty Arief)

Jaringan distribusi sangat dipengaruhi oleh adanya peningkatan permintaan energi listrik, yang dapat menyebabkan bertambahnya rugi-rugi daya pada sistem serta penurunan tegangan bus pada sistem. Untuk mengatasi permasalahan peningkatan rugi daya pada sistem dan penurunan tegangan, maka salah satu alternatif yang bisa dilakukan yaitu penggunaan *Distributed Generation (DG)*. Untuk mendapatkan penurunan rugi daya sebaik mungkin maka penentuan lokasi dan kapasitas DG harus dilakukan dengan optimal dengan menggunakan suatu metode optimasi. Dalam penelitian ini metode optimasi yang digunakan adalah metode *Flower Pollination Algorithm (FPA)*. Penelitian ini diujikan pada sistem distribusi radial 33 bus dan 69 bus dengan standar IEEE dengan melakukan beberapa skenario kenaikan beban pada sistem. Pada optimasi penempatan DG untuk sistem distribusi IEEE 33 bus didapatkan hasil paling baik yaitu optimasi penempatan 3 DG dengan penurunan rugi daya aktif sebesar 66% dan penurunan rugi daya reaktif sebesar 64%. Sedangkan, pada optimasi penempatan DG untuk sistem distribusi IEEE 69 busa didapatkan hasil yang paling baik adalah pada penggunaan 2 DG dengan penurunan rugi daya aktif sebesar 41% dan penurunan rugi daya reaktif sebesar 35%. Pada hasil penelitian ini didapatkan pula bahwa penggunaan DG optimal dapat memperbaiki profil tegangan pada sistem, sebelum adanya DG pada sistem terdapat beberapa bus yang mengalami *undervoltage* (tegangan dibawah 0,95 pu), namun setelah penggunaan DG optimal pada sistem didapatkan bahwa semua tegangan pada setiap bus sudah berada dalam batasan yang diizinkan yaitu 0,95 pu sampai 1,05 pu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan DG optimal dapat memperbaiki profil tegangan dan menurunkan rugi-rugi daya pada sistem.

**Kata kunci** : Sistem distribusi, *Distributed Generation*, *Flower Pollination Algorithm*, rugi-rugi daya, profil tegangan

## ABSTRACT

**MEYKE RUPANG.** *Optimal Distributed Generation (DG) Placement With Interest Pollination Algorithm Method Considering Load Increase* (supervised by Bachtiar Nappu and Ardiaty Arief)

The distribution network is strongly influenced by an increase in the demand for electrical energy, which can cause increased power losses in the system as well as a decrease in bus voltage in the system. To overcome the problem of increasing power loss in the system and decreasing voltage, one alternative that can be done is the use of Distributed Generation (DG). To get the best possible decrease in power loss, the determination of the location and capacity of DG must be carried out optimally using an optimization method. In this study, the optimization method used was the Flower Pollination Algorithm (FPA) method. This study was tested on a radial distribution system of 33 buses and 69 buses with IEEE standards by conducting several scenarios of load increase in the system. . In the optimization of DG placement for the IEEE 33 bus distribution system, the best results were obtained, namely the optimization of 3 DGs placement with a decrease in active power loss of 66% and a decrease in reactive power loss of 64%. Meanwhile, in optimizing the DGs placement for the IEEE 69 bus distribution system, the best results were obtained in the use of 2 DGs with a decrease in active power loss of 41% and a decrease in reactive power loss of 35%. In the results of this study, it was also found that the use of optimal DG can improve the voltage profile in the system, before the existence of DGs in the system there were several buses that experienced undervoltage (voltage below 0.95 pu), but after the use of optimal DG in the system it was found that all voltages on each bus were within the permissible limit of 0.95 pu to 1.05 pu. So it can be concluded that the use of optimal DG can improve the voltage profile and reduce power losses in the system.

**Keywords :** *Distribution system, Distributed Generation, Flower Pollination Algorithm, power loss, voltage profile*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, anugerah, dan pimpinan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul ” Penempatan *Distributed Generation* (DG) Optimal Dengan Metode Algoritma Penyerbukan Bunga Mempertimbangkan Kenaikan Beban” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Perjalanan panjang telah penulis lalui dalam proses penyelesaian penulisan skripsi ini. Banyak hambatan dan rintangan yang dihadapi penulis, namun atas berkat dan kehendak Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis berhasil menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dalam perjalanan tersebut, penulis juga sadar banyak pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun yang tidak langsung, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orangtua tercinta dan adik-adik terkasih, Jana, Viktor, Natalia dan Safia yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan dan nasihat kepada penulis.
2. Bapak Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, ST, M.Phil., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Ir. Ardiaty Arief, ST, MTM, Ph.D. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam penyelesaian dan penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Tajuddin Waris, MT dan Ibu Dr. Hasniaty A., S.T., M.T. selaku dosen penguji yang memberikan saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Segenap dosen pengajar Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu, pengajaran dan bimbingan yang diberikan kepada penulis semasa kuliah.
5. Teman-teman *Power Angels* dan teman-teman SISIBA (Skin, Ilma, Nisa, Chalu, Senja, Eni dan Wana) yang selalu memberikan dukungan dan

menjadi teman diskusi untuk menemukan solusi atas masalah-masalah yang dihadapi penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.

6. Sahabat AAC, yang selalu memberikan dukungan, saran, motivasi semangat dan doa kepada penulis. Yang selalu menjadi pendengar yang baik atas semua keluh kesah penulis. Terima kasih telah menjadi teman *healing* terbaik disaat penulis sedang pusing skripsian.
7. CAL18RATOR atas cerita dan kebersamaan semasa kuliah.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
9. *Last but not least, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat terbuka atas saran dan masukan-masukan yang bersifat konstruktif.

Akhir kata, mohon maaf atas semua kesalahan yang ada dalam penyusunan skripsi ini. Penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat mendorong penelitian-penelitian berikutnya.

Gowa, 9 September 2022

Meyke Rupang



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERBAIKAN SKRIPSI .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Metode Penelitian.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2. 1. Penelitian Terdahulu.....	6
2. 2. Sistem Tenaga Listrik.....	7
2. 1. 1 Pembangkitan.....	8
2. 1. 2 Transmisi.....	8
2. 1. 3 Distribusi.....	9
2. 1. 4 Beban.....	11
2. 3. Aliran Daya .....	12
2. 4. <i>Backward and Forward Sweep</i> (BFS).....	13
2. 5. <i>Distributed Generation</i> .....	16

2. 6.	Fungsi Objektif dan Fungsi Kendala.....	18
2. 7.	<i>Flower Pollination Algorithm</i> (FPA) .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>25</b>
3. 1.	Judul Penelitian .....	25
3. 2.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	25
3. 3.	Alat dan Bahan .....	25
3. 4.	Teknik Pengambilan Data .....	25
3. 5.	Alur Penelitian.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>35</b>
4. 1.	Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus .....	35
4. 2.	Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus .....	59
4. 3.	Perbandingan Hasil Optimasi .....	87
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>91</b>
5. 1.	Kesimpulan.....	91
5. 2.	Saran.....	92
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>93</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sistem Tenaga Listrik (Saadat, 1999).....	8
<b>Gambar 2.2</b> Sistem distribusi radial (Syahputra, 2017).....	10
<b>Gambar 2.3</b> Sistem distribusi loop (Syahputra, 2017).....	10
<b>Gambar 2.4</b> Sistem distribusi spindel (Syahputra, 2017).....	11
<b>Gambar 2.5</b> Jaringan distribusi radial (Augusta, 2018).....	14
<b>Gambar 2.6</b> Diagram alir metode Backward and Forward Sweep (Augusta, 2018).....	15
<b>Gambar 2.7</b> Konsep pembangkit listrik terpusat (centralized generation) (Syahputra, 2017) .....	17
<b>Gambar 2.8</b> Konsep pembangkit listrik tersebar (distributed generation) (Syahputra, 2017) .....	17
<b>Gambar 2.9</b> Diagram alir metode Flower Pollination Algorithm (Augusta, 2018).....	23
<b>Gambar 3.1</b> Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus (Ruzi, 2016).....	26
<b>Gambar 3.2</b> Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus (Ruzi, 2016).....	28
<b>Gambar 3.3</b> Diagram alur penelitian .....	31
<b>Gambar 3.4</b> Diagram alir simulasi program yang dilakukan dalam penelitian ...	33
<b>Gambar 4.1</b> Rugi-rugi daya skenario 1 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	37
<b>Gambar 4.2</b> Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 1 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	38
<b>Gambar 4.3</b> Rugi-rugi daya skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	41
<b>Gambar 4.4</b> Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	42
<b>Gambar 4.5</b> Rugi-Rugi daya skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus.....	45
<b>Gambar 4.6</b> Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 33 DG.....	46
<b>Gambar 4.7</b> Rugi-rugi daya skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	49

<b>Gambar 4.8</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	50
<b>Gambar 4.9</b>	Rugi-rugi daya skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	53
<b>Gambar 4.10</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	54
<b>Gambar 4.11</b>	Rugi-rugi daya skenario 6 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	57
<b>Gambar 4.12</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 6 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	58
<b>Gambar 4.13</b>	Rugi-rugi daya skenario 1 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	60
<b>Gambar 4.14</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 1 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus.....	61
<b>Gambar 4.15</b>	Rugi-rugi daya skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	65
<b>Gambar 4.16</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	66
<b>Gambar 4.17</b>	Rugi-rugi daya skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	70
<b>Gambar 4.18</b>	untuk Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	71
<b>Gambar 4.19</b>	Rugi-rugi daya skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	75
<b>Gambar 4.20</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	76
<b>Gambar 4.21</b>	Rugi-rugi daya skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	80
<b>Gambar 4.22</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus.....	81
<b>Gambar 4.23</b>	Rugi-rugi daya skenario 6 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	85
<b>Gambar 4.24</b>	Profil tegangan setiap bus sebelum dan setelah penempatan DG skenario 6 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus.....	86

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi DG berdasarkan kapasitasnya .....	18
<b>Tabel 2.2</b> Istilah dalam Metode FPA.....	22
<b>Tabel 3.1</b> Data Bus IEEE 33 Bus .....	26
<b>Tabel 3.2</b> Data Line IEEE 33 Bus .....	27
<b>Tabel 3.3</b> Data line IEEE 69 Bus.....	28
<b>Tabel 4.1</b> Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 1 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	36
<b>Tabel 4.2</b> Hasil optimasi penempatan DG skenario 1 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	36
<b>Tabel 4.3</b> Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 5% Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	39
<b>Tabel 4.4</b> Lokasi dan kapasitas DG optimal skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	40
<b>Tabel 4.5</b> Hasil optimasi penempatan DG skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	40
<b>Tabel 4.6</b> Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 10% Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	43
<b>Tabel 4.7</b> Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	44
<b>Tabel 4.8</b> Hasil optimasi penempatan DG skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	44
<b>Tabel 4.9</b> Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 15% Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	47
<b>Tabel 4.10</b> Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	48
<b>Tabel 4.11</b> Hasil optimasi penempatan DG skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	48
<b>Tabel 4.12</b> Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 20% Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	51

<b>Tabel 4.13</b>	Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	52
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil optimasi penempatan DG skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	52
<b>Tabel 4.15</b>	Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 10% dan 20% Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	55
<b>Tabel 4.16</b>	Lokasi dan kapasitas DG optimal skenario 6 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	56
<b>Tabel 4.17</b>	Hasil optimasi penempatan DG skenario 6 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus .....	56
<b>Tabel 4.18</b>	Lokasi dan kapasitas DG optimal skenario 1 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	59
<b>Tabel 4.19</b>	Hasil optimasi penempatan DG skenario 1 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus .....	60
<b>Tabel 4.20</b>	Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 5% Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	62
<b>Tabel 4.21</b>	Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	64
<b>Tabel 4.22</b>	Hasil optimasi penempatan DG skenario 2 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	65
<b>Tabel 4.23</b>	Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 10% Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	67
<b>Tabel 4.24</b>	Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	69
<b>Tabel 4.25</b>	Hasil optimasi penempatan DG skenario 3 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	70
<b>Tabel 4.26</b>	Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 15% Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	72
<b>Tabel 4.27</b>	Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	74

<b>Tabel 4.28</b> Hasil optimasi penempatan DG skenario 4 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	75
<b>Tabel 4.29</b> Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 20% Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	77
<b>Tabel 4.30</b> Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	79
<b>Tabel 4.31</b> Hasil optimasi penempatan DG skenario 5 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	79
<b>Tabel 4.32</b> Data beban aktif dan beban reaktif sebelum dan setelah adanya kenaikan beban sebesar 10% dan 20% Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	82
<b>Tabel 4.33</b> Lokasi dan Kapasitas DG optimal skenario 6 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	84
<b>Tabel 4.34</b> Hasil optimasi penempatan DG skenario 6 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	85
<b>Tabel 4.35</b> Kesimpulan hasil optimasi Sistem Distribusi 33 Bus .....	87
<b>Tabel 4.36</b> Kesimpulan hasil optimasi Sistem Distribusi IEEE 69 Bus .....	89
<b>Tabel 4.37</b> Perbandingan metode FPA dan metode optimasi lain .....	90

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

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

Jaringan distribusi merupakan jaringan yang paling dekat dengan konsumen, yang pada umumnya terdiri dari penyulang yang terhubung secara radial. Perkembangan jaringan distribusi sangatlah dipengaruhi oleh adanya penambahan atau peningkatan permintaan energi listrik. Hal ini dapat menyebabkan adanya peningkatan rugi-rugi daya pada sistem dan penurunan tegangan. Oleh karena itu, penggunaan *Distributed Generation* (DG) dapat menjadi salah satu solusi alternatif (Prakash & Lakshminarayana, 2016). Sehingga pada penelitian ini dilakukan optimasi penempatan *Distributed Generation* dengan mempertimbangkan adanya penambahan beban. Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi penempatan *single* dan *multi* DG, untuk *multi* DG digunakan 2, 3, 4 dan 5 DG untuk mendapatkan penempatan DG yang efisien dari segi penurunan rugi-rugi daya.

*Distributed Generation* merupakan pembangkit listrik berkapasitas kecil yang ditempatkan pada jaringan distribusi listrik. Penempatan DG harus dilakukan dengan optimal agar didapatkan penurunan rugi-rugi daya sebaik mungkin serta perbaikan level tegangan. Oleh karena itu, dalam penyelesaian masalah optimasi penempatan DG diperlukan suatu metode (Luthfi et al., 2013).



Dimana dalam penelitian ini, metode optimasi yang digunakan adalah Algoritma Penyebaran Bunga (*Flower Pollination Algorithm/FPA*), metode FPA digunakan karena lebih efisien dibandingkan dengan metode yang sering digunakan pada proses optimasi seperti *backtracking search optimization algorithm*, *artificial bee colony*, dan *selection algorithm* (Oda et al., 2015) dan jaringan distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi 33 bus dengan standar IEEE dan sistem distribusi 69 bus dengan standar IEEE. Metode FPA merupakan salah satu metode optimasi yang terinspirasi dari proses alam yaitu proses penyerbukan bunga (Prasetya et al., 2019).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan posisi dan kapasitas optimal DG sistem radial dengan memperhatikan adanya penambahan beban dengan menggunakan metode Algoritma Penyerbukan Bunga?
2. Bagaimana pengaruh penempatan DG pada sistem distribusi radial memperhatikan adanya penambahan beban dengan menggunakan metode Algoritma Penyerbukan Bunga?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan posisi dan kapasitas optimal DG sistem radial dengan memperhatikan adanya penambahan beban
2. Mengetahui pengaruh penempatan DG pada sistem distribusi radial memperhatikan adanya penambahan beban dengan menggunakan metode Algoritma Penyerbukan Bunga

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari adanya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai penempatan DG pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki level tegangan.
2. Memberikan informasi mengenai metode Algoritma Penyerbukan Bunga dalam melakukan optimasi penempatan DG pada suatu jaringan distribusi.
3. Memberikan informasi mengenai kondisi rugi-rugi daya dan level tegangan pada sistem distribusi sebelum dan setelah optimasi penempatan DG dengan metode Algoritma Penyerbukan Bunga.

#### 1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem distribusi yang digunakan dalam penelitian adalah sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus.
2. DG yang disimulasikan adalah DG tipe 1 yang hanya dapat menginjeksikan daya aktif dengan skala *small* DG (DG kecil).
3. Diasumsikan DG terpasang langsung pada bus beban, impedansi antara DG dan bus beban diabaikan.
4. Profil tegangan yang dikehendaki setelah pemasangan DG adalah 0,95 - 1,05 pu sesuai standar IEEE.
5. Tujuan optimasi adalah meminimalkan rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi radial.
6. Simulasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2016b.
7. Metode aliran daya yang digunakan pada penelitian ini adalah *Backward and Forward Sweep* (BFS).
8. Metode optimasi yang digunakan adalah *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
9. Studi aliran daya dan teori penggunaan *software* yang digunakan tidak dijelaskan secara detail.

## **1.6. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

### **1. Studi literatur**

Studi literatur yaitu metode penelitian berupa kajian yang dilakukan oleh penulis atas referensi-referensi dengan cara pengadaaan studi dari buku, jurnal, serta artikel-artikel terkait yang dapat digunakan untuk menunjang penulisan laporan penelitian ini.

### **2. Pengambilan data**

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data yang dapat digunakan untuk penelitian ini, yang berupa data data sekunder yaitu data yang didapatkan dari pihak lain. Pengumpulan data didasarkan atas hasil Studi Literatur, kemudian selanjutnya menentukan variable penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian.

### **3. Pengolahan data**

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan software.

### **4. Analisa hasil pengolahan dan perbandingan data**

Dilakukan untuk memperoleh simulasi sementara, kemudian dilakukan perbandingan terhadap data sebelumnya untuk menarik kesimpulan untuk pengoolahan lebih lanjut.

### **5. Simpulan**

Simpulan merupakan hasil akhir penelitian yang didapatkan setelah menghubungkan hasil pengolahan data dan masalah yang diteliti.

## **1.7. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

### **BAB I PENDAHULUAN**

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

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab tinjauan pustaka berisi teori-teori tentang materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan penelitian ini.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

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

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab hasil dan pembahasan berisi hasil yang didapatkan pada penelitian ini serta pembahasan mengenai hasil yang didapatkan.

## **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan secara keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan. Serta saran-saran untuk perbaikan atau aspek lain yang perlu dikaji lebih lanjut.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2. 1. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah meneliti tentang optimasi penempatan DG, contohnya penelitian yang dilakukan oleh D.B. Parkash dan C. Lakshminarayana dengan judul penelitiannya yaitu “*Multiple DG Placements in Distribution System for Power Reduction Using PSO Algorithm*”, dimana pada penelitian ini dilakukan optimasi 1, 2, dan 3 DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Pada penelitian ini, didapatkan untuk sistem distribusi IEEE 33 bus, pada penempatan 1 DG rugi daya aktif sebesar 110,99 kW, pada penempatan 2 DG rugi daya aktif sebesar 91,3 kW, dan pada penempatan 3 DG rugi daya aktif sebesar 74,09 kW (Prakash & Lakshminarayana, 2016).

Penelitian selanjutnya yaitu penelitian yang dilakukan oleh M.H.Moradi, M.Abedinie dan H. bagheri Tolabi dengan judul “*Optimal Multi-Distributed Generation Location and Capacity by Genetic Algorithms*”. Pada penelitian ini dilakukan optimasi penempatan multi DG (3 DG) pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Dimana pada optimasi DG tipe 1 didapatkan hasil rugi-rugi daya setelah penempatan multi DG adalah 72,96 kW (Moradi et al., 2010).

Terdapat pula penelitian yang dilakukan oleh Indra Sasmita, Agung Budi Muljono dan I Made Ari Nnartha dengan judul “PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) BERDASARKAN FAKTOR SENSITIVITAS RUGI-RUGI DAN KAPASITAS OPTIMAL MENGGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL BEE COLONY* (ABC)”. Pada penelitian ini dilakukan optimasi penempatan multi DG dengan metode *Artificial Bee Colony* (ABC) pada

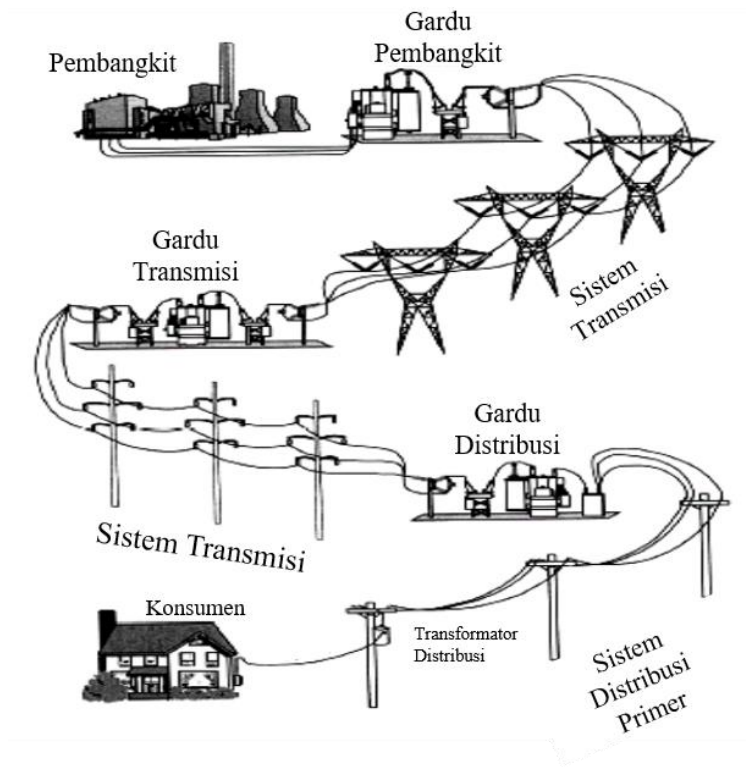
sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Hasil yang didapatkan yaitu rugi-rugi daya setelah penempatan 3 DG sebesar 77,144 kW (Sasmita Indra et al., 2016).

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Eyad S. Oda dengan judul “*Distributed generation planning using flower pollination algorithm for enhancing distribution system voltage stability*”, dalam penelitian ini dilakukan perbandingan optimasi pemasangan *single* dan *multi* antara FPA dan metode lain yaitu metode *Artificial Bee Colony* (ABC) dan metode *Clonal Selection Algorithm* (CSA), dan didapatkan bahwa optimasi menggunakan metode FPA lebih efektif dalam menurunkan rugi-rugi daya dibandingkan metode lain yaitu CSA dan ABC (Oda et al., 2015).

## **2. 2. Sistem Tenaga Listrik**

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling populer dan paling penting dalam kehidupan manusia, karena dapat dengan mudah ditransformasikan menjadi bentuk energi yang lain dengan efisiensi tinggi, tetapi masih dalam batas biaya yang wajar. Sistem tenaga saat ini adalah jaringan interkoneksi yang kompleks seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Suatu sistem tenaga listrik dapat dibagi lagi menjadi empat bagian utama (Saadat, 1999):

- 1) Pembangkitan
- 2) Transmisi
- 3) Distribusi
- 4) Beban



**Gambar 2.1** Sistem Tenaga Listrik (Saadat, 1999)

### 2. 1. 1 Pembangkitan

Salah satu komponen penting dari sistem tenaga listrik adalah generator ac tiga fasa yang dikenal sebagai generator sinkron atau alternator. Di pembangkit listrik, ukuran generator dapat bervariasi dari 50 MW hingga 1500 MW. Sumber tenaga mekanik, umumnya dikenal sebagai *prime mover*, turbin hidrolik di air terjun, turbin uap yang energinya berasal dari pembakaran batu bara, gas dan bahan bakar nuklir, turbin gas, atau kadang-kadang mesin pembakaran internal yang membakar minyak (Saadat, 1999).

### 2. 1. 2 Transmisi

Tujuan dari jaringan transmisi overhead adalah untuk mentransfer energi listrik dari unit pembangkit di berbagai lokasi ke sistem distribusi yang pada akhirnya memasok beban. Saluran transmisi juga memungkinkan tidak hanya pengiriman daya secara ekonomis di dalam wilayah selama kondisi normal, tetapi juga transfer daya antar wilayah selama keadaan darurat. Tegangan transmisi

standar ditetapkan di Amerika Serikat oleh *American National Standards Institute* (ANSI) (Saadat, 1999).

### **2. 1. 3 Distribusi**

Klasifikasi jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu (Syahputra, 2017):

- Jaringan Distribusi Primer (Jaringan Distribusi Tegangan Menengah).

Jaringan distribusi primer (JDPM) merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV). Hantaran dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer trafo didistribusi).

- Jaringan Distribusi Sekunder (Jaringan Distribusi Tegangan Rendah).

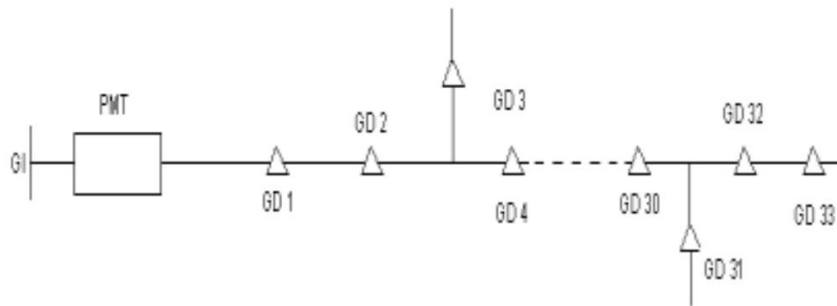
Jaringan distribusi sekunder (JDTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Hantaran berupa kabel tanah atau kawat udara yang menghubungkan dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke tempat konsumen atau pemakai (misalnya industri atau rumah – rumah).

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindle (Syahputra, 2017).

- Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang – cabangkan ke titik – titik beban yang dilayani, seperti terlihat pada Gambar 2. 2.

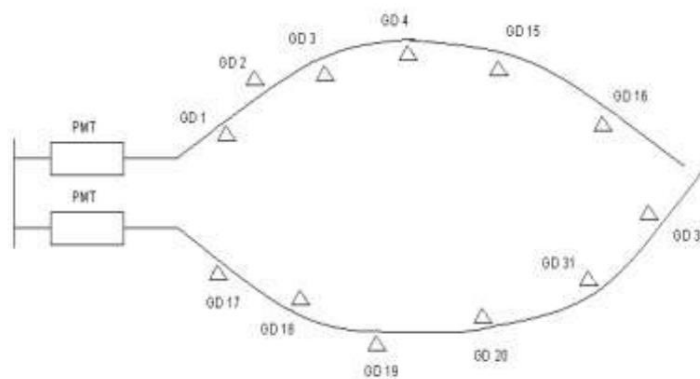




**Gambar 2.2** Sistem distribusi radial (Syahputra, 2017)

- Sistem Jaringan Distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada Gambar 2.3 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil. (Syahputra, 2017)

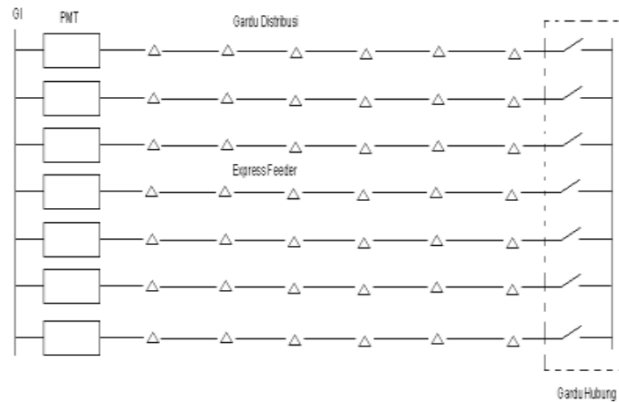


**Gambar 2.3** Sistem distribusi loop (Syahputra, 2017)

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu (Syahputra, 2017):

- Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normallly open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
  - Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup
- Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel (seperti Gambar 2. 4.) merupakan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar.



**Gambar 2.4** Sistem distribusi spindel (Syahputra, 2017)

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan antara lain (Syahputra, 2017):

- a. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- b. Menurunkan atau menekan rugi – rugi akibat gangguan.
- c. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
- d. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

#### **2. 1. 4 Beban**

Beban sistem tenaga dibagi menjadi industri, komersial, dan perumahan. Beban industri yang sangat besar dapat dilayani dari sistem transmisi. Beban industri besar dilayani langsung dari jaringan subtransmisi, dan beban industri kecil dilayani dari jaringan distribusi primer. Beban industri adalah beban komposit, dan motor induksi membentuk proporsi yang tinggi dari beban ini. Beban komposit ini merupakan fungsi dari tegangan dan frekuensi dan merupakan bagian utama dari beban sistem. Beban komersial dan residensial sebagian besar terdiri dari penerangan, pemanasan, dan pendinginan. Beban ini tidak tergantung pada frekuensi dan mengkonsumsi daya reaktif yang sangat kecil. Daya beban dinyatakan dalam kilowatt atau megawatt. Besarnya beban bervariasi sepanjang hari, dan daya harus tersedia untuk konsumen sesuai permintaan (Syahputra, 2017).

### 2.3. Aliran Daya

Pada sistem tenaga listrik, daya mengalir dari pusat pembangkitan menuju beban dengan melalui cabang-cabang yang berbeda pada jaringan. Aliran daya aktif dan daya reaktif diketahui sebagai aliran daya (*power flow*) atau aliran beban (*load flow*). Analisis aliran beban ini sangat penting dilakukan pada saat perancangan pengembangan sistem tenaga listrik dimasa yang akan datang. Analisis ini dilakukan untuk melihat efek-efek interkoneksi sistem yang ada dengan sistem baru, beban yang baru, pusat pembangkit listrik yang baru, jaringan transmisi yang baru sebelum semuanya beroperasi agar kualitas sistem tenaga listrik yang ada nanti akan sesuai dengan standar yang ada. Studi aliran beban ini menyediakan pendekatan matematika secara sistematis untuk mengetahui tegangan bus, sudut fase, daya aktif dan reaktif yang mengalir melalui jaringan, generator, setting transformator dan beban pada saat keadaan *steady state*. (Septiani, 2020)

Di dalam studi tenaga listrik, termasuk studi aliran daya, bus-bus jaringan dibedakan menjadi 3 macam bus, yaitu (Septiani, 2020):

#### a) *Slack Bus*

Bus ini digunakan sebagai bus referensi yang berguna dalam kondisi menyeimbangkan daya. Slack bus biasanya berupa unit pembangkitan yang dapat digunakan setiap saat dan dibutuhkan untuk memastikan daya seimbang. Variabel yang diketahui pada bus ini adalah  $|V|$  dan  $\delta$ , serta yang tidak diketahui adalah P dan Q.

#### b) *Generator Bus (PV Bus)*

Bus ini merupakan bus kontrol tegangan. Bus ini dihubungkan dengan unit generator yang mana daya keluaran yang dibangkitkan melalui bus ini dapat dikontrol dengan mengatur prime mover dan tegangan dapat dikontrol dengan mengatur eksitasi dari generator. Variabel yang diketahui pada bus ini adalah P dan  $|V|$ , serta yang tidak diketahui adalah Q dan  $\delta$ .

#### c) *Load Bus (PQ Bus)*

Bus ini merupakan bus non-generator yang dapat diperoleh dari data maupun perhitungan. Suplai daya aktif dan reaktif pada sistem tenaga didefinisikan positif,

sedangkan daya yang dikonsumsi oleh sistem tenaga didefinisikan negatif. Pada bus ini, beban daya aktif dan reaktif berkumpul. Variabel yang diketahui pada bus ini adalah  $P$  dan  $Q$ , serta yang tidak diketahui adalah  $|V|$  dan  $\delta$ .

Terdapat beberapa metode dalam penyelesaian studi aliran daya, seperti metode iteratif Gauss, Gauss-Seidel, dan Newton-Raphson (NR). Metode aliran beban konvensional, seperti Newton-Raphson dan Fast-Decoupled, sudah mapan dan efisien untuk jaringan transmisi. Namun, harus diperhatikan dalam menggunakan metode ini untuk jaringan distribusi di mana rasio  $R/X$  saluran tinggi dan jaringan biasanya dioperasikan dalam konfigurasi radial. Karakteristik jaringan distribusi ini menempatkannya dalam kelompok jaringan berkondisi buruk untuk metode konvensional (Shateri & Jamali, 2008).

Sistem distribusi adalah sistem yang penyaluran daya listriknya langsung terhubung dengan beban atau langsung ke pelanggan. Sistem distribusi menyalurkan daya listrik dari gardu induk transmisi langsung menuju ke tiap-tiap titik beban. Adapun karakteristik dari sistem distribusi adalah seperti dibawah ini (Novialifiah et al., 2014) :

- Strukturnya radial.
- Memiliki nilai  $R/X$  tinggi.
- Sistem kompleks.

Dapat dilihat pada karakteristik sistem jaringan distribusi diatas menunjukkan bahwa karakteristik saluran distribusi khusus dan berbeda dari saluran transmisi, maka diperlukan studi aliran daya yang tepat yang akan digunakan untuk menganalisa sistem ditribusi. Maka untuk menganalisa aliran daya pada saluran distribusi diperlukan metode yang tepat dan valid. Karena beberapa metode yang sudah ada kurang tepat untuk studi aliran daya pada sistem distribusi (Novialifiah et al., 2014).

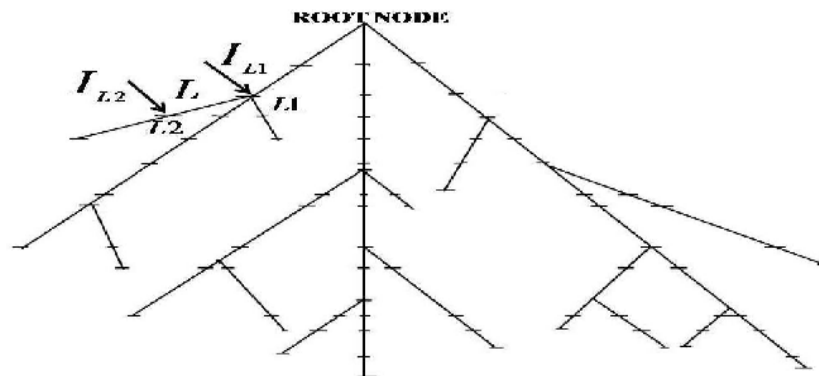
#### **2. 4. *Backward and Forward Sweep (BFS)***

Biasanya jaringan distribusi disuplai melalui node sumber tunggal dan memiliki konfigurasi radial, tetapi terkadang ada lebih dari satu node sumber yang

memasok jaringan distribusi. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengembangkan metode aliran beban distribusi yang mampu menangani jaringan dengan lebih dari satu node sumber (Shateri & Jamali, 2008).

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

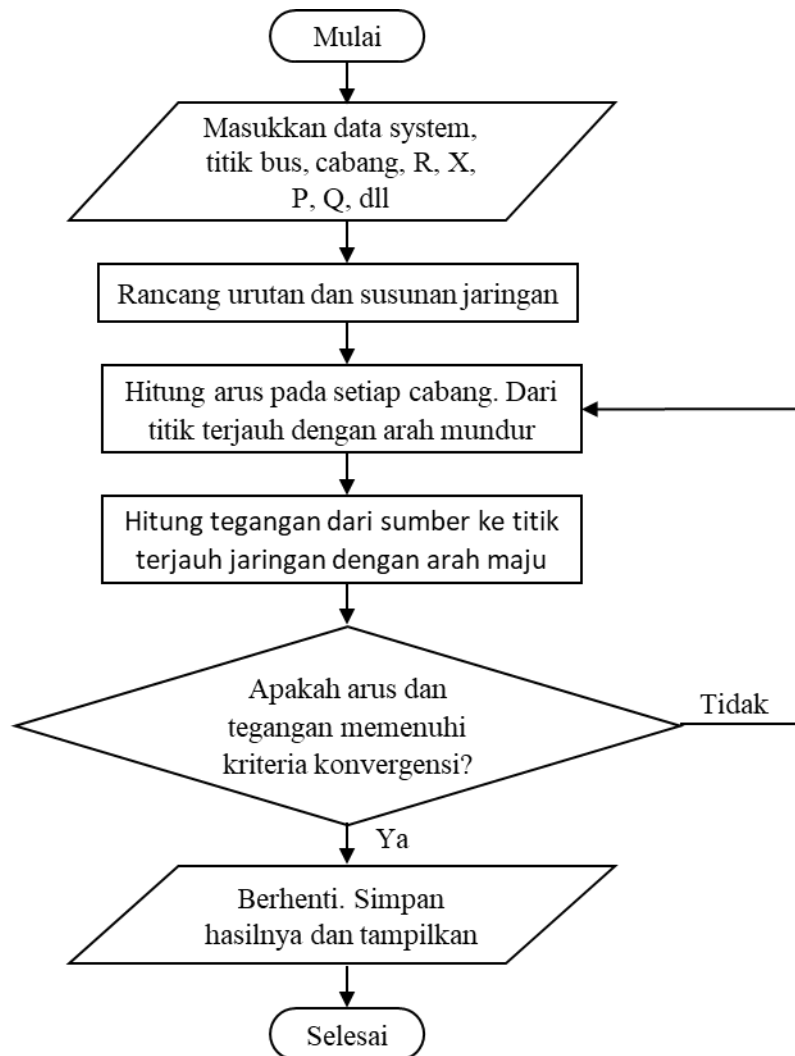
Untuk menganalisa aliran daya dengan menggunakan metode BFS, jaringan distribusi radial direpresentasikan seperti pohon dengan bus pertama adalah sebagai akar atau slack bus, dan bus yang lain sebagai cabangnya atau bus beban. Dengan menggunakan metode BFS, analisa aliran daya untuk sistem distribusi terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi (Augusta, 2018).



**Gambar 2.5** Jaringan distribusi radial (Augusta, 2018)

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

Pada metode aliran daya BFS untuk mengetahui aliran daya pada setiap cabang dimulai dengan menghitung aliran arus beban pada bus terakhir menuju ke titik sumber (*backward*), selanjutnya akan dihitung tegangan magnitude dan sudut fasa pada setiap bus dimulai dari titik sumber menuju bus terakhir (*forward*) (Augusta, 2018).



**Gambar 2.6** Diagram alir metode *Backward and Forward Sweep* (Augusta, 2018)

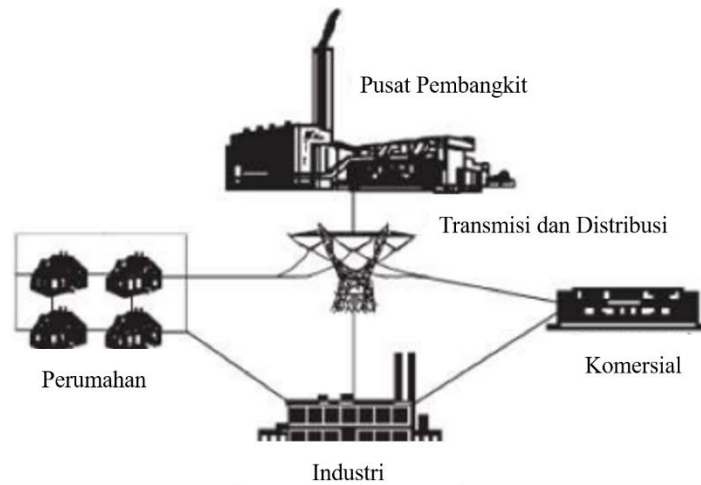
Berikut ini adalah penjelasan tentang diagram alir metode *Backward and Forward Sweep*:

1. Melakukan input data pada program berupa data nomor bus, data beban dan data saluran.

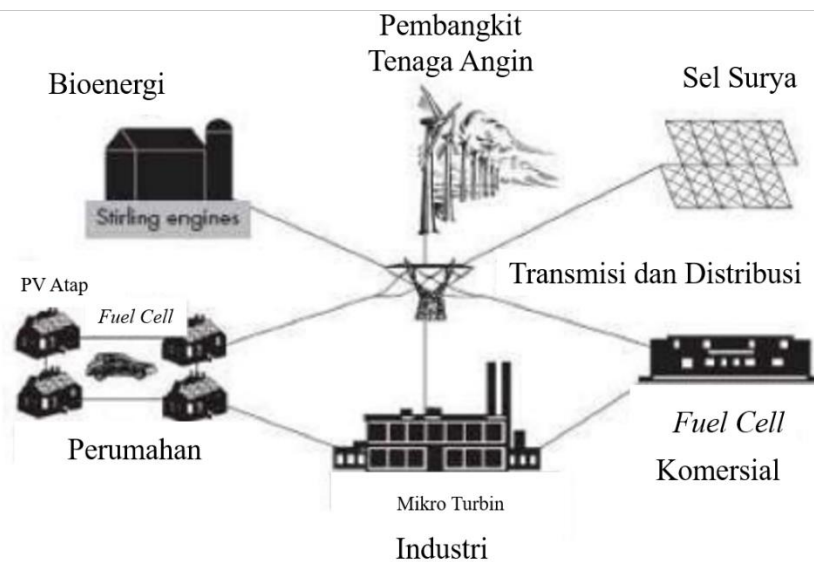
2. Menghitung besarnya arus yang mengalir pada setiap cabang mulai bus paling akhir hingga bus paling awal (*backward sweep*) dan menghitung tegangan dari bus awal hingga bus paling akhir (*forward sweep*).
3. Perhitungan arus dan tegangan dilakukan hingga mendapatkan nilai yang konvergen.

## 2. 5. *Distributed Generation*

Pembangkit tersebar (DG) adalah peralatan yang mampu menginjeksikan daya ke jaringan distribusi (Awansah et al., 2018). Selama ini pembangkit-pembangkit listrik skala besar yang berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan lain-lain, berlokasi di suatu tempat tertentu yang sering disebut dengan pembangkit listrik terpusat (*centralized generation*). Dengan demikian kehadiran DG memberikan kontribusi penting dalam rangka membantu pemerintah menyediakan energi listrik bagi masyarakat. Istilah *distributed generation* bukan sesuatu yang baru, karena sistem interkoneksi jaringan listrik saat ini pada dasarnya adalah sistem yang merupakan *distributed generation*. Akan tetapi istilah *distributed generation* baru muncul belakangan ini karena lebih ditekankan kepada pembangkit listrik yang berkapasitas relatif lebih kecil yang umumnya berasal dari sumber energi terbarukan untuk diinterkoneksi dengan jaringan listrik yang sudah ada dimana selama ini dipasok oleh pembangkit listrik berkapasitas besar. Gambar 2.7. dan 2.8. menunjukkan konsep pembangkit listrik terpusat (*centralized generation*) dan pembangkit listrik tersebar (*distributed generation*) (Syahputra, 2017).



**Gambar 2.7** Konsep pembangkit listrik terpusat (*centralized generation*) (Syahputra, 2017)



**Gambar 2.8** Konsep pembangkit listrik tersebar (*distributed generation*) (Syahputra, 2017)

Pembangkit listrik yang beroperasi menggunakan batubara atau nuklir menimbulkan permasalahan polusi terhadap lingkungan. Energi yang tersedia dari matahari, air dan angin merupakan energi yang bersih, tidak mengotori lingkungan, dan gratis. Energi ini dapat diubah menjadi listrik dengan menggunakan sel surya, pembangkit listrik mikrohidro dan turbin angin. Di sisi lain, peningkatan permintaan energi listrik tidak dapat dipenuhi oleh pembangkit berkapasitas besar karena adanya keterbatasan saluran transmisi. Oleh karena itu diperlukan



pembangkit yang efisien seperti jenis pembangkit listrik tersebar (DG, *Distributed Generation*). Isu lain yang mendorong pengembangan DG adalah tingginya biaya transmisi dan distribusi. Pembangunan saluran transmisi baru membutuhkan biaya investasi yang besar. Dengan demikian diperlukan suatu pembangkit yang bisa dipasang di dekat beban seperti DG (Supardi & Prabowo, 2012).

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

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

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

**Tabel 2.1** Klasifikasi DG berdasarkan kapasitasnya.

Jenis DG	Kapasitas pembangkitan
Mikro	1 Watt – 5 kW
Kecil	5 kW – 5 MW
Sedang	5 MW – 50 MW
Besar	5 MW – 300 MW

Sumber : (Santosa, 2016)

## 2. 6. Fungsi Objektif dan Fungsi Kendala

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

$$f(x) = \min (\sum_{i=1}^N P_{Li}) \quad (2.1)$$

dengan N adalah jumlah saluran dan *i* adalah saluran.

Pendekatan pertama dilakukan dengan pendekatan analitis. Total rugi-rugi daya aktif pada sistem tenaga listrik direpresentasikan dengan persamaan di atas,

atau yang populer disebut “*exact loss formula*”(Santoso, 2020) yang digunakan untuk mencari rugi-rugi daya pada saluran sebagai berikut:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)] \quad (2.2)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (2.3)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (2.4)$$

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

Dengan asumsi  $\alpha = (\text{sign}) \tan(\cos^{-1}(PF_{DG}))$ , (Santoso, 2020) maka keluaran daya reaktif DG dapat diekspresikan dengan persamaan berikut:

$$Q_{DGi} = \alpha P_{DGi} \quad (2.5)$$

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

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

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di} \quad (2.6)$$

$$Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di} = \alpha P_{DGi} - Q_{Di} \quad (2.7)$$

Dari Persamaan (2.2), (2.6), dan (2.7), rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{ \alpha_{ij} [(P_{DGi} - P_{Di})P_j + (\alpha P_{DGi} - Q_{Di})Q_j] + \beta_{ij} [(\alpha P_{DGi} - Q_{Di})P_j - (P_{DGi} - P_{Di})Q_j] \} \quad (2.8)$$

Total rugi-rugi daya aktif pada sistem akan minimum jika turunan parsial dari Persamaan (2.8) terhadap injeksi daya aktif dari DG ke bus  $i$  menjadi 0. Setelah disederhanakan dan penyusunan ulang, Persamaan (2.8) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{DGi}} = 2 \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_j + \alpha Q_j) + \beta_{ij}(\alpha P_j - Q_j)] = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan (2.7) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\alpha_{ii}(P_j + aQ_j) + \beta_{ij}(aP_j - Q_j) + \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}P_j - \beta_{ij}Q_j) + a \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}Q_j - \beta_{ij}P_j) = 0 \quad (2.10)$$

$$\text{set} \begin{cases} X_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}P_j - \beta_{ij}Q_j) \\ Y_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}Q_j - \beta_{ij}P_j) \end{cases} \quad (2.11)$$

Dari Persamaan (2.6), (2.7), (2.10), dan (2.11), dapat dikembangkan Persamaan (2.12),

$$\alpha_{ii}(P_{DG_i} - P_{Di} + a^2P_{DG_i} - aQ_{Di}) + \beta_{ij}(Q_{Di} - aP_{Di}) + X_i + aY_i = 0 \quad (2.12)$$

Dari Persamaan (2.12), nilai kapasitas DG optimal di setiap bus  $i$  untuk meminimalkan rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{DG_i} = \frac{\alpha_{ii}(P_{Di} + aQ_{Di}) + \beta_{ij}(aP_{Di} - Q_{Di}) - X_i - aY_i}{a^2\alpha_{ii} + \alpha_{ii}} \quad (2.13)$$

Batasan atau *constrain* adalah aturan berupa parameter yang harus dilalui pada suatu proses sebagai fungsi seleksi, batasan membuat proses seleksi menjadi lebih efektif karena adanya suatu kondisi yang harus dipenuhi (Wicaksana, 2018). Batasan yang digunakan pada tugas akhir ini berupa batasan tegangan bus yang dihasilkan setelah dilakukan optimasi dan batasan daya keluaran DG. Batasan tegangan bus yang diberikan adalah berdasarkan SPLN 1 Tahun 1995 yaitu:

$$V_{\min} < V_{\text{bus}} < V_{\max} \quad (2.14)$$

$$0,95 < V_{\text{bus}} < 1,05 \quad (2.15)$$

Batasan yang diberikan pada penempatan DG adalah batasan daya keluaran dari DG, dimana DG yang digunakan adalah *small* DG sehingga batasan daya keluaran DG :

$$P_{\min} < P_{DG} < P_{\max} \quad (2.16)$$

$$5 \text{ kW} < P_{DG} < 5 \text{ MW} \quad (2.17)$$

## 2.7. Flower Pollination Algorithm (FPA)

Metode optimasi FPA merupakan metode optimasi dengan meniru konsep penyerbukan (polinasi) pada bunga. Inti dari proses penyerbukan bunga adalah bagaimana serbuk sari jatuh ke kepala putik. Jatuhnya serbuk sari ke kepala putik

tentu dengan berbagai alasan seperti tertiuip angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Subjek yang membantu proses penyerbukan, disebut Polinator. Pada metode ini tentu saja bunga yang terpilih untuk dihinggapi polinator merupakan bunga dengan penampilan terbaik, atas dasar tersebut metode FPA dijalankan (Augusta, 2018).

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 . 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 (2.15)

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L (g_* - x_i^t) \quad (2.15)$$

Dimana:

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

$L$  = persamaan jarak terbang serangga (polinator)

$L$  pada Persamaan (2.15) biasa disebut dengan fungsi *Levy*. Parameter  $L$  merupakan kekuatan dari penyerbukan. Fungsi *Levy* dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.15).

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^{1+\lambda}}, (\delta \gg \delta_0 > 0) \quad (2.16)$$

$\Gamma(\lambda)$  merupakan fungsi gamma, dan pada Persamaan (2.16) 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.

**Tabel 2.2** Istilah dalam Metode FPA

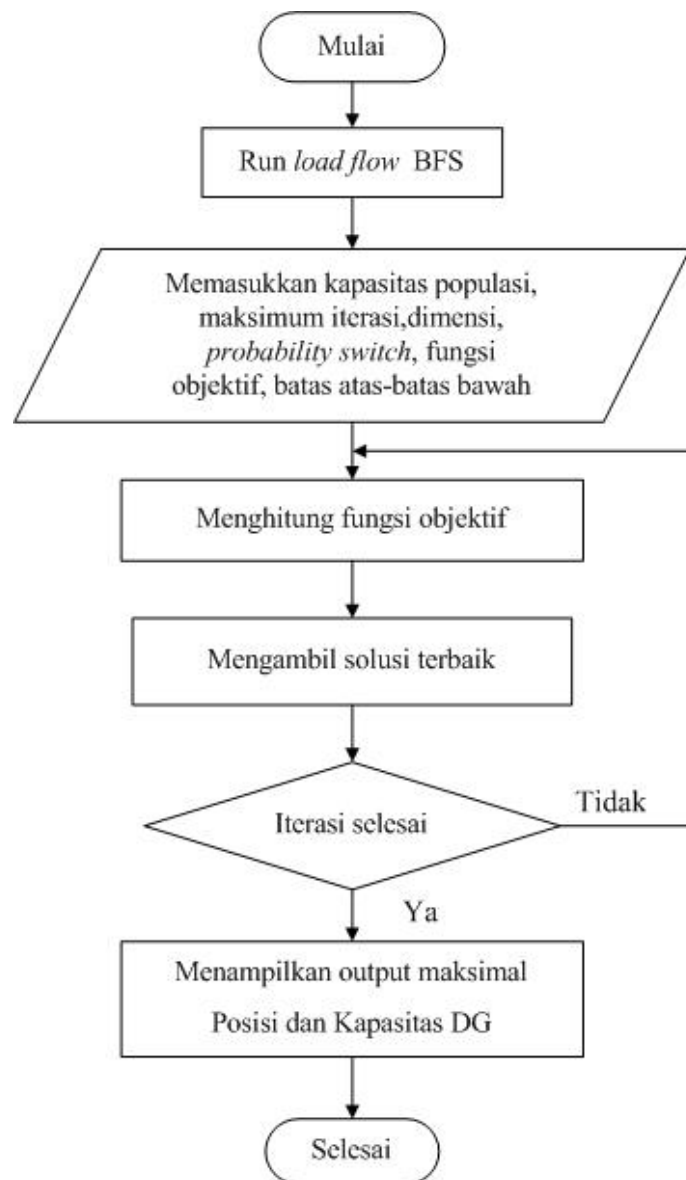
<b>Istilah</b>	<b>Metode FPA</b>
Fenomena Penyerbukan	Permasalahan Optimasi
Populasi Bunga	Data Bus dan Saluran
Tingkat Kecocokan Bunga	Fungsi Objektif DG
Usaha Penyerbukan	Iterasi
Polinator	Solusi yang dilakukan pada setiap iterasi
Kemungkinan Terjadinya Polinasi Global atau Lokal	<i>Probability Switch</i>
Banyaknya Solusi yang ingin Didapatka	Dimensi

Sumber : (Augusta, 2018)

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

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

6. *Probability switch* disini 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. Banyaknya solusi yang ingin didapatkan didefinisi sebagai dimensi. Pada percobaan ini dimensi yang ingin didapatkan sebanyak 6 buah, yaitu 3 posisi bus optimal pemasangan DG dan 3 kapasitas optimal masing-masing DG.



**Gambar 2.9** Diagram alir metode *Flower Pollination Algorithm* (Augusta, 2018)

Berikut adalah penjelasan detail mengenai diagram alir optimasi FPA pada Gambar 2.9:

1. Menjalankan program BFS untuk mendapatkan nilai aliran daya berupa nilai tegangan setiap bus, jumlah rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif.
2. Menginput parameter metode FPA seperti kapasitas populasi bunga, probability switch, iterasi, dimensi, fungsi objektif DG, dan batas atas-bawah solusi yang ingin didapatkan.
3. Nilai akan mulai diinput ke dalam fungsi objektif DG untuk mendapatkan solusi dengan ketentuan setiap iterasi akan dimasukkan 20 nilai yang berbeda, sesuai dengan jumlah nilai polinator yang dideklarasikan di awal. Nilai yang dimasukkan ke dalam fungsi objektif DG adalah nilai untuk mendapatkan solusi posisi bus dan juga kapasitas DG teroptimal.
4. Setelah mendapatkan beberapa solusi sementara dari posisi bus dan juga kapasitas DG, maka akan dilakukan seleksi apakah solusi-solusi yang didapatkan sesuai dengan batasan untuk memilih nilai solusi terbaik.
5. Selanjutnya akan dilakukan seleksi apakah nilai iterasi telah mencapai nilai yang dimasukkan di awal, jika tidak maka akan dilakukan pengulangan ke proses pemberian nilai ke dalam fungsi objektif DG hingga iterasi selesai.
6. Jika iterasi sudah tercapai maka akan diambil nilai solusi terbaik dari keseluruhan iterasi metode FPA, maka akan menampilkan output maksimal dari optimasi ini adalah posisi dan kapasitas DG yang optimal.